

БИОНИКА ИНТЕЛЛЕКТА

ИНФОРМАЦИЯ, ЯЗЫК, ИНТЕЛЛЕКТ

№ 2 (89)

2017

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Основан в октябре 1967 г.

Учредитель и издатель
Харьковский национальный университет радиоэлектроники

Периодичность издания – *2 раза в год*

СОДЕРЖАНИЕ

СТРУКТУРНАЯ, ПРИКЛАДНАЯ И МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ЛИНГВИСТИКА

Широков В.А. Эволюция как универсальный естественный закон (пролегомены к будущей общей теории эволюции). Часть вторая 3

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ. СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ. ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЙ

Stoian Y., Pankratov A., Romanova T. Optimal clustering of polyhedra 19

Гребенник И.В., Литвиненко А.С. Генерация перестановок с частично определенным порядком следования элементов 26

Яковлев С.В., Карташов А.В., Коробчинский К.П. Об одном классе генетических алгоритмов в задачах оптимизации на комбинаторных конфигурациях 31

Литвин О.М., Литвин О.О., Чорна О.С. Математична модель просторового розподілу сукупності корисних копалин методами інтерлінації матриць-функцій 37

Сидоров М.В. Застосування конструктивних методів теорії R-функцій для побудови конусного відрізка при чисельній реалізації двобічних ітераційних методів 43

Заверуха О.І., Сидоров М.В., Яловега І.Г. Застосування методу R-функцій в математичному моделюванні магнітних систем 50

Литвин О.М., Пасічник В.О., Славік О.В. Застосування методу інтерстріпації для реставрації пошкоджених зображень 56

Литвин О.М., Томанова І.С. Побудова локальних матриць системи Рітца з використанням сплайнів 5-го степеня на трикутнику при розв’язанні бігармонічної задачі про згин пластини 61

Литвин О.М., Литвин О.О., Хурдей Є.Л. Про вибір невідомих значень наближуваної функції в операторі інтерполяції із заданими проекціями 66

Мочурад Л.І. Розпаралелення розрахунку електростатичного поля плоского конденсатора 72

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ. РАСПОЗНАВАНИЕ ОБРАЗОВ. БАЗЫ ДАННЫХ И ЗНАНИЙ

Левикін В.М., Чала О.В. Концепція автоматизованої побудови бази знань у системі процесного управління 77

Горячая В.А., Угрюмов М.Л., Черныш С.В. Информационная технология диагностирования состояния пациентов в системах медицинского мониторинга 84

Погорелов А.В., Саваневич В.Е., Брюховецкий А. Б., Удовенко С.Г. Вычислительный метод сегментации изображений компактных групп объектов на цифровых астрономических изображениях 92

Чумаченко Д.И., Гончаренко А.С. Применение интеллектуального мультиагентного подхода к моделированию эпидемического процесса ВИЧ-инфекции 99

Шаховська Н.Б., Камінський Р.М., Засоба Є.О. Метод пошуку асоціативних залежностей у великих даних 106

Тітов К.Ю. Персональний новинний фільтр, створений на основі технологій когнітивних обчислень і семантичної обробки інформації 113

Манакова Н.О., Євдокімов А.А., Манаков В.П., Циганенко І.І. Дизайн фреймворку аналізу даних щодо плинності кадрів методами Data Mining 119

Назірова Т.О., Костенко О.Б., Манакова Н.О. Концептуальна модель інформаційної система в галузі охорони здоров’я 126

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ПРОГРАММНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ

Манаков В.П., Бизюк Е.А., Бизюк А.В. Исследование формальных оценок качества UI/UX сайтов 132

Макогон О.О., Вовк А.В., Ткаченко В.Ф. Разработка методики оценивания веб-сайта средствами эксперимента 138

Григор’єв О.В., Молчанова Н.О., Григор’єва О.В. Розробка програм-тренажерів для усунення дефектів при друці на аркушевих машинах 143

Чеканов И.О., Григорьев А.В. Разработка информационной аналитической системы для полиграфического предприятия 148

Дмитренко А.І., Супрун О.О., Усольцев О.О. Аналіз моделі об’єктивної оцінки якості передачі відеопотоків в IP-мережах 158

Омаров М.А., Тиха Т.В. Лендінг – його аналіз та моделювання 164

Омаров М.А., Цехмистро Р.И., Мурадова В.Х. Использование теории нечетких множеств для задачи создания информационной системы оценивания знаний студентов дистанционной формы обучения для технических специальностей 169

Лановий О.Ф., Кульмінський А.К. Використання даних як сервісу за допомогою хмарних технологій 177

Носова Я.В. К вопросу о формализации диагностики обонятельных нарушений 183

Об авторах 188

Правила оформления рукописів для авторів науково-технічного журналу «Біоніка інтелекту» 191

Приклад оформления статті 192



В. А. Широков

Украинский языково-информационный фонд
Украина, 03039, г. Киев 39, Голосеевский проспект, 3. тел./факс: 380-44 525-8165
e-mail: vshirokov48@gmail.com

**ЭВОЛЮЦИЯ КАК УНИВЕРСАЛЬНЫЙ ЕСТЕСТВЕННЫЙ ЗАКОН
(ПРОЛЕГОМЕНЫ К БУДУЩЕЙ ОБЩЕЙ ТЕОРИИ ЭВОЛЮЦИИ).
ЧАСТЬ ВТОРАЯ**

Во второй части работы изложены эволюционные аспекты человеческого общества, базирующиеся на теории сложности. Приведены теоретические и фактические данные касательно динамики численности населения как эволюционного фактора. Подчеркнуто, что с 80-90 годов прошлого столетия наступила эпоха так называемого Демографического перехода и параметр «численность населения» перестал играть роль эволюционного фактора.

Выполнен анализ эволюционных аспектов финансовых этапов Производственного механизма. Предложены меры сложности для данных этапов и показано, что современный этап характеризуется экспоненциальным ростом сложности. Введено понятие паразитной сложности, предложена модель и приведена оценка эффективности построенной на долларе мировой финансовой системы за период с 1971 по 2016 гг.

Продемонстрировано, что в силу неконтролируемого роста сложности Мир все сильнее скатывается в глобальный кризис, который в силу его онтологического характера не может быть разрешен путем паллиативов. С позиций теории эволюционной сложности проанализирована «доктрина управляемого хаоса», а также приведены возможные иные варианты борьбы с кризисными явлениями. Среди этих вариантов наиболее перспективными автору представляются варианты, связанные с управляемой сложностью, научно-техническими инновациями и квантовой информацией. С позиций теории эволюционной сложности проанализированы гипотезы технологической сингулярности и трансгуманизма.

ОБЩАЯ ТЕОРИЯ ЭВОЛЮЦИИ, МЕХАНИЗМ ЭВОЛЮЦИИ, СЛОЖНОСТЬ, ОСНОВНОЙ ЗАКОН ЭВОЛЮЦИИ, ДОКТРИНА УПРАВЛЯЕМОГО ХАОСА, ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СИНГУЛЯРНОСТЬ, ТРАНСГУМАНИЗМ, КВАНТОВАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Volodymyr Shyrovkov. EVOLUTION AS UNIVERSAL NATURAL LAW (PROLEGOMENA TO THE FUTURE GENERAL EVOLUTION THEORY). In the second part of the work evolutionary aspects of human society based on the theory of complexity are presented. Theoretical and factual data are presented on population dynamics as an evolutionary factor. It is emphasized that from the 80-90s of the last century the era of the so-called Demographic transition came and the parameter “population size” ceased to play the role of an evolutionary factor.

The evolutionary aspects of the financial stages of the Production Mechanism are analyzed. The complexity measures for these stages are proposed and it is shown that the present stage is characterized by an exponential increase in complexity. The notion of parasitic complexity is introduced, a model is proposed and an estimate of the effectiveness of the world financial system built on the dollar for the period from 1971 to 2016 is given.

It is demonstrated that, due to the uncontrollable growth of complexity, the world is increasingly slipping into a global crisis, which due to its ontological nature can not be resolved by palliatives. From the standpoint of the theory of evolutionary complexity, the “doctrine of controlled chaos” is analyzed, as well as possible other options for dealing with crisis phenomena. Among these options, the most promising are the options associated with managed complexity, scientific and technological innovation and quantum information. From the standpoint of the theory of evolutionary complexity, the hypotheses of technological singularity and transhumanism are analyzed.

GENERAL EVOLUTION THEORY, EVOLUTION MECHANISM, COMPLEXITY, BASIC LAW OF EVOLUTION, DOCTRINE OF CONTROLLED CHAOS, TECHNOLOGICAL SINGULARITY, TRANSHUMANISM

Володимир Широков. ЕВОЛЮЦІЯ ЯК УНІВЕРСАЛЬНИЙ ПРИРОДНИЙ ЗАКОН (ПРОЛЕГОМЕНИ ДО МАЙБУТНЬОЇ ЗАГАЛЬНОЇ ТЕОРІЇ ЕВОЛЮЦІЇ). У другій частині роботи викладені еволюційні аспекти людського суспільства, що базуються на теорії складності. Наведено теоретичні та фактичні дані щодо динаміки чисельності населення як еволюційного чинника. Підкреслено, що з 80-90 років минулого століття настала епоха так званого Демографічного переходу і параметр «чисельність населення» перестав грати роль еволюційного чинника.

Виконано аналіз еволюційних аспектів фінансових етапів Виробничого механізму. Запропоновано міри складності для даних етапів і показано, що сучасний етап характеризується експоненційним ростом складності. Введено поняття паразитної складності, запропоновано модель і наведено оцінку ефективності побудованої на доларі світової фінансової системи за період з 1971 по 2016 рр.

Продемонстровано, що в силу неконтрольованого зростання складності Світ усе сильніше скочується в глобальну кризу, яка в силу її онтологічного характеру не може бути розв'язана шляхом паліативів. З позицій теорії еволюційної складності проаналізовано «доктрину керованого хаосу», а також наведено можливі інші варіанти боротьби з кризовими явищами. Серед цих варіантів найбільш перспективними автору вбачаються варіанти, пов'язані із керованою складністю, науково-технічними інноваціями та квантової інформацією. З позицій теорії еволюційної складності проаналізовано гіпотези технологічної сингулярності і трансгуманізму.

ЗАГАЛЬНА ТЕОРІЯ ЕВОЛЮЦІЇ, МЕХАНІЗМ ЕВОЛЮЦІЇ, СКЛАДНІСТЬ, ОСНОВНИЙ ЗАКОН ЕВОЛЮЦІЇ, ДОКТРИНА КЕРОВАНОВОГО ХАОСУ, ТЕХНОЛОГІЧНА СИНГУЛЯРНІСТЬ, ТРАНСГУМАНІЗМ, КВАНТОВА ІНФОРМАЦІЯ

«Автор понимает всю сложность обсуждаемых проблем. Эти рассуждения могут показаться механистичными, если не упрощенными и отвлеченными, но их следует оценивать в контексте междисциплинарного диалога. Установление взаимопонимания между гуманитарными и точными науками совершенно необходимо при изучении общества. Именно с таких позиций следует рассматривать этот опыт количественного описания и применения интегративного подхода к изучению самой сложной и такой близкой нам системы человечества».

(С. П. Капица. *Сколько людей жило, живет и будет жить на земле. Очерк теории роста человечества.*)

Введение

В этой части работы мы сконцентрируемся на анализе эволюции человеческого сообщества с позиций теории сложности и в контексте, который является прямым следствием сформулированного нами Основного закона — необходимого условия эволюции: «Сложность эволюционирующей системы всегда растет»¹.

Как уже отмечалось в первой части, при анализе эволюционных процессов на передний план исследования выдвигается определение: а) механизма эволюции (его системных детерминант) и б) меры (или мер) сложности, соответствующей данному механизму. Что касается вида *Homo sapiens*, то последнюю по времени (и по нашим представлениям — основную) часть его эволюционной истории занимает Производственный механизм. В первой части работы мы выделили следующие этапы этого механизма: потребительский, обменный, финансовый, финансово-информационный, финансово-информационно-сетевой.

Можно дискутировать по поводу выделения в истории *Homo sapiens* в качестве основного механизма эволюции именно того, который связан с производством. Можно рассуждать и по поводу приведенного состава его этапов. Например, возможна и такая классификация: в Производственном механизме выделяются три этапа — **потребительский, обменный, финансовый**. А в финансовом, в свою очередь, выделяются следующие подэтапы: **мелко-товарный, ремесленный, мануфактурный, индустриальный, информационный** (или постиндустриальный), **информационно-сетевой**. Но мы исходим из представления, что именно переход *Homo sapiens* к производству создал человеческую цивилизацию и культуру и определил то направление, которое

¹ Уже при написании второй части данной работы автор почти случайно наткнулся в интернете на работу Анисимова В.В. «О законе возрастания сложности эволюционирующих систем». 2004., размещенную на сайте: <http://aicommunity.narod.ru/TheBase/KombEvol.html>. Наш подход поразительно близок к тому, что написано в этом труде. В определенных моментах мы находим почти буквальное совпадение. Однако, полагаем, что читатель найдет и существенные различия в этих двух подходах. В частности, в определении основного понятия теории — механизма эволюции, а также в интерпретации самого понятия «сложность», её роли, свойств и определении мер сложности для различных механизмов эволюции, а также их динамики.

приобрело всё последующее развитие человеческого сообщества. Производственные процессы в силу их фундаментальности и универсальности являются источником всех основных человеческих институтов за всю историю их существования. С другой же стороны — они имеют тесную связь и основу в лице предыдущих эволюционных механизмов и таким образом продолжают общий эволюционный процесс.

Остановимся на проблеме определения меры (мер) сложности Производственного механизма эволюции и его этапов.

Изучая процессы развития человечества, значительная часть исследователей (начиная с Мальтуса² и его последователей) отмечает роль параметров «численность населения» и «динамика численности населения» в этих процессах³.

Среди потока публикаций на данную тему мы хотели бы обратить особое внимание на

² T. Malthus. An Essay on the Principle of Population, as It Affects the Future Improvement of Society, with Remarks on the Speculations of Mr. Godwin, M. Condorcet, and Other Writers, 1798

³ Verhulst, P. F., (1838). Notice sur la loi que la population poursuit dans son accroissement. Correspondance mathématique et physique 10:113-121. Verhulst, P. F., Recherches Mathématiques sur La Loi D'Accroissement de la Population, Nouveaux Mémoires de l'Académie Royale des Sciences et Belles-Lettres de Bruxelles, 18, Art. 1, 1-45, 1845 (Mathematical Researches into the Law of Population Growth Increase). Foerster, H. von, Mora P., and Amiot L. Doomsday: Friday, 13 November, A.D. 2026. At this date human population will approach infinity if it grows as it has grown in the last two millennia // Science. — 1960. — № 132. — С. 1291-1295.; Meadows D H et al. The Limits to Growth (New York: Universe Books, 1972); Hoerner S. J. von. (1975). Population Explosion and Interstellar Expansion // Journal of the British interplanetary Society. Vol.28: 691-712. HYDE (History Database of the Global Environment 3.1) (2011). Netherlands Environmental Assessment Agency (PBL).; McEvedy C., R. Jones (1978). Atlas of World Population History // New York: Facts on File; Chesnais J-C The Demographic Transition. Stages, Patterns, and Economic Implications (Oxford: Clarendon Press, 1992); Cohen J E How Many People Can the Earth Support? (New York: Norton, 1995); Dolgonosov B.M., V.I. Naidyonov (2006). Informaczionnaya koncepcziya dinamiki chislennosti chelovechestva [Information concept of dynamics of number of mankind] URL: [http://www.iwp.ru/sites/files/iwp.ru/pub/18/2010-02-05/EcolMod-2006,198\(3-4\)375-386.pdf](http://www.iwp.ru/sites/files/iwp.ru/pub/18/2010-02-05/EcolMod-2006,198(3-4)375-386.pdf) (accessed: 25.10.2015).; A.V. Korotayev and A.Y. Malkov. A compact mathematical model of the World System economic and demographic growth, 1 CE — 1973 CE. // International journal of mathematical models and methods in applied sciences. Volume 10, 2016; В.Кононов. Мистика и истина гиперболического закона. // Демографическое обозрение, т. 2, №.2, 2015, Сс. 92-105.; Турчин П. Долгосрочные колебания численности населения в исторических обществах. Коннектикутский университет. Данная статья представляет собой переработанный и дополненный автором перевод статьи: Turchin, P. 2009. Long-term population cycles in human societies. Pages 1-17 in R. S. Ostfeld and W. H. Schlesinger, editors. The Year in Ecology and Conservation Biology, 2009. Ann. N. Y. Acad. Sci. 1162. Перевод Петра Петрова, редактор Светлана Боринская.; Капица С.П. Феноменологическая теория роста населения Земли. // УФН 166 63 (1996); Капица С.П. Общая теория роста человечества: сколько людей жило, живет и будет жить на Земле (М.: Наука, 1999); Капица С.П. Парадоксы роста. Законы развития человечества. М.: Альпина нон-фикшн, 2009.; Kapitza S P Global Population Blow-Up and After. The Demographic Revolution and Information Society (A Report to the Club of Rome and the Global Marshall Plan Initiative) (Hamburg: Tolleranza, 2006, Moscow, 2007); С.П.Капица. К теории роста населения Земли. УФН, т. 180, № 12, 2010 Сс.1337-1346.

взгляды Сергея Петровича Капицы. В эпиграфе ко второй части нашей работы мы привели слова С. П. Капицы из предисловия к его книге «Сколько людей жило, живет и будет жить на земле. Очерк теории роста человечества», на которую (равно как и на другие работы по данной тематике) мы будем ссылаться при анализе механизмов эволюции человеческого общества. С. П. Капица, как выдающийся и потомственный естествоиспытатель, обладал глубокой интуицией и опытом в понимании сложных проблем, представляющих собой фокус, средоточие влияния множества качественно различающихся между собой факторов. Так, отвечая на вопрос: почему теория роста человечества, изложенная в его работах (и в более ранних работах Фёрстера, Хорнера и других), является такой результативной, он отмечает, что это произошло потому, что в работах данного направления **всё население Земли рассматривается как единая система**.

Далее Капица рефлексирует: «Однако многим ближе и понятнее региональный подход и социально-экономический анализ чем феноменологические теории физика и более отвлечённые модели математики. К сожалению, развитый ниже подход с трудом воспринимается традиционными демографами, в то время как целостность демографической системы человечества неоспорима.

Но именно демография, которая оперирует числами как универсальной характеристикой населения, представляет основу для количественного исследования его роста и развития методами физики и математики. В то же время для физики эта задача представляет интерес как одна из значимых проблем науки. Поэтому автор обращается как к физикам, так и к историкам, демографам и экономистам в поисках взаимопонимания и сотрудничества в этой новой области междисциплинарных исследований. Этот социальный заказ связан с критическим состоянием мирового сообщества в эпоху демографической революции, требующей нового понимания всей истории человечества. Недаром все крупные историки как Бродель⁴, Ясперс, Валлерстейн, Конрад и Дьяконов утверждали, что есть только метаистория — история всего человечества, которая является фундаментальной проблемой в науках об обществе. Эта постановка задачи побудила автора к развитию опыта количественной теории роста человечества, охватывающей всё время существования человека, начиная с эпохи антропогенеза».

Мы поддерживаем данный призыв, ибо для нас он еще более актуален, поскольку в разработке нашей общей эволюционной схемы, кроме отмеченных С. П. Капицей специалистов, необходимо участие химиков, геологов, астрофизиков, генетиков, представителей нейронауки и медицины, антропологов, психологов, филологов, культурологов, специалистов в области кибернетики, информационных технологий, когнитологии и математической лингвистики, финансистов, политологов, системных аналитиков и многих других. Мы также

⁴ Braudel F. On History (Chicago: Univ. of Chicago Press, 1980).

поддерживаем тезис, что в науке наступило время «собирать камни» и вслед за эпохой дифференциации наступил период интеграции наук, ведь простые, «специализированные» задачи уже в основном решены, зато актуализировались сложные комплексные проблемы, решать которые к тому же приходится в условиях дефицита исторического времени.

Собственно, *Основной закон эволюции* и предполагает представление о Мире как о единой системе. Ведь он, как отмечалось в первой части, действует «на всем диапазоне Мироздания», что возможно лишь в условиях системной (и даже «сверхсистемной») общности.

В этой связи скажем несколько слов о том понимании концепции системы и системного подхода, которым мы следуем в данной работе. Основные её положения изложены в наших статьях⁵. Наше определение понятия системы можно изобразить в виде символического равенства: $C = C + C + C$, где «C» в левой части обозначает понятие «система», а правая часть демонстрирует наличие и взаимодействие основных образующих компонент этого понятия, а именно «структуру», «субстанцию» и «субъект»⁶. Таким образом, мы развиваем понимание системного подхода, основываясь на рассмотрении отношений триады «структура — субстанция — субъект», которая полагается системообразующей. Именно выделение структурных, субстанциальных и субъектных свойств, а также отношений между ними сообщает анализируемой реальности свойство «*быть системой*».

В заключение вводного раздела и для обеспечения связности изложения приведем фрагмент «**Обобщенная эволюционная последовательность**» (последовательные шаги динамики механизма эволюции):

1. Зарождение (возникновение) механизма эволюции («эмерджентность»).
2. Индуцирование системы (отношений триады «структура — субстанция — субъект») нового механизма в его взаимодействии и конкуренции с предыдущим.
3. Выход нового механизма на стадию доминирования.
4. Стадия **линейного** усложнения механизма эволюции.
5. Стадия **полиномиального** усложнения механизма эволюции.
6. Стадия **экспоненциального** усложнения и включение механизмов торможения эволюции. Эпоха **кризисов и катастроф**.
7. Зарождение (возникновение) **следующего механизма**.

⁵ В.А. Широков. Лингвистика и системный подход. // Бионика интеллекта. Часть I. 2015. № 1 (84). Сс. 3–12. Часть II. 2016. № 2.

⁶ Автор осознает те трудности, которые встретятся на пути определения понятий структуры, субстанции и субъекта. Поэтому данным вопросом (которому, впрочем, посвящена колоссальная библиография) в настоящей работе мы заниматься не будем, апеллируя к интуиции читателя и отсылая его к указанным выше статьям в «Бионике интеллекта».

**Динамика численности населения
как эволюционного фактора и меры сложности
механизма эволюции**

При анализе вопросов, вынесенных в заголовок данного параграфа, мы будем основываться на результатах таких авторов как: Verhulst, P. F., Foerster Н., Mora P., Amiot L., Meadows D. H., Hoerner S. J., Jones C. R., Chesnais J-C., Cohen J. E., Долгоносов Б.М., Найденов В.И., Коротаев А.В., Малков А.С., Халтурина Д.А., Кононов А.И., Турчин П., Капица С.П. и других (соответствующая библиография указана в ссылке № 3).

Результаты эти, вкратце, таковы.

Бельгийский математик Пьер Франсуа Ферхюльст в 40-х годах XIX ст. сформулировал логистическое уравнение для численности населения (уравнение Ферхюльста):

$$\frac{dN}{dt} = rN \left(1 - \frac{N}{K} \right), \quad (1)$$

где функция $N(t)$ – численность популяции в момент времени t ; параметр r характеризует скорость роста (размножения), K – максимально возможная численность популяции. Решением уравнения (1) является логистическая функция:

$$N(t) = \frac{KN_0 e^{rt}}{K + N_0 (e^{rt} - 1)}, \quad (2)$$

Введенный Ферхюльстом в уравнение Мальтуса дополнительный отрицательный член, пропорциональный квадрату скорости роста, отражает уменьшение численности (и ограничивает мальтусовскую геометрическую прогрессию) за счет ограниченности ареала обитания или же количества ресурсов. Легко видеть, что в данной модели $\lim_{t \rightarrow \infty} N(t) = K$.

В 1960 г. была опубликована статья «Судный День: пятница 13 ноября, 2026 год нашей эры», авторы которой Фёрстер, Мора и Амиот обосновывали закон гиперболического роста населения Земли с начала новой эры:

$$N(t) = \frac{C}{(t_s - t)^n}, \quad (3)$$

где $N(t)$ – численность населения в году t ; $t_s = 2027 \pm 5$ лет; $C = (179 \pm 0,14) \times 10^9$ (чел. × лет); $n = 0,99 \pm 0,009$. При $t = t_s$ (точка сингулярности) выражение в правой части обращается в бесконечность и теряет смысл, что позволило авторам иронически интерпретировать эту точку как «Судный день»⁷. Все, разумеется, верили, что задолго до момента «Судного дня» произойдут радикальные изменения в темпах роста населения и никакой катастрофы, связанной с ростом населения, не случится. И действительно, уже в 70-ые годы прошлого века ускорение роста численности населения прекратилось. Это обстоя-

тельство стимулировало более глубокие исследования глобальных демографических закономерностей.

С.П. Капица построил феноменологическую теорию роста численности населения. Он заметил, что гиперболический закон (3) является решением уравнения:

$$\Delta N / \Delta t = N^2 / K^2, \quad (4)$$

где введено время $t = T/\tau$, измеряемое в условных поколениях $\tau = 45$ лет, а $K = \sqrt{C/\tau} = 64000$ – безразмерная константа роста.

Уравнение (4) замечательно тем, что демонстрирует скорость роста численности населения, пропорциональную квадрату этой самой численности. На этом факте авторами данной модели и строится философия гиперболического закона. Для нас модель также совершенно явно носит информационный оттенок, поскольку содержит квадратичный член, соотносимый с парным информационным взаимодействием членов сообщества, имеющим по комбинаторике квадратичный порядок роста.

Однако, недостаток данной модели, а именно – сингулярность остается и с ней нужно было что-то делать. В этом направлении предпринимался целый ряд попыток. В частности, С. П. Капица модифицировал уравнение (4), приведя его к следующему виду:

$$\frac{dN}{dT} = \frac{C}{(T_1 - T)^2 + \tau^2}, \quad (5)$$

где член τ^2 ограничивает рост численности при приближении к точке демографического перехода⁸ $T_1 = 1995$, несколько смещенной относительно точки сингулярности T_s .

Интегрирование (5) приводит к формуле для роста численности:

$$N(t) = \frac{C}{\tau} \operatorname{arccctg} \frac{T_1 - T}{\tau} = K^2 \operatorname{arccctg} t, \quad (6)$$

где время t измеряется в единицах $\tau: t = (T_1 - T)/\tau$.

В модели А.В. Коротаева, А.С. Малкова и Д.А. Халтуриной⁹ рост численности описывается системой трех уравнений:

$$\left. \begin{aligned} \frac{dN}{dt} &= aNS(1-L) \\ \frac{dS}{dt} &= bNS \\ \frac{dL}{dt} &= cSL(1-L) \end{aligned} \right\}$$

где S – избыточный продукт, L – относительная грамотность населения. В данной модели (в отличие от модели Капицы) численность населения

⁸Chesnais J-C The Demographic Transition. Stages, Patterns, and Economic Implications (Oxford: Clarendon Press, 1992); С.П.Капица. К теории роста населения Земли. УФН, т. 180, № 12, 2010 Сс.1339-1341.

⁹Korotayev A.V., A.S. Malkov, D.A. Halturina (2005b). Matematicheskaya model' rosta naseleniya Zemli, e'konomiki, tekhnologii i obrazovaniya [Mathematical model of growth of the population of Earth, economy, technology and education]. M.: Keldysh Institute of Applied Mathematics RAS.

⁷Поскольку именно в пятницу 13 ноября, 2026 года – день 115-летия Фёрстера, одного из авторов данной работы.

достигает максимального значения N_{max} за конечное время, что сближает её с логистической моделью Ферхюльста.

Нам также импонируют модели, в которых численность населения не достигает бесконечного значения, поскольку мы пребываем в убеждении, что конец света (или Судный День) наступит не из-за перенаселения, а совсем по другим причинам.

Но дело не в этом. Мы привели эти результаты для того, чтобы продемонстрировать, что моделирование динамики численности разными исследователями приводит, в общем-то, к качественно подобным (а в рамках «презумпции нулевого приближения» — к идентичным) результатам: сначала линейный рост, затем — более быстрый полиномиальный, затем экспонента или, если угодно, конечный участок гиперболы. **Это позволяет нам использовать эти результаты и сам параметр — численность населения в качестве меры сложности механизма эволюции, в котором участвует человек.** Причём, как видно из табл. 1, рост населения Земли (в миллионах)¹⁰, данная мера действует на колоссальном временном диапазоне — от (–1,6) млн. лет до 1995 года, когда, по С. П. Капице, наступил глобальный демографический переход, отмеченный в таблице жирным шрифтом¹¹.

Таблица 1

Рост населения земли (в миллионах)		
Год	N	N_m
$-4,4 \times 10^6$	(0)	1×10^{-6}
$-1,6 \times 10^6$	0,1	0,1
-35000	1 – 5	2
-15000	3-10	8
-7000	10-15	16
-2000	47	42
0	100-230	86
1000	275-345	173
1500	440-540	345
1650	465-550	492
1750	735-805	685
1800	835-907	851
1850	1090-1110	1120
1900	1608-1710	1625
1920	1811	1970
1930	2020	2196
1940	2295	2474
1950	2556	2817
1955	2780	3019
1960	3039	3245
1965	3345	3497
1970	3707	3778
1975	4086	4098
1980	4484	4430
1985	4851	4801

¹⁰С.П.Капица. К теории роста населения Земли. УФН, т. 180, № 12, 2010. — С.1339.

¹¹Вообще-то, С. Капица отводит на глобальный демографический переход время, равное $2t = 90$ лет

1990	5277	5198
1995	5682	5613
2000	6073	6038
2005	6453	6463
2010	6832	6878
2025	7896	7987
2050	9298	9259
2075	9879	9999
2100	10400	10451
2125	10700	10745
2150	10800	10956
2200	11000	11225
2500	—	11364

Некоторые исследователи относят демографический переход на более ранний момент времени, а именно на 70-е или 80-е годы прошлого века, но это уже не принципиально. В нашей интерпретации этот факт означает, что **параметр «численность населения Земли» с данного момента перестал служить мерой сложности механизма эволюции человеческого сообщества.**

Деньги и эволюция человека (в поисках параметра эволюции)

Итак, параметр «численность населения» на протяжении довольно длительного периода развития человечества действительно играл роль меры сложности соответствующих механизмов эволюции человеческого общества и, по современным представлениям, где-то на рубеже 70-90-х годов XX столетия его действие как эволюционного фактора прекратилось.

В этой связи проанализируем возможные другие параметры, которые могли бы претендовать на роль параметров эволюции человеческого сообщества на определенном этапе его развития. Разумеется, важным свойством данного параметра должно быть его возрастание. Таковыми параметрами могли бы служить, например, объем накапливаемой человечеством информации (знаний), рост освоенных территорий, динамика потребления ресурсов (главным образом — энергии), число различных профессий и, возможно, некоторые другие. В. В. Анисимов в процитированной выше работе утверждает, что есть основания полагать, что число профессий росло пропорционально росту населения Земли. Его данные по росту числа профессий приведены в табл. 2.

Из этой таблицы видно, что около 10 тыс. лет назад, ко временам неолитической революции жизнь людей уже настолько усложнилась, что количество ремёсел достигло 100. Около пяти тыс. лет тому назад появились первые государства. Государство является настолько сложным образованием, что его существование немислимо без участия людей сотен различных профессий. Эту оценку и даёт таблица. К моменту расцвета Римской Империи количество профессий, в соответствии

с оценками автора, должно было приблизиться к тысяче. А что происходило в это время с темпами эволюции? В каменном веке период удвоения населения составил примерно 500 тыс. лет. Таким же, следовательно, был и темп роста сложности. Далее скорость роста продолжает стремительно увеличиваться. В период, предшествующий неолитической революции численность населения и профессий (а значит и сложность) удваивалась каждые 20 тыс. лет, во времена Римской Империи – каждую тысячу лет, ко времени первой промышленной революции (1760-ые годы) уже всего порядка 100 лет. При приближении к современной эпохе темп удвоения резко растет: к 1900 году – 50 лет, к 1980 году – 45 лет. Далее надёжных данных у нас нет. Однако очевидно, что современные тенденции к интеграции знаний неминуемо приводят к эффекту снижения такого показателя, который мы именуем как «число профессий». Следовательно, и здесь скорее всего действует некий аналог «демографического перехода», так что и этот параметр перестает быть релевантным показателем эволюции.

Таблица 2

Рост числа профессий в связи с ростом численности

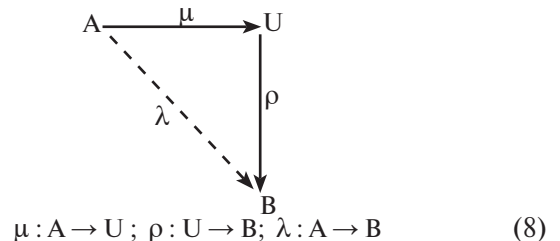
Время (лет тому назад)	Население Земли	Число профессий
1.5 млн	100 тыс	1
100 тыс	1 млн	10
10 тыс	10 млн	100
5 тыс (3000 год до н.э.)	20 млн	200
2 тыс. (начало н.э.)	100 млн	1000
1 тыс. (1000 г н.э.)	200 млн	2000
500 (1500 год н.э.)	400 млн	4000
250 (1750 год н.э.)	700 млн	7000
150 (1850 год н.э.)	1200 млн	12.000
100 (1900 год н.э.)	1600 млн	16.000
50 (1950 год н.э.)	2800 млн	28.000
20 (1980 год н.э.)	4400 млн	44.000
0 (2003 год н.э.)	6000 млн	60.000

Напомним, что на определенном этапе этой эволюции был «найден» новый механизм сложности, а именно – Производственный, который в нашей интерпретации реализуется в пяти различных этапах. Остановимся на тех из них, которые содержат финансовую составляющую, а именно: финансовый (собственно финансовый или раннефинансовый), финансово-информационный, финансово-информационно-сетевой.

Как следует из этих названий, определяющей особенностью данных этапов является то, что в них фигурирует финансовая компонента. Мы предполагаем использовать субстанцию данной компоненты – деньги в их количественном выражении в качестве параметра сложности соответствующих этапов Производственного механизма эволюции. Рассмотрим, какие у нас для этого есть основания.

Теории, практике, истории, логике, философии, политике, комедии, трагедии, эстетике и т. д. и т. п. денег, вообще, посвящена колоссальная, практически необозримая литература. Поисковик Google на запрос “money” выдает более 2 миллиардов 800 миллионов ссылок¹². Но к нашему удивлению, среди этой информации нам не удалось обнаружить ничего, посвященного интерпретации феномена денег как фактора общей эволюции Мира. Констатируя факт, что деньги являются одним из основных изобретений человечества, сравнимых с изобретением письменности, электричества, электронных средств связи (всемирной сети интернет), большинство авторов отмечают их роль лишь в развитии товарно-экономических отношений. Это означает, что в качестве общеэволюционного фактора деньги не воспринимались. В действительности же деньги играют гораздо более фундаментальную роль в истории человека, чем это предполагалось ранее. Поэтому мы и предлагаем определить деньги в качестве субстанции финансового механизма эволюции. Какие есть резоны для такого выбора?

Начнем с полушутливого замечания. Зададимся вопросом: чем принципиально человек отличается от животного? Ведь если вдуматься, то животные обладают почти всеми качествами, которые многие люди считают своей исключительной прерогативой. У многих животных в той или иной мере наличествуют интеллект, речь, юмор, свои иерархические социальные системы, эмоции, даже некие эстетические начала и зачатки «экономических» отношений в виде тех или иных форм симбиоза. Чего у них нет в принципе, так это денег. Деньги есть только у людей (и то не у всех...). А если серьезно, то деньги играют совершенно особую роль в истории человеческого сообщества. Попробуем изобразить эту роль в символической форме: Рассмотрим треугольную диаграмму:

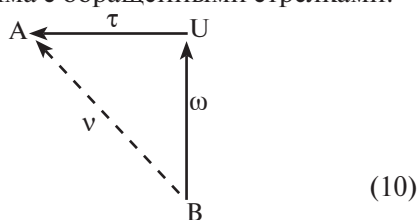


¹² Google money
 Все Картинки Видео Новости Карты Ещё Настройки Инструменты
 Результатов: примерно 2 860 000 000 (0,48 сек.)

На данной диаграмме символами A и B обозначены произвольные объекты, принадлежащие некоторому классу объектов K . Символом U обозначен некий «универсальный» объект из некоторого «универсального» класса U , обладающего тем свойством, что для $\forall A, B \in K \exists U \in U$, такой, что справедлива диаграмма (8). При этом отображение λ определяется как композиция отображений ρ и μ :

$$\lambda = \rho \circ \mu, \quad (9)$$

так что диаграмма (8) становится коммутативной. В силу произвольности выбора объектов A и B справедлива и диаграмма с обращенными стрелками.



$$\nu = \tau \circ \omega, \quad (11)$$

Таким образом, универсальный объект из U и отображения μ, ρ, λ (τ, ν, ω), где $\lambda = \rho \circ \mu$, $\nu = \tau \circ \omega$, устанавливает эквивалентность между любыми $A, B \in K$. Понятно, что такая схема может служить в качестве элементарной формальной модели понятия, функций и субстанции денег в системе экономических товарно-денежных отношений. Так, например, отношение купли изображается как:

$$U \rightarrow X,$$

а отношение продажи, соответственно, как:

$$Y \rightarrow U,$$

где $X, Y \in K$, а $U \in U$.

Наделенный воображением читатель может довольно легко «спроецировать» изложенное на реальную ситуацию товарного производства и товарно-денежного обмена, обогатив формальные элементы диаграмм (8), (10) и формул (9), (11) всеми необходимыми обеспечивающими атрибутами, которые имеют место в обычных товарно-денежных отношениях. Так, для обеспечения операциональных функций диаграмм (8), (10) и формул (9), (11) требуются соответствующие обеспечивающие институты (производство, транспорт, рынок, банки, биржи и т. п.). Для функционирования универсального класса U необходима его единственность, которую в состоянии обеспечить лишь такая авторитетная структура как государство. Картина все больше становится похожей на «катеорию» в смысле математической теории категорий. А если рядом функционирует еще одно государство, то их взаимодействие в рамках формализма обмена приобретает «функториальные» черты, что еще более подчеркивает отмеченную теоретико-категорную аналогию.

Необходимость количественной интерпретации элементов формул (8)–(9) ставит целый ряд метрологических, квалиметрических, учетных, аналитических и иных задач, для разрешения которых также создается необходимая операциональная, нормативно-правовая и организационная база. Анализ отмеченных задач в системном

подходе в рамках концептуального комплекса «структура» — «субстанция» — «субъект», на наш взгляд, позволяет построить довольно последовательную, содержательную и реалистичную теорию денег.

Особый интерес, по нашему мнению, представляет исследование временной и исторической динамики, связанной с функционированием финансовых систем и тех форм, в которых они реализуются в конкретно-исторических условиях. И что особенно важно отметить, данные системы должны быть организованы таким образом, чтобы элементы соответствующих универсальных множеств обладали достаточно определенными количественными, числовыми характеристиками, без чего функционирование системы, базирующейся на формализме (8)–(9) вообще невозможно. Благодаря данному свойству можно утверждать, что универсальные множества служат концентраторами всех основных производственно-общественных отношений («интегрируют» их), а соответствующие количественные корреляты выполняют функцию мер сложности соответствующих социальных образований на определенных этапах их развития. Это становится понятным, если принять во внимание, что в определение упомянутых количественных мер вносят вклад все компоненты динамической сети, элементами которых являются диаграммы вида (8–9), то есть все «объекты», «морфизмы» и «функторы». Отмеченные обстоятельства и оправдывают вывод об использовании денег в качестве меры сложности механизмов эволюции, которые мы определили как содержащие финансовую составляющую.

Обратимся к истории развития денег, которую мы свели в табл. 3.

Таблица 3

Краткая хронология денег

№	Время	Событие
1	5–6 тыс. лет тому назад	Изобретение денег. Возникновение государств. Монополия государства на деньги
2	3000 лет тому назад	Возникновение кредита (Ассирия, Вавилон, Египет. В Библии есть упоминание о кредите: «Не будь из тех, кто дает залог и поручается за долги». (Книга Притчей Соломоновых, 23, 26.)
3	1717 г.	Английское экономическое чудо. «Великая перечеканка». Сэр Исаак Ньютон на посту Директора Королевского Монетного Двора ввел новое соотношение между серебром и золотом, что способствовало изъятию серебра из обращения и введению Британского золотого стандарта . Великобритания становится лидером финансового мира.
4	1867 г.	Первая мировая валютная система (Парижская) стихийно сформировалась в XIX в. в форме золотомонетного стандарта. Юридически была оформлена межгосударственным соглашением на Парижской конференции в 1867 г., которое признало золото единственной формой мировых денег.

№	Время	Событие
5	1913 г.	Создание Федеральной резервной системы США. Отказ государства США от монополии на выпуск долларов.
6	1914-1918 гг.	1-ая Мировая Война. Начало перестройки Мировой финансовой системы «под доллар»
7	1917 г.	Великая Октябрьская Революция в России. Ограничение целостности Мировой Финансовой Системы.
8	1922 г.	Вторая валютная система (Генуэзская). Оформлена на международной экономической конференции в 1922 г. Закрепила переход к золотодевизному стандарту, основанному на золоте и ведущих валютах, которые конвертируются в золото. Появились «девизы» — платежные средства в иностранной валюте, предназначенные для международных расчетов. Характерные черты Генуэзской валютной системы: • Наличие двух валют (девизов). • Другие валюты размениваются на золото косвенно. Свободно плавающие курсы. Кризис 1933 г. разрушил эту систему. Доллар девальвировал на 41%.
9	1929 — 1939 гг.	Великая Депрессия в США. Подготовка к перестройке финансовой системы на глобальные роли.
10	1933 г.	Президентом США Франклином Рузвельтом подписан Указ № 6102 о фактической конфискации у населения и организаций золота, находящегося в слитках и монетах.
11	1939 — 1945 гг.	2-ая Мировая Война.
12	1944 г.	Третья мировая валютная система (Бреттон-Вудская). Конференция ООН в Бреттон-Вудсе. Создание Бреттон-Вудской системы и отказ от нее СССР. Начало холодной войны
13	1976-1978 гг.	Четвертая мировая валютная система (Ямайская). Конференция 1976 в Кингстоне. Становление Ямайской валютной системы. Отмена золотого стандарта. Юридически завершена демонетаризация золота: отменены его официальная цена, золотые паритеты, прекращен размен долларов на золото. Объявление СДР (условная валюта МВФ: СДР — специальные права заимствования; SDR — Special Drawing Rights) базой Ямайской валютной системы и основой валютных паритетов.
14	1974 г.	Начало информационной эпохи.
15	1990 г.	Сетевая эпоха. Интернет. Распад социалистической системы. Глобализация. (НАЧАЛО ФИС-ЭТАПА)
16	2008 г.	Финансовый кризис 2008 года. Появление сетевой технологии Blockchain и криптовалюты Bitcoin.

Хронология наша весьма избирательна и охватывает преимущественно события, отражающие свойства денег, которые мы связываем с эволюционными процессами. Так, в первом пункте мы связали два события — появление денег и возникновение государств с их монополией на деньги.

Нам представляется, что государства и появились главным образом для того, чтобы обеспечить данную монополию. Это свидетельствует о том, что даже в те давние времена люди (осознанно или не вполне), но прочувствовали силу денег и ту роль, которую они станут играть в обществе.

По-видимому, довольно рано в сфере товарно-денежных отношений появился такой инструмент как кредит и связанный с ним залог. Уже в Книге Притчей Соломоновых, написание которой относят к началу первого тысячелетия до новой эры, содержится призыв-поучение премудрого царя Соломона: «Не будь из тех, которые дают руки и поручаются за долги: если тебе нечем заплатить, то для чего доводить себя, чтобы взяли постель твою из-под тебя?».

Далее в нашей хронологии следует разрыв в более чем 2500 лет и затем отмечается знаменательное событие, а именно, установление Исааком Ньютоном в 1717 г. «золотого стандарта» в Англии. Кажется, это был исторически первый случай введения государством золотого стандарта. На посту директора Королевского Монетного двора Ньютон был одним из руководителей денежной реформы, известной под названием «Великая перечекалка», которая по мнению многих исследователей и стала причиной «английского экономического чуда».

Следующее знаменательное событие происходит спустя почти 200 лет, хотя попытки международного валютного регулирования предпринимались и ранее (например, Парижская конференция 1867 года). Это создание Федеральной Резервной Системы США. История эта весьма поучительна. На первый взгляд казалось, что к ее созданию привела цепь событий, на которые нужно было реагировать быстро и «ex necessitate» — «по необходимости». Так, финансовый кризис 1907 года в США (а также ряд предшествующих) сделал остроактуальным давно назревший вопрос о центральном банке, которого не было в США. Изучение опыта европейских стран, длительные дискуссии и политические разногласия задержали его решение еще на шесть лет, и лишь в декабре 1913 года президент Вудро Вильсон подписал не без проблем прошедший через обе палаты Конгресса закон о создании Федеральной резервной системы (ФРС), которая с тех пор выполняет в специфических условиях США функции центрального банка.

Специфика эта заключалась в том, что регионализм штатов и интересы местных банковских группировок фактически сделали невозможным создание единого центрального банка. Эта идея была отвергнута в пользу сложной структуры из 12 региональных резервных банков и правления в Вашингтоне.

В последующие десятилетия независимость региональных банков по факту уменьшалась, а централизация возрастала. «Компромиссно» была решена и проблема отношений ФРС с государством. С одной стороны, была провозглашена её

независимость от правительства: коммерческие банки, являющиеся членами системы, стали формальными собственниками (акционерами) резервных банков. С другой стороны, государство стало гарантом выпускаемых ФРС банкнот, оно получило право назначать членов правления; председателя правления назначает президент с согласия сената.

Таким образом и по сути, доллар принадлежит акционерному обществу (частной компании) ФРС, акционерами которой являются 12 федеральных резервных банков и которые в свою очередь организованы частными банками (в США вообще нет государственных банков). Как отмечал бывший глава ФРС Алан Гринспен: «Федеральная резервная система формально не зависит от Белого дома».

Федеральный резерв печатает деньги и дает их в долг государству путем покупки его облигаций. Далее государство выкупает свои облигации, а деньги с процентами возвращает ФРС. Получается, что у государства США вообще нет своих денег — даже доллары ему не принадлежат, оно берет их в долг. До создания ФРС доллары печатало государство. После создания ФРС на долларах стала появляться надпись: «Federal Reserve Note» — банкнота Федерального резерва.

Итак, с созданием Федерального Резерва в США была элиминирована монополия государства на выпуск денег в пользу ФРС, который «перетянул» на себя роль монополиста в данном вопросе.

Последующие события (1-ая Мировая Война, Великая Депрессия, 2-ая Мировая Война, создание Бреттон-Вудской системы и т. д.) наталкивают на мысль о какой-то телеологии в создании ФРС, нацеленной на конструирование в будущем Мировой Финансовой Системы — своеобразной глобальной финансовой пирамиды, вершиной которой является ФРС. Автор далёк от конспирологических предположений — скорее идеологи, творцы и фактотумы Федерального Резерва сумели в полной мере воспользоваться возможностями, предоставленными им перипетиями исторического развития. Однако нельзя и отрицать того обстоятельства, что такая длительная по времени и целеустремленная политико-финансовая стратегия вряд ли смогла бы осуществиться, если бы она не индуцировалась и не стимулировалась некими объективными закономерностями. К таковым мы и относим Основной закон эволюции, ибо развитие Мировой Финансовой Системы сопровождалось неуклонным увеличением сложности соответствующего механизма эволюции, что будет продемонстрировано ниже.

Нам представляется, что руководители ФРС постепенно осознавали те новые возможности, которые предоставляет приватный статус монополиста-производителя валюты такой страны как США. Уже после Первой Мировой Войны, где

Соединенным Штатам, не прилагая особых усилий, удалось воспользоваться значительным числом ее результатов, стало понятно, что в новом мире, гораздо более тесно связанном различного рода политико-экономическими и другими отношениями, роль денег, как универсального агента-посредника, будет возрастать. И в выигрыше окажется тот, кто в большей мере сумеет приспособиться к новым условиям.

В 1933 году президент США Франклин Рузвельт подписал указ № 6102 о фактической конфискации у населения и организаций золота, находящегося в слитках и монетах. Таким образом, золотой стандарт если и не был ликвидирован полностью, то значительно ограничивался. На деле это стало не просто констатацией того факта, что в силу сильно выросших масштабов экономики золото уже не справляется с функцией стабилизатора денег, но главным образом акцией, направленной на обеспечение новых степеней свободы в финансовой сфере для произведения различного рода маневров, в том числе и спекулятивных. Великая депрессия в США послужила поводом для перестройки экономики под задачи доминирования финансово-политических институтов над чисто производственными.

Исключительным событием в смысле перспектив расширения влияния долларовой системы явилась Вторая Мировая Война. Создается впечатление, что она как будто специально была «организована» для того, чтобы обеспечить доминирование доллара в мире. Перефразируя известное выражение, можно сказать, что если бы Вторая Мировая Война не разразилась, то её следовало бы придумать только для того, чтобы доллар занял доминирующее положение в мире¹³.

Еще до окончания Второй Мировой Войны¹⁴ в июле 1944 года в Бреттон-Вудсе (США, Нью-Гэмпшир) состоялась так называемая Валютно-финансовая конференция Объединённых Наций (*The United Nations Monetary and Financial Conference*), более известная под названием Бреттон-Вудская конференция. Она была призвана заложить основы послевоенного финансового миропорядка. В частности, была установлена Бреттон-Вудская валютная система (Bretton Woods system) — исторически третья по счету, в соответствии с которой для золота была установлена твёрдая цена (35 долл. за 1 тройскую унцию). В результате США получили мировую валютную гегемонию. Фактически, это привело к появлению *Золотодолларового стандарта* международной валютной системы, основанной на господстве доллара. В середине XX века

¹³ Автор напоминает, что он не основывается на конспирологических данных. Наши выводы инвариантны относительно существования или несуществования «мирового заговора» либо «тайного правительства».

¹⁴ Но уже когда благодаря героизму Красной Армии и невомерному напряжению всех сил советского народа был в принципе ясен ее исход, что стимулировало США и Великобританию «оперативненько» открыть второй фронт.

США принадлежало 70 % всего мирового запаса золота. Доллар стал базой валютных паритетов, преобладающим средством международных расчётов, валютных интервенций и резервных активов. Национальная валюта США, а фактически – валюта Федерального Резерва стала одновременно мировыми деньгами.

Характерно, что СССР, несмотря на то, что был участником конференции и подписал Бреттон-Вудские соглашения, в дальнейшем их не ратифицировал. Что сильно ограничило целостность мировой финансовой системы и, значит, гегемонию доллара. По нашему мнению, это и стало одной из основных причин начала холодной войны, поскольку объективно ограничивало ареал распространения Мировой Финансовой Системы, основанной на экспансии доллара.

В 1976 г. на конференции стран МВФ в Кингстоне (Ямайка) была утверждена новая – четвёртая по счету мировая валютная система. В ней была сделана попытка устранения некоторых противоречий Бреттон-Вудской системы. Был отменен золотой стандарт и юридически завершена демонетаризация золота: отменены его официальная цена, золотые паритеты, прекращен обмен долларов на золото. Теперь чисто финансовые субстанции практически полностью освободились от сдерживающих уз материи в виде золота, что еще больше стимулировало активизацию их «нематериальных», «субъектных», «информационных» свойств. Была задекларирована роль СДР в качестве основного финансового инструмента МВФ, но при этом доллар по-прежнему остался ведущей мировой валютой. Таким образом окончательно сформировался в высшей степени эффективный симбиоз системы ФРС и государства США. Национальная идея и национальное достояние США – доллар продолжил свой победоносный поход в Мире, поскольку теперь для формирования глобальной Мировой Финансовой Системы были созданы практически все необходимые институты. Доллар, ставший мировой валютой, всё определеннее завоёвывал место основной субстанции и субъекта финансового механизма эволюции. Начался «финансовый постмодерн».

Следствием такого статус кво явилась возможность использования основанных на долларе глобальных финансовых инструментов для решения собственных проблем США. Обратной стороной отмеченной возможности явилось убеждение США в своей исключительной роли в мире. Эта роль, проявляющаяся в совершенно различных формах (а в наше время даже и в таких, которые напоминают *id e fixe*), по сути, базируется на эксклюзивном финансовом статусе ФРС – статусе принципа мировой финансовой долларовой пирамиды. При этом необходимо сознавать, что эта пирамидальная, увенчанная Федеральным Резервом структура, выполняющая функции эволюционного фактора, может существовать лишь в условиях постоянного роста ареала своего распространения. Поэтому начавшиеся в эту

эпоху процессы глобализации мира в действительности демонстрировали ничто иное как естественную форму эволюции самой Мировой Финансовой Системы. А историческая роль США свелась к поддержке и сопровождению всех обеспечивающих ее инструментов и институтов. Изложенное и составило основу нового Мирового порядка. Эту экспансию ограничивало лишь существование связанной с СССР социалистической системы, не входившей в долларовую пирамиду.

Начало финансово-информационного этапа и его сущность

Параллельно в мире происходили другие, не менее важные события. В начале 1973 года разразился первый мировой энергетический кризис. Не будем распространяться здесь о его причинах, поскольку на эту тему также имеется достаточное число публикаций.

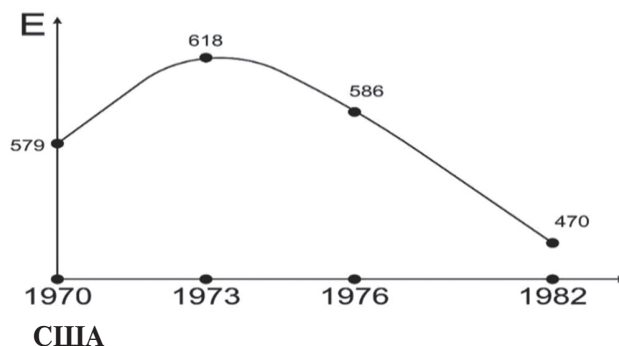
В табл. 4 приведены данные Международного института прикладного системного анализа в Вене – IASA по потреблению всех видов энергии в ведущих странах мира в 1970–1982 гг., отградуированные в миллионах тонн нефтяного эквивалента.

Поведение этого показателя, а именно – энергопотребления всех видов энергии, приведенного к единому нефтяному эквиваленту, весьма замечательно. До 1973 года, включая и этот год, ставший годом нефтяного кризиса, энергопотребление росло, а начиная с 1974 года оно начало уменьшаться, причем в некоторых странах весьма значительно. Например, в США примерно на 20%.

При этом данные свидетельствуют, что общий объем экономики в этих странах по крайней мере не уменьшался, а в некоторых даже рос. Создавалось впечатление, что происходит увеличение объемов производства при уменьшении вложенных в него ресурсов. Как и за счет чего такое могло случиться?

Таблица 4

Динамика энергопотребления в развитых странах в 1970–1982 гг. (в млн. тонн нефтяного эквивалента)



Страны \ Годы	1970	1973	1976	1982
США	579	618	586	470
ФРГ	63,6	66,9	62,1	58,0
Франция	54,1	61,1	61,1	54,4
Англия	58,0	60,5	52,7	41,0
Япония	125,3	150,2	135,3	126,3

Ответ только один: путем интенсивного введения в социотехническую систему некоего нового, «невидимого» ресурса. Мы полагаем, что этим ресурсом стала информация, что ознаменовало переход к новому — финансово-информационному этапу эволюции, начало которого мы в силу данной причины и относим к 1974 году. Вот почему мы, обычно подчеркивая приблизительный, качественный характер наших построений и выводов, в данном случае действуем с нетипичной для нас точностью.

Остановимся на объяснении механизма этого перехода.

В первой части работы, в разделе «Колмогоровская сложность и ее реалистичная интерпретация» мы упоминали о связи между энергией и информацией, в частности, о возможности информационно-энергетических трансформаций в связи с объяснением парадокса с «демоном Максвелла». Соответствующие результаты приведены в ряде работ¹⁵. Суть произошедшего в 70-е годы прошлого столетия перехода сводится к следующему.

Фундаментальная роль энергии в современном производстве побуждает к его трактовке как своеобразной „машины” и, в той мере, в которой этот взгляд справедлив, позволяет считать, что в основе его функционирования лежат определенные объективные закономерности. Естественно рассматривать производство как „сумму технологий”¹⁶, то есть как совокупность технологических процессов, вступающих в определенные отношения и взаимодействие, так что любая производственная система (и производство в целом) наглядно представляется в виде некоего динамического графа, вершинами которого являются конкретные технологические процессы, а ребрами — технологии взаимодействия между ними. Эта картина развивается во времени: появляются и исчезают некоторые из вершин, прерываются старые и возникают новые связи и т. д. Описанная картина является графической репрезентацией глобального механизма, осуществляющего переработку природных веществ в соответствии с потребностями людей. Но человек в процессе производства может действовать лишь так, как действует сама природа, то есть может изменять лишь „форму веществ”¹⁷; преобразование же „формы веществ” в конце концов осуществляется путем энергетических взаимодействий, комбинируемых тем или иным образом.

¹⁵ Szilard L., Zs. Fur Physic, 54, 840, 1929.; Волькенштейн М.В. Теория информации и эволюция. // "Кибернетика живого: биология и информация". — М.: Наука, 1984. — с. 45-53.; Волькенштейн М. В. Энтропия и информация. — М.: Наука, 1986. — 190 с.; Стратонович Р.Л. Теория информации. — М.: Сов. радио, 1975. — 423 с., гл 12.; Широков В.А. Інформаційно-енергетичні трансформації та інформаційне суспільство. // Українсько-польський науково-практичний журнал "НАУКА, ІННОВАЦІЯ, ІНФОРМАЦІЯ". — Київ, 1996. — № 1. — С. 48-66. В.А.Широков. Інформаційна теорія лексикографічних систем, — К.: Довіра, 1998, 331 С.

¹⁶ С. Лем. Сумма технологий. — М.: МИР, 1968, 608 с.

¹⁷ К.Маркс. Капитал. Т. 1.

Это становится очевидным, если принять во внимание, что все известные явления природы описываются с помощью формализма, в основе которого лежат существенно энергетические величины.

То же происходит и в социотехнических системах и процессах. Если абстрагироваться от технических деталей тех или иных конкретных технологий, с необходимостью следует вывод, что любая из них представляет собою последовательность специальных, целенаправленных энергетических преобразований природных веществ. В технологических процессах, применяемых в производстве, мы видим сложные, подчас неконтролируемые комбинации и взаимопревращения различных видов и форм энергии: механической в электрическую, электромагнитной в химическую и биологическую, химической в тепловую, ядерной в электрическую и т. д. Несмотря на то, что не всегда удается дать простую энергетическую интерпретацию тех или иных технологий и установить количественную характеристику для их энергетического сравнения, принципиально понятно, что именно энергетические преобразования лежат в их основе.

Итак, производство в целом носит существенно энергетический характер, а энергия в тех или иных ее формах и проявлениях является источником, средством и, в конце концов, целью технологических процессов как таковых; и наоборот, сами эти процессы могут быть сведены к единому энергетическому эквиваленту. Можно сказать, что энергия является „субстанцией”, творящей технологический процесс, подобно тому, как абстрактно человеческий труд (по К. Марксу) является субстанцией, „творящей стоимость” в товарном производстве.

Но энергия, как субстрат производства, носит двойственный характер. С одной стороны, она представляет одно из важнейших понятий современного естествознания и предоставляет в виде имеющихся (классических и неклассических) вариантов гамильтонова и лагранжева формализма основу для описания всех известных явлений природы — в этой ипостаси энергия представляется в виде более или менее сложно сконструированной функции физических координат, импульсов, соответствующих полевых величин, а также ряда параметров, являющихся проявлениями так называемых внутренних степеней свободы рассматриваемых систем.

С другой стороны, как величина, характеризующая производство (а основным определяющим свойством последнего является его общественный характер), энергия зависит от „общественных” параметров, которыми можно охарактеризовать функционирование производства как общественного процесса. К ним, в частности, относятся и параметры, характеризующие человеческие знания, то есть общественно осмысленную и переработанную информацию, без которой невозможно функционирование никакой социотехнической

системы, никакой технологии („ноу-хау“). В результате энергия, используемая в социотехнических средах, приобретает характер „овеществленного“ знания; проще говоря, в технологических процессах, вообще в производственных процессах, энергия становится функцией информации: $E = E(I)$. Это относится как к единичному производственному акту, реализуемому в индивидуальном труде рабочего (или, если угодно, робота), так и к производству, взятому в целом.

В свою очередь, и сама информация, фигурирующая в последней формуле, имеет двойственную природу: она одновременно является и характеристикой человеческого знания, как сугубо общественного явления, и объективной характеристикой природных процессов, не зависящих от человеческого знания. В этом последнем качестве информация во всех системах подчиняется (так же, кстати, как и энергия) одинаковым объективным закономерностям. Одним из таких фундаментальных свойств информации является, как мы отмечали, ее способность к реализации энергетических трансформаций — переходов из энергетических состояний, использование которых невозможно либо осложнено, в более ценные, более „эксплицитные“ формы. В этом смысле наиболее глубоко изучен и доведен до точного количественного описания процесс преобразования тепловой энергии в механическую в физических системах, изолированных в тепловом и открытых в информационном отношении, изложенный в 12 главе цитированной выше книги Р. Стратоновича, где описан процесс, результатом которого явилось получение в результате информационно-энергетического акта полезной работы — её величина пропорциональна количеству информации, поступающей в систему:

$$E \sim \alpha I. \quad (12)$$

С учетом упомянутой возможности запишем уравнение энергетического баланса для всей социотехнической системы, рассматриваемой как „сумма технологий“:

$$E_{\text{п}} = E_{\text{д}} - E_{\text{о}}, \quad (13)$$

где $E_{\text{д}}$ — сумма всех видов добываемой (вовлекаемой в производство) энергии; $E_{\text{о}}$ — сумма всех видов отходов производства (тепловые потери, отвалы, неутрализованное вторсырье, потери от неоптимизированных по энерго- и материалоемкости технологий, машин и механизмов и т.п.); $E_{\text{п}}$ — полезная часть энергии. в последней формуле полагаем, что все процессы приведены к единому энергетическому эквиваленту. Учтем эффект информационно-энергетических преобразований, то есть введем в эту формулу информационный член $E^{(i)}$, фигурирующий в формуле (12), причем $E^{(i)} = E^{(i)}_{\text{д}} + E^{(i)}_{\text{о}}$, и после преобразований получим следующую формулу:

$$E^{(i)}_{\text{п}} = (E_{\text{д}} + E^{(i)}_{\text{д}}) - (E_{\text{о}} - E^{(i)}_{\text{о}}) \quad (14)$$

Из нее видно, что возрастание производства — ему соответствует возрастание величины $E^{(i)}_{\text{п}}$ — может происходить двумя принципиально различными путями. А именно, в первом члене формулы (14):

$$(E_{\text{д}} + E^{(i)}_{\text{д}}) \quad (15)$$

возрастание второго слагаемого $E^{(i)}_{\text{д}}$ соответствует росту производства за счет введения новых источников энергии, или вообще новых ресурсов, поскольку в нашем контексте энергия является синонимом материальных ресурсов вообще. Этот путь соответствует экстенсивному ведению экономики.

Второе слагаемое:

$$-(E_{\text{о}} - E^{(i)}_{\text{о}}) \quad (16)$$

имеет качественно иную природу. А именно: возрастание величины $E^{(i)}_{\text{о}}$ ведет к уменьшению совокупной суммы отходов производства и иных потерь и, таким образом, к увеличению общего его объема, пропорционально величине $E^{(i)}_{\text{п}}$. Это соответствует интенсивному способу ведения экономики. Как видим, принципиальная возможность реализации такого пути связана с постоянной „подкачкой“ в производственно-экономическую систему новой информации.

Понятно, что для того, чтобы система усвоила этот информационный ресурс, превратив его в продукцию, необходимую людям, нужно, чтобы он сам в процессе производства сначала превратился в эквивалент энергии, которой так не хватало и которую нужно было чем-то заменить. Это и происходит в действительности путем реализации информационно-энергетических трансформаций, механизмы которых были рассмотрены выше.

Итак, одним из следствий подкачки новой информации в производственную систему является уменьшение производственных потерь. Более того, слагаемое $E^{(i)}_{\text{о}}$ в формулах (14) и (16) фактически представляет единственный фактор, результатом действия которого является уменьшение производственных отходов (последнее утверждение дает основания полагать, что и экологический эффект, и «устойчивое развитие» являются, по сути, эффектами информационными).

Итак, введение новой информации в производственные системы представляется единственным источником эффективности их функционирования. Более того, из формулы (14) следует, что за счет возрастания информационного члена $E^{(i)}_{\text{о}}$ возможен рост и $E^{(i)}_{\text{п}}$ — иными словами, будет наблюдаться и рост производства при стабилизации и даже уменьшении величины ресурсов $E_{\text{д}}$, вводимых в него изначально. Описанный эффект был воссоздан в глобальном масштабе в процессе преодоления энергетического кризиса 1973 года. Именно этот факт и персонифицирует собой настоящий переход к информационному обществу, а поведение энергопотребления, приведенное на графике (кривая с максимумом), при условии

неубывания объемов производства, является критерием перехода от индустриального к информационному обществу.

Очевидно, что процесс преобразования информации в энергию (ресурс — в общем смысле) не происходит автоматически. Для того, чтобы задействовать этот процесс, необходимо, во-первых, иметь саму информацию (то есть наладить ее непрерывное производство), а во-вторых, необходимы массовые методы и средства для преобразования, хранения, транспорта и осуществления других манипуляций с информацией, которые делают ее информационным ресурсом. С целью обеспечения данного процесса возникла целая индустрия знаний. Когнитология из философской превратилась в инженерную дисциплину. Недаром в начале 80-х годов заговорили про третью научно-техническую и четвертую информационную революцию; от тех времен в обороте остался термин „новая информационная технология”.

Именно „сумма новых информационных технологий” и является той технологической средой, в которой по преимуществу и происходит «преобразование информации в энергию»: $I \rightarrow E_c$ дальнейшим использованием последней в процессах материального производства.

Таким образом, только те страны, где в свое время динамика энергопотребления приобрела характер, представленный на приведенном выше графике, имеют основания полагать, что у них на самом деле произошел переход к информационному обществу. Постоянная подкачка новой информации является необходимым условием интенсивного, или как говорят в последнее время, устойчивого развития экономики и общества вообще.

Но является ли это условие достаточным?

Ответ на этот вопрос отрицателен.

Действительно, далеко не любая информация может быть преобразована в полезный ресурс. В рассмотренном выше модельном примере такое преобразование выполнял, выражаясь образно, один информационный “демон Максвелла”. В реальных же производственно-технологических ситуациях для этой цели создаются целые комплексы организаций и институций (хочется, следуя Селфриджу¹⁸, употребить слово „пандемониумы”), обеспечивающие производство и многократные преобразования информации и ее транспортирование до тех пор, пока она не поступит в социотехническую систему в нужный момент и в нужной форме, адаптированной к восприятию упомянутой системой. Именно такой процесс продуцирования и целенаправленного многократного преобразования и транспортирования информации и придает ей качества, позволяющие квалифицировать её как знание.

¹⁸ Selfridge O.G. Pandemonium: a paradigm for learning. In: Mechanisation of thought processes. London. HMSO., 1959. — p. 511-531.

Суммируя сказанное, можно констатировать, что в 70-е годы прошлого века произошла информационная революция (четвёртая по счету, начиная от изобретения письменности) и начало формироваться информационное общество. Термин “information” в поисковике Google 31 августа 2017 года выдал число ссылок 7 миллиардов 850 миллионов, что намного превышает показатель для термина “energy” (1 миллиард 700 миллионов).

Итак, начиная с 1974 года, в качестве субстанций, обеспечивающих механизм эволюции человеческого сообщества необходимо рассматривать как финансовую, так и информационную составляющие. Это и оправдывает введение нами финансово-информационного этапа в Производственном механизме эволюции человеческого сообщества. Следующей задачей является определение релевантной ему меры сложности.

Деньги и эволюция человека (в поисках параметра эволюции. Продолжение)

Вернемся к определению сложности финансового механизма. Учитывая изложенное, мерой его сложности естественно было бы определить объем обращаемых в мире денег в определенный период времени. Однако здесь сразу же возникает целый ряд проблем. Практически невозможно определить количества, так сказать, «денежных масс», находившихся в обращении в той или иной стране в тот или иной период. Особенно, когда эти периоды достаточно удалены от современности. Также практически невозможно привести различные виды денег к единому «знаменателю», то есть к единой мере. Поэтому в данном случае нам придется довольствоваться непрямыми данными и на относительно небольшом промежутке времени. Тем не менее даже эти данные выглядят весьма убедительно.

Мы предлагаем использовать в качестве меры обращающихся в мире денег суммарный мировой объем ВВП, отградуированный в долларах. Такие данные, к счастью, имеются. Так на сайте <http://businessforecast.by/partners/ratings/470> опубликованы данные по фактической и прогнозной динамике мирового ВВП в 1980-2017 гг. в текущих ценах (рис. 2). По данным Международного валютного фонда (МВФ) на конец августа 2012 г. объем мирового ВВП в текущих ценах возрос в 2011 г. по сравнению с 2010 г. на 10,4% до рекордных 69,660 трлн. долл. По прогнозу МВФ, в 2017 г. мировой ВВП достигнет исторического максимума 94,028 трлн. долл. По сравнению с 2011 г. показатель в текущих ценах возрастет на 35%, по сравнению с 1980 г. — в 8,8 раза. Эти данные указывают на полиномиальный (квадратичный) рост суммарного мирового ВВП.

Несколько иные, но качественно схожие данные (к тому же — фактические, а не прогнозные), приведены на сайте <https://seosait.com/dinamika-vvp-mira-1970-2016/> (см. Таблицу 5). По этим данным

за период 1970-2016 гг. ВВП мира вырос с 3398,7 млрд. долл. до 75212,7 млрд. долл. и увеличился на 71817 млрд. долл. США или в 22,13 раза. Рост параметра в 22 раза за 45 лет не может не выглядеть впечатляющим (если не пугающим). Особенно, если учесть, что этот параметр используется в качестве показателя сложности соответствующего механизма эволюции, а период времени 45 лет есть ничто иное, как (по С.П. Капице) собственный масштаб времени и жизни человека, равный полуширине демографического перехода.

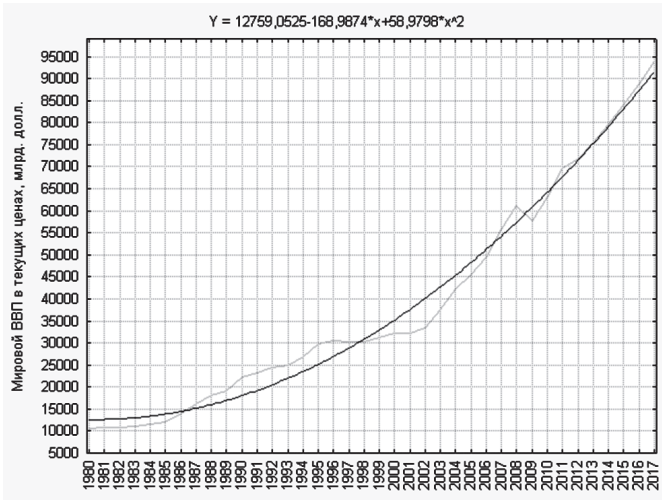


Рис. 2. Динамика мирового ВВП в текущих ценах в 1980-2017 гг., млрд. долл. (фактические данные и полиномиальный тренд)

Это означает, что в указанный период времени сложность системы удваивалась в среднем примерно в течение 10 лет (в начале периода рост был даже выше, но потом несколько замедлился, а в момент кризиса 2009 года даже был спад). Если (по В.В. Анисимову) к 1980 году темп удвоения сложности, ориентированный на показатель «численность населения» (или «число профессий») составил 45 лет, то финансовый механизм увеличивает этот темп более, чем в 4 раза!

Жизнь, оказывается, за ничтожно малое по историческим меркам время необычайно усложнилась! И в то же время, психологически не ощущается какого-то чрезвычайного эволюционного прорыва, коего можно было бы ожидать ввиду взрывного роста такого эволюционного параметра как объем ВВП в денежном выражении. Почему так происходит? Всё дело в том, что не всякое увеличение сложности системы приводит к ее эволюции. При некоторых обстоятельствах система получает возможность "разгонять" свою сложность, при этом практически не эволюционируя. Как мы отмечали, возрастание сложности является лишь необходимым условием эволюции. Но оно, к сожалению, не является достаточным. И вот, в наше время мы наблюдаем факт колоссального (взрывного) роста сложности мировой системы при не очень впечатляющей ее эволюции. Остановимся на этом вопросе детальнее.

Таблица 5

Динамика мирового ВВП в 1970–2016 гг.

Год	Население, чел	Прирост населения, %	текущие цены		постоянные цены 1970		
			ВВП, млрд, долл.	ВВП на душу населения, долларов	ВВП, млрд, долл.	Рост ВВП, %	ВВП на душу населения, долларов
1970	3 692 492 000	-	3 399	921	3 399	-	921
1971	3 706 457 821	2,05	3 742	994	3542	4,22	956
1972	3 781 718 408	2,03	4 304	1 121	3 735	5,45	988
1973	3 857 446 385	2	5 236	1 337	3 972	6,34	1 030
1974	3 933 259 749	1,97	5 931	1 485	4048	1,91	1 029
1975	4 008 830 123	1,92	6 631	1 630	4 081	0,82	1 018
1976	4 083 945 282	1,87	7 160	1 728	4 289	5,09	1 050
1977	4 158 595 800	1,83	8 054	1 909	4 462	4,03	1 073
1978	4 233 141 702	1,79	9 542	2 223	4 658	4,39	1 100
1979	4 308 250 508	1,77	10 986	2 515	4847	4,06	1 125
1980	4 384 610 765	1,77	12265	2 759	4935	1,82	1 126
1981	4 462 520 455	1,78	12 515	2 765	5 032	1,97	1 128
1982	4 541 925 121	1,78	12 424	2 697	5 059	0,54	1 114
1983	4 622 968 917	1,78	12 745	2 718	5 205	2,87	1 126
1984	4 706 050 232	1,8	13 108	2 746	5 443	4,59	1 157
1985	4 791 491 780	1,82	13 475	2 772	5 644	3,69	1 178
1986	4 898 800 655	2,24	15636	3 159	5820	3,11	1 188
1987	4 989 444 582	1,85	17 670	3 505	6 030	3,6	1 208
1988	5 081 783 861	1,85	19 750	3 845	6 307	4,59	1 241
1989	5 174 442 999	1,82	20649	3 949	6 548	3,84	1 266
1990	5 266 008 555	1,77	22 881	4 303	6 744	2,98	1 281
1991	5 355 775 164	1,7	24 002	4 440	6827	1,24	1 275
1992	5 443 546 997	1,64	25873	4 675	6 959	1,93	1 278
1993	5 529 445 444	1,58	26 153	4 691	7066	1,54	1 278
1994	5 613 585 107	1,52	27 900	4 931	7 287	3,12	1 298
1995	5 696 160 733	1,47	30 828	5 372	7 495	2,86	1 316
1996	5 777 240 510	1,42	31 472	5 410	7 740	3,27	1 340
1997	5 856 792 928	1,38	31 357	5 319	8 027	3,7	1 371
1998	5 934 983 696	1,34	31 123	5 212	8 234	2,58	1 387
1999	6 012 341 125	1,3	32 305	5 339	8 511	3,37	1 416
2000	6 089 661 543	1,29	33 225	5 423	8 874	4,27	1 457
2001	6 167 244 942	1,27	33 049	5 328	9 038	1,85	1 466
2002	6 245 056 652	1,26	34 387	5 476	9 231	2,13	1 478
2003	6 323 241 327	1,25	38 656	6 081	9 495	2,86	1 502
2004	6 401 941 947	1,24	43 535	6 766	9 883	4,09	1 544
2005	6 481 317 336	1,24	47 153	7 240	10 240	3,61	1 580
2006	6 561 466 555	1,24	51 108	7 753	10 662	4,13	1 625
2007	6 642 449 039	1,23	57 520	8 622	11 084	3,96	1 669
2008	6 724 189 737	1,23	63 026	9 334	11 248	1,48	1 673
2009	6 806 620 067	1,23	59 803	8 752	11 022	-2,01	1 619
2010	6 889 628 242	1,22	65 349	9 451	11 474	4,1	1 665
2011	6 973 291 960	1,21	72374	10 345	11798	2,83	1 692
2012	7 057 203 973	1,2	73 631	10 402	12 057	2,19	1 708
2013	7 141 558 332	1,2	75 566	10 563	12 331	2,27	1 727
2014	7 226 178 654	1,18	78 037	10 799	12 726	3,2	1 761
2015	7 310 729 390	1,17	73 502	10 054	13 107	3	1 793
2016	7 397 835 935	1,19	75 213	10 167	13 487	2,9	1 823

После отмены «Золотого Стандарта» Федеральная Резервная Система оказалась «отвязанной» от материи в виде золота. В результате возникла ситуация неконтролируемого, «паразитного» увеличения сложности системы, не связанного напрямую с ее эволюцией. Это обстоятельство дает нам основание представить общую сложность системы в виде суммы:

$$C_{total} = C_{evol} + C_{parasite}, \tag{17}$$

где C_{evol} — часть сложности, соответствующая реальным эволюционным процессам; $C_{parasite}$ — паразитная сложность, не связанная с эволюцией; C_{total} — общая сложность системы. Разумеется, желательно выполнить более глубокий анализ формулы (17) применительно к современной Мировой Финансовой Системе, определив факторы, влияющие на поведение её составляющих и стимулирующие рост C_{evol} при уменьшении величины $C_{parasite}$. С этой целью введем величину σ (σ -фактор), как фактор эффективности эволюции системы, согласно формуле:

$$\sigma = \frac{C_{evol}}{C_{total}} = \frac{C_{evol}}{C_{evol} + C_{parasite}}. \tag{18}$$

Из формулы (18) видно, что σ -фактор принимает значения между 0 и 1, достигая максимального значения, равного 1, в идеальном, на практике недостижимом случае, когда $C_{parasite} = 0$. Попыта-

емся оценить величину σ -фактора для долларовой системы. Допустим, что основной вклад в продуцирование $S_{parasite}$ вносит инфляция. На сайте¹⁹ размещена система, позволяющая рассчитывать уровень инфляции доллара США за определенный период. Воспользуемся ею и рассчитаем этот уровень, начиная с 1971 года до 2017 года (рис. 3).

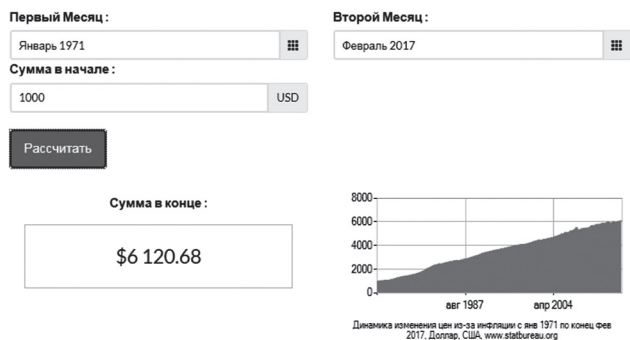


Рис. 3. Расчет динамики инфляции \$ за период «январь 1971 – февраль 2017»

Предполагаем, что величину эффективности σ можно рассчитывать как «инфляционное» отношение:

$$\sigma = \frac{1000}{6120,68} \approx 0.16, \quad (19)$$

где 1000 – сумма в начале (январь 1971), а 6120.68 – сумма в конце (февраль 2017), учитывающая инфляцию доллара за данный период. Из этого расчета видно, что, как минимум 83% ресурсов финансовой системы за этот период были потрачены на производство паразитной сложности $S_{parasite}$. Возможно, реальная величина σ -фактора на самом деле еще намного меньше, поскольку мы учли всего лишь один «паразитный» параметр – инфляционный источник роста $C_{parasite}$ ²⁰. Но даже из такой грубой оценки видно, что «КПД» мировой финансовой системы в лучшем случае пребывает где-то между паровозом и бензиновым автомобилем.

Разумеется, здесь возникает много вопросов. И самый первый – как повысить величину σ -фактора и уменьшить $S_{parasite}$? И вообще: в каких пределах в принципе возможно улучшение эффективности существующей финансовой системы? Не менее важным является вопрос: на кого преимущественно ложится груз «обслуживания» паразитной сложности и наоборот – кто является, так сказать, основным бенефициаром данного статус кво?

Сосредоточимся на первом вопросе. Нам представляется, что до отмены «золотого стандарта» именно он, в силу природных свойств золота, выполнял функцию контроля (хотя бы частичного) неограниченного роста члена $C_{parasite}$, который только имитировал эволюцию, по сути, не имея к ней никакого отношения. Однако объективно

¹⁹<https://www.statbureau.org/ru/united-states/inflation-calculators?dateBack=1971-1-1&dateTo=2017-2-1&amount=1000>

²⁰Следует, однако, признать, что реанимация «золотого стандарта», скорее всего, невозможна. Он, по сути, себя изжил. Нужно что-то другое.

возрастание общей сложности мировой системы (C_{total}) за счет роста члена $S_{parasite}$ давало (и продолжает давать) огромную, непосильную для неё нагрузку. Для преодоления этого дисбаланса необходимо принятие ряда мер. Мы полагаем, что в первую очередь необходимо разработать некие новые аналоги «золотого стандарта», способного функционировать в современной информационно-сетевой среде, на основе фундаментального исследования взаимодействия между информационными и материальными факторами, между C_{evol} и $C_{parasite}$. Однако оставим этот анализ «на потом», а сейчас вернемся к нашей хронологии.

Продолжение эволюции: от информационного к сетевому этапу

В нашей хронологической таблице начало сетевой эпохи отнесено на 1990 год. Ее маркерами стали интернет, распад социалистической системы и глобализация.

Скажем несколько слов о том, почему вообще у нас возникла формула сетевого (точнее финансово-информационно-сетевого) этапа в Производственном механизме эволюции.

Различного рода сетевые структуры постоянно сопровождали всю историю развития человеческого общества. Коммуникационные, в частности, транспортные сети (караванные, речные, морские) функционировали с древнейших времен. Дорога специй, Великий шелковый путь, Путь из Варяг в Греки – примеры великих транспортных коммуникаций древности. Эпоха Великих географических открытий XV - XVII веков, в ходе которой европейцами были открыты новые земли и морские маршруты в Африку, Америку, Азию и Океанию, значительно расширила мировую транспортную сеть, а промышленная революция XVIII века вызвала к жизни железнодорожный транспорт – новую сетевую транспортную структуру. В 2006 году общая длина железных дорог по данным Международного железнодорожного союза составила более 1,37 млн. км. Начиная с 60-х годов минувшего столетия стали бурно развиваться трубопроводные транспортные сети. По данным «The World Factbook» в 2013 году общая длина мировых магистральных трубопроводов составила более 3,5 млн. км. А если говорить о водопроводных сетях, то они вообще развиваются со времен античности. Об автомобильных дорогах мы даже и не говорим – они, действительно, глобальны.

Таким образом, сетевая структура человеческого сообщества является совершенно естественной, начиная с определенного этапа развития. Однако своего апофеоза она достигла с развитием сети электро-связи (или более общо – сети телекоммуникаций) и компьютерно-информационных технологий.

Апофеозом сетевого общества стал интернет, в результате развития которого мировая сетевая структура приобрела характер «СЕТИ СЕТЕЙ». Истории зарождения и развития интернета посвящено немало работ, поэтому на ней мы не

останавливаемся. Google 1 октября 2017 года выдал 4 750 000 000 ссылок на запрос «internet»²¹. В 2017 году количество пользователей интернета в мире составило 3,5 млрд. человек (всё население Земли — примерно 7,3 млрд. человек). Еще в 2014 году количество работающих в интернете сайтов впервые в истории превысило 1 млрд. Согласно данным аналитического отчета компании Netcraft количество сайтов и персональных блогов и составило 1 022 954 603 узла. Согласно сервису Internet Live Stats, каждую секунду в Google делается более 50 000 поисковых запросов, просматривается 120 000 видео на Youtube, отправляется почти 2,5 млн. электронных писем. Но всё же эти данные не позволяют в полной мере представить себе размеры интернета. Причем, ещё не подсчитана так называемая «глубокая паутина» (Deep Web), то есть совокупность сайтов, не индексируемых поисковиками. Как указывает Википедия, это не синоним «тёмной паутины» (Dark Web или Dark Net), к которой в первую очередь относятся ресурсы, на которых ведётся всевозможная противоправная деятельность. Контент в «Deep Web» может быть как совершенно безобидным (например, онлайн-базы данных), так и совершенно непригодным для глаз законопослушной публики (к примеру, торговые площадки чёрного рынка с доступом только через Tor). Конечно, вышеприведённая оценка численности веб-сайтов является приблизительной. Сайты возникают и исчезают, к тому же размеры глубокой и тёмной паутин определить практически невозможно. Поэтому даже приблизительно оценивать размеры сети по этому критерию весьма непросто. Но одно несомненно — сеть постоянно растёт. Если одних только веб-сайтов более миллиарда, то отдельных страницы гораздо больше. Например, на ресурсе WorldWideWebSize представлена оценка размера интернета именно по количеству страниц. Методика подсчёта разработана Морисом де Кундером (Maurice de Kunder): сначала система осуществляет поиск в Google и Bing по списку из 50 распространённых английских слов. На основании оценки частоты этих слов в печатных источниках полученные результаты экстраполируются, корректируются, вводится поправка на совпадения результатов по разным поисковикам, и в результате получается некая оценка. На сегодняшний день размер интернета оценивается в 4,58 млрд. отдельных веб-страниц только в англоязычном сегменте сети.

Всемирная сеть оказалась идеальной средой для погружения в неё структур и функций Всемирной Финансовой Сети.

Отметим одну из таких структур: *Society for Worldwide Interbank Financial Telecommunications* (SWIFT), произносится как СВИФТ) — международная межбанковская система передачи информации и

совершения платежей. Также известна как SWIFT-BIC (англ. *Bank Identifier Codes*), BIC code, SWIFT ID или SWIFT code. SWIFT — это кооперативное общество, созданное по бельгийскому законодательству, принадлежащее его членам, которыми являются более чем 9000 банков из 209 стран (2010 год). В настоящий момент членами SWIFT являются более 10 000 организаций, в том числе около 1000 корпораций. В день через SWIFT проходит более миллиона транзакций о денежных переводах, межбанковских платежах, ценных бумагах. Ежегодно через SWIFT проходит 2,5 млрд. платежных поручений.

После событий 11 сентября 2001 года ЦРУ и Министерство финансов США получили доступ к финансовой информации сети SWIFT под предлогом отслеживания возможных финансовых транзакций террористов. Таким образом, США (и разумеется ФРС), как мировой лидер, получили возможность контроля над SWIFT. В последнее время угроза отключения от SWIFT используется как инструмент политического давления на страны, не подчиняющиеся политике США. Существуют и другие сетевые платежные системы. И вообще интенсивно развивается сетевая экономика, электронные деньги и т. п.

RESUME

Volodymyr Shyrokov

EVOLUTION AS UNIVERSAL NATURAL LAW (PROLEGOMENA TO THE FUTURE GENERAL EVOLUTION THEORY)

Part 2.

In the second part of the work evolutionary aspects of human society are described, which are based on the complexity theory. Theoretical and factual data are presented on population dynamics as an evolutionary factor. It is emphasized that from the 80-90s of the last century the era of the so-called Demographic transition came and the parameter "population size" ceased to play the role of an evolutionary factor.

The analysis of evolutionary aspects of the financial stages of the Production mechanism is carried out, namely, the actual financial, financial-information and financial-information-network. A brief chronology of the marked stages is given and their interpretation is presented. The measures of complexity for the above three stages of the Production mechanism are proposed and it is shown that the present stage is characterized by an exponential increase in complexity. The notion of parasitic complexity is introduced, the model is proposed and the efficiency of the world financial system built on the dollar for the period 1971–2016 is given. Thus, it is demonstrated that the evolutionary theory of complexity gives a quite adequate explanation of the causes of crises in the modern world.

It is demonstrated that due to the uncontrolled growth of the complexity of modern financial-information-network mechanism the world is increasingly sliding into a global crisis. This crisis is of an ontological nature and can not be resolved by palliatives. However, palliative measures can slow down the slide into a crisis and provide the time necessary to find and develop principal decisions.

In this paper, from the standpoint of the theory of evolutionary complexity, the "doctrine of controlled chaos" is analyzed, and possible other options for combating crises are also presented. Among these options, the most promising are the options associated with managed complexity, scientific and technological innovation and quantum information. From the standpoint of the theory of evolutionary complexity, the hypotheses of technological singularity and transhumanism are analyzed.

The author draws attention to the danger that uncontrollable development of critical phenomena brings the world to a global catastrophe.

The author considers it necessary to create a universal international transdisciplinary research institution in this field and organize research on the general theory of the evolution and its applications.

²¹ Google
 Все Картинки Новости Видео Карты Ещё Настройки Инструменты
 Результатов: примерно 4 750 000 000 (0,89 сек.)

УДК 519.85



Y. Stoian, A. Pankratov, T. Romanova

Institute for Mechanical Engineering Problems,
National Academy of Sciences of Ukraine, Department of Mathematical Modeling
and Optimal Design, Kharkiv, Ukraine, urikpostg@gmail.com;

Institute for Mechanical Engineering Problems, National Academy of Sciences of Ukraine,
Department of Mathematical Modeling and Optimal Design, Kharkiv, Ukraine, impankratov@mail.ru;

Institute for Mechanical Engineering Problems, National Academy of Sciences of Ukraine,
Department of Mathematical Modeling and Optimal Design, Kharkiv, Ukraine, sherom@kharkov.ua

OPTIMAL CLUSTERING OF POLYHEDRA

Cutting and packing problems have a wide spectrum of applications. When dealing with polyhedra, an important problem is the identification of the optimal clustering of two objects. Within this paper we consider a containing region (cuboid, sphere, cylinder) of variable sizes and two polyhedra that can be continuously translated and rotated. In addition minimal allowable distances between objects and between each object and the frontier of a containing region may be imposed. The objects should be arranged within a containing region such that a given objective will reach its minimal value. We consider a volume or metrical characteristics of the containing region as the objective, which depends on the variable parameters associated with the objects and the containing region. The paper presents a mathematical model in the form of nonlinear optimisation problem, based on the phi-function technique. We also developed a solution algorithm and provide new benchmark instances of finding the containing region that has either minimal volume or homothetic coefficient of a given containing region.

MINIMUM CONTAINMENT, POLYHEDRA CLUSTERUNG, MATHEMATICAL MODELING, NONLINEAR OPTIMIZATION.

Ю.Е. Стоян, А.В. Панкратов, Т.Е. Романова. ОПТИМАЛЬНАЯ КЛАСТЕРИЗАЦИЯ МНОГОГРАННИКОВ. Задачи упаковки и раскроя имеют широкий спектр применения. При размещении многогранников важной задачей является поиск оптимальной кластеризации двух объектов. В качестве области размещения рассматривается контейнер (кубоид, шар, цилиндр) с переменными метрическими характеристиками и два многогранника, которые допускают непрерывные трансляции и вращения. Учитываются ограничения на минимально допустимые расстояния между объектами и между каждым объектом и границей области размещения. Объекты должны быть размещены в контейнере таким образом, чтобы заданная функция цели достигала минимального значения. В качестве функции цели рассматривается объем или метрические характеристики контейнера. Функция цели зависит от переменных параметров, зависящих от объектов размещения и вида контейнера. В статье представлена математическая модель в виде задачи нелинейной оптимизации, основанная на методе phi-функций. Предлагается алгоритм решения и приводятся новые результаты для поиска контейнера минимального объема или с минимальным коэффициентом гомотетии.

МИНИМАЛЬНОЕ ВКЛЮЧЕНИЕ, КЛАСТЕРИЗАЦИЯ МНОГОГРАННИКОВ, МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, НЕЛИНЕЙНАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ

Ю. Є. Стоян, О.В. Панкратов, Т.Є. Романова. ОПТИМАЛЬНА КЛАСТЕРИЗАЦІЯ БАГАТОГРАННИКІВ. Задачі упаковки і розкрою мають широкий спектр застосування. При розміщенні багатогранників важливою задачею є знаходження оптимальної кластеризації двох об'єктів. У статті розглядається контейнер (кубоїд, куля, циліндр) зі змінними метричними характеристиками та два багатогранника, які допускають безперервні трансляції та обертання. Враховуються обмеження на мінімально допустимі відстані між об'єктами і між кожним об'єктом і границею області. Об'єкти повинні бути розташовані в контейнері таким чином, щоб задана функція мети досягала мінімального значення. Як функція мети розглядається об'єм або метричні характеристики контейнера. Функція мети залежить від змінних параметрів, залежних від об'єктів і типу контейнера. У статті представлена математична модель у вигляді задачі нелінійної оптимізації яка заснована на методі phi-функцій. Запропоновано алгоритм розв'язання та наведено нові результати пошуку контейнеру мінімального об'єму або з мінімальним коефіцієнтом гомотетії.

МИНИМАЛЬНЕ ВКЛЮЧЕННЯ, КЛАСТЕРИЗАЦІЯ БАГАТОГРАННИКІВ, МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ, НЕЛІНІЙНА ОПТИМІЗАЦІЯ

Introduction

Packing problems are interesting theoretically and have many important applications. Applications in industry include such problems as autonomously packing the hazardous waste into drums, which should then be melted in a plasma arc furnace, determining the placement of polycrystalline silicon nuggets during crucible

packing as a key component of a robotic system to automated crucible packing process in semiconductor wafer production, creating the optimization frameworks for powder and FDM-based 3D printing that seeks to save printing time and the support material required to print 3D shapes, parts nesting for shipbuilding, glass cutting, furniture and other goods. It is well known that even

the one-dimensional version of the problem of finding the optimal usage of a given resource, the classical knapsack problem, belongs to the class of NP-hard optimisation problems. For this reason, most of the work related to cutting and packing problems employ heuristic approaches. Nevertheless, the development of exact solution methods is an important task to broaden the range of optimal solvable cases.

One of the successful concepts in the case of irregular objects, which lends itself to exact approaches, is phi-functions [1], [2].

The new functions, called quasi-phi-functions [3], can be described by analytical formulas that are substantially simpler than those used for phi-functions, for some types of objects, in particular, for polyhedra. In addition we construct an adjusted phi-function for describing distance constraints for a pair of polyhedra.

Using this approach leads, in general, to multi-extremal non-linear optimisation problems. Our tools permit the modelling of continuous object rotations, non-overlapping, containment and distance constraints. The concept allows the computation of high quality local optima, and in some cases, the global optimum.

In this paper, we address the problem of determining the minimum size containing region to house two polyhedra and use the phi-function technique to achieve this aim. In detail, we will investigate the following problem:

Optimal clustering 3D-problem. Given two polyhedra where free continuous rotations of the objects are permitted, find the minimal sizes of a given containing region (cuboid, sphere, or cylinder) according to a given objective and placement parameters of two objects such that the objects are placed completely inside the containing region without overlap and taking in to account allowable distances between objects. We consider a number of frequently occurring objectives, i.e. minimum volume and homothetic coefficient of a given containing region .

1. Related work

The containment problem is useful in the design of packing solution approaches in a number of ways. Some researchers develop approaches based on mathematical modeling and general optimisation procedures; for example see [4-9]. Egeblad et al [6] present an efficient solution method for packing polyhedra within the bounds of a polyhedron containing region. Utilization of containing region space is improved by an average of more than 14 percentage points compared to previous methods proposed in [10]. However, in the experiments the largest total volume of overlap allowed in a solution corresponds to *one* percent of the total volume of all polyhedra for the given problem.

Liu et al [11] propose a new constructive algorithm, called HAPE3D, which is a heuristic algorithm based on the principle of minimum total potential energy for the 3D irregular packing problem, involving packing a set of irregularly shaped polyhedrons into a box-shaped containing region with fixed width and length

but unconstrained height. The objective is to allocate all the polyhedrons in the containing region, and thus minimize the waste or maximize profit.

The objective of A. Pasha's [12] task was to autonomously pack the hazardous waste into fifty-five gallon drums, which would then be melted in a plasma arc furnace. Central to the task was the development of a bin packing algorithm that was capable of finding near optimal packing configurations for a set of irregular shaped objects.

Vivek A. Et al [13] present an algorithm to automatically determine the placement of polycrystalline silicon nuggets during crucible packing is a key component of a robotic system to automated crucible packing process in semiconductor wafer production. To solve this problem of packing 3-D highly irregular objects with industrial constraints, an on-line model-free packing algorithm has been developed. It is based on the approach called Virtual Trial and Error.

Vanek et al [14] propose an optimization framework for 3D printing that seeks to save printing time and the support material required to print 3D shapes. Authors use the tabu search optimization [15] that has polynomial complexity to find a near to optimal solution and that has been used with success for packing problems.

Most of the approaches dealing with the interaction of two (or a few) objects are used in placement algorithms for larger instances as local decision rules. Some of the earliest approaches to irregular packing problems used the strategy of first clustering pieces within easier to handle shapes, for example [16]. However, such approaches lost popularity as computational speed and methodology improvements facilitated the direct packing of polyhedra. There are recent examples where the packing process requires the initial clustering. Further, the more successful placement heuristics use hole filling strategies that is the equivalent of the containment problem described here.

2. The concept of phi-functions

Packing problems involving irregular shapes require the modelling of interaction of two objects with respect to containment, overlap constraints and allowable distances. In this section we describe the core phi-function concepts including the definition of a phi-object, describing a placement objects and a containing regions, identify the interactions between objects. Finally we describe the containment and non-overlapping constraints taking into account allowable distances using phi-functions and quasi-phi-functions.

2.1. Placement objects. We assume that any placement object \mathbb{Q} (an object which has to be placed into a containing region) considered here, is a three-dimensional phi-object [1], where a phi-object is a canonically closed point set $\mathbb{Q} \subset R^3$ ($\mathbb{Q} = cl^*(\mathbb{Q}) = cl(int(\mathbb{Q}))$) having the same homothopic type as its interior. As placement objects we consider, in general, non-convex polyhedra.

The location and orientation of each polyhedron \mathbb{Q} is defined by a variable vector of its placement

parameters (v, θ) . Here $v = (x, y, z)$ is a translation vector, $\theta = (\theta^1, \theta^2, \theta^3)$ is a vector of rotation parameters, where $\theta^1, \theta^2, \theta^3$ are appropriate angles from axis OX to OY , from axis OY to OZ and from axis OX to OZ in the local coordinate system of a polyhedron \mathbb{Q} .

The translated by vector v and rotated by angles $\theta^1, \theta^2, \theta^3$, a polyhedron \mathbb{Q} is denoted as $\mathbb{Q}(u) = \{p \in R^3 : p = v + M(\theta) \cdot p^0, \forall p^0 \in \mathbb{Q}^0\}$, where \mathbb{Q}^0 denotes the non-translated and non-rotated polyhedron \mathbb{Q} , $M(\theta)$ is a standart rotation matrix.

Assuming that non-convex polyhedron \mathbb{Q} may be presented as a union of convex polyhedra. Various algorithms can be applied to solve the problem, for example, the algorithm proposed in [17]. For the purposes of this paper, we assume the decomposition of the polyhedra is known.

With each convex polyhedron that form a polyhedron \mathbb{Q} we associate the local coordinate system which coincides with the local coordinate system of a polyhedron \mathbb{Q} . Note, that each convex polyhedron $K_i \subset \mathbb{Q}$ is defined by its vertices p_s^i , $s = 1, \dots, m_i$, $i \in I_q$, in the local coordinate system of \mathbb{Q} .

We assume here that *placement objects* have fixed *metrical characteristics* and *variable placement parameters* $(x, y, z, \theta^1, \theta^2, \theta^3)$.

2.2. Containing regions. We consider the following containing regions: a) a cuboid: $\mathbf{B} = \{(x, y, z) \in R^3 \mid \min\{x+l, -x+l, y+w, -y+w, -z+h, z+h\} \geq 0\}$ where variables l , w and h are the dimensions of the cuboid respectively; b) a sphere of variable radius r : $\mathbf{S} = \{(x, y, z) \in R^3 \mid r^2 - x^2 - y^2 - z^2 \geq 0\}$; c) a cylinder of radius λr and height λh , λ is a variable homothetic coefficient:

$$\mathbf{C} = \{(x, y, z) \in R^3 \mid \min\{(\lambda r)^2 - x^2 - y^2, -z + \lambda h, z + \lambda h\} \geq 0\},$$

subject to for original containing region $\lambda = 1$.

Containing region Ω have fixed *pacement parameters* $(0, 0, 0)$ and variable *metrical characteristics* p defined above. Hereinafter, we denote a *containing region* $\Omega = \Omega(p)$.

2.3. Description of relationships between objects. In order to feasibly place two objects within a containing region, we need to formalise placement constraints.

We employ the phi-function technique to describe analytically the placement constraints.

Let $A = \bigcup_{i=1}^{n_A} A_i$, and $B = \bigcup_{j=1}^{n_B} B_j$, be non-convex polyhedra, where A_i, B_j are convex polyhedra.

Containment constraints

Phi-functions allow us to distinguish the following three cases: A and B are intersecting so that A and B have common interior points; A and B do not intersect, i. e. A and B do not have common points; A and B are in contact, i. e. A and B have only common frontier points. By definition, the phi-function of A and B is everywhere defined for a continuous function that possesses the following characteristics: $\Phi_{AB} > 0$ if $A \cap B = \emptyset$; $\Phi_{AB} = 0$

if $\text{int } A \cap \text{int } B = \emptyset$ and $\text{fr } A \cap \text{fr } B \neq \emptyset$; $\Phi_{AB} < 0$ if $\text{int } A \cap \text{int } B \neq \emptyset$, where $\text{int } A$, $\text{fr } A$ is the interior and the frontier of object A . We employ phi-functions for the description of the containment relationship $A \subseteq B$ as follows: $\Phi_{AB^*} \geq 0$, where $B^* = R^3 \setminus \text{int } B$. See [1], [2] for definitions and basic features of phi-functions.

For mathematical modelling of containment constraints of form $A \subset \Omega \Leftrightarrow \text{int } A \cap \Omega^* = \emptyset$

It is used a phi-function $\Phi_{A\Omega^*}$ for non-convex polyhedron A and object $\Omega^* = R^3 \setminus \text{int } \Omega$, that can be represented in the following form depending on the type of the containing region

$$\Phi^{A\Omega^*} = \begin{cases} \Phi^{AS^*}, & \text{if } \Omega = \mathbf{S} \\ \Phi^{AC^*}, & \text{if } \Omega = \mathbf{C} \\ \Phi^{AB^*}, & \text{if } \Omega = \mathbf{B} \end{cases}$$

The phi-function for non-convex polyhedron A and object Ω^* has the form

$$\Phi^{A\Omega^*} = \min\{\Phi^{A_1\Omega^*}, \Phi^{A_2\Omega^*}, \dots, \Phi^{A_{n_A}\Omega^*}\}$$

Where $\Phi^{A_i\Omega^*}$ is a phi-function for a convex polyhedron A_i and object Ω^* .

Phi-function for A_i and object $\mathbf{S}^ = R^3 / \text{int } \mathbf{S}$.*

$$\Phi^{A_i\mathbf{S}^*} = \min\{\varphi_s, s = 1, \dots, m_{A_i}\},$$

$$\varphi_s = (\lambda r)^2 - (p_{sx}^i)^2 - (p_{sy}^i)^2 - (p_{sz}^i)^2$$

Phi-function for A_i and object $\mathbf{C}^ = R^3 / \text{int } \mathbf{C}$.*

$$\Phi^{A_i\mathbf{C}^*} = \min\{\mu, \psi, \omega\},$$

$$\mu = \min\{\mu_s, s = 1, \dots, m_{A_i}\}, \mu_s = r^2 - (p_{sx}^i)^2 - (p_{sy}^i)^2,$$

$$\psi = \min\{\psi_s, s = 1, \dots, m_{A_i}\}, \psi_s = p_{sz}^i + h,$$

$$\omega = \min\{\omega_s, s = 1, \dots, m_{A_i}\}, \omega_s = -p_{sz}^i + h,$$

Phi-function for A_i and object $\mathbf{B}^ = R^3 / \text{int } \mathbf{B}$.*

$$\Phi^{A_i\mathbf{B}^*} = \min\{\min_{1 \leq s \leq m_{A_i}} \eta_{sj}, j = 1, \dots, 6\},$$

$$\eta_{s1} = x_1 + p_{sx}^i, \eta_{s2} = -(x_1 + p_{sx}^i) + l, \eta_{s3} = y_1 + p_{sy}^i,$$

$$\eta_{s4} = -(y_1 + p_{sy}^i) + w, \eta_{s5} = z_1 + p_{sz}^i, \eta_{s6} = -(z_1 + p_{sz}^i) + h.$$

Non-overlapping constraints

For mathematical modelling of non-overlapping constraint $\text{int } A \cap \text{int } B = \emptyset$ a quasi-phi-function for a pair of non-convex polyhedra A and B may be defined in the form

$$\Phi'_{AB}(u_A, u_B, u_{AB}) =$$

$$= \min\{\Phi'_{ij}(u_A, u_B, u_{ij}), i = 1, \dots, n_A, j = 1, \dots, n_B\}, \quad (1)$$

where $\Phi'_{ij}(u_A, u_B, u_{ij})$ is a quasi-phi-function and u_{ij} is a vector of additional variables for for a pair of convex polyhedra $A_i(u_A)$ and $B_j(u_B)$, $i = 1, \dots, n_A$, $j = 1, \dots, n_B$, $u_{AB} = (u_{ij}, i = 1, \dots, n_A, j = 1, \dots, n_B)$.

It should be noted that replacing quasi-phi-functions $\Phi^{A_i B_j}$ in (1) by adjusted $\widehat{\Phi}^{A_i B_j}$ quasi-phi-functions for $i=1, \dots, n_A$, $j=1, \dots, n_B$, we get an adjusted quasi-phi-function $\widehat{\Phi}_{AB}(u_A, u_B, u_{AB})$ for non-convex polyhedra $A(u_A)$ and $B(u_B)$.

Let us consider two convex polyhedra $A_1(u_1)$ and $B_2(u_2)$, given by their vertices p_i^1 , $i=1, \dots, m_1$, and p_j^2 , $j=1, \dots, m_2$.

A radical free quasi-phi-function $\Phi^{A_1 B_2}(u_1, u_2, u_p)$ for convex polyhedra $A_1(u_1)$ and $B_2(u_2)$ may be defined by formula [3]

$$\begin{aligned} \Phi^{A_1 B_2}(u_1, u_2, u_p) &= \\ &= \min\{\Phi^{A_1 P}(u_1, u_p), \Phi^{B_2 P^*}(u_2, u_p)\}, \end{aligned} \quad (2)$$

where $\Phi^{A_1 P}(u_1, u_p)$ is a phi-function for $A_1(u_1)$ and a half-space $P(u_p)$, $\Phi^{B_2 P^*}(u_2, u_p)$ is a phi-function for $B_2(u_2)$ and a half-space $P^*(u_p) = R^3 \setminus \text{int } P(u_p)$, where $\text{int } P(u_p)$ is the interior of $P(u_p)$. Here $P(u_p) = \{(x, y, z) : \psi_p = \alpha \cdot x + \beta \cdot y + \gamma \cdot z + \mu_p \leq 0\}$ is a half-space, where $\alpha = \sin \theta_{yP}$, $\beta = -\sin \theta_{xP} \cdot \cos \theta_{yP}$, $\gamma = \cos \theta_{xP} \cdot \cos \theta_{yP}$ (note that $\alpha^2 + \beta^2 + \gamma^2 = 1$) and $u_p = (\theta_{xP}, \theta_{yP}, \mu_p)$, θ_{xP} and θ_{yP} are appropriate variable angles of the half-space $P(u_p)$ from axis OY to OZ and from axis OX to OZ in the fixed coordinate system in R^3 .

We follow [2] to define phi-function

$$\Phi^{A_1 P}(u_1, u_p) = \min_{1 \leq i \leq m_1} \psi_p(p_i^1)$$

and phi-function

$$\Phi^{B_2 P^*}(u_2, u_p) = \min_{1 \leq j \leq m_2} (-\psi_p(p_j^2)).$$

We note that if $\Phi^{A_1 B_2}(u_1, u_2, u_p) > 0$ then a plane

$$L_p = \{(x, y, z) : \psi_p(u_p) = 0\}$$

is a separating plane for $A_1(u_1)$ and $B_2(u_2)$

Thus, if two convex polyhedra $A_1(u_1)$ and $B_2(u_2)$ do not have common points then there always exists additional variables $u_p = (\theta_{xP}, \theta_{yP}, \mu_p)$ such that $\max_{u_p} \Phi^{A_1 B_2} > 0$. Therefore,

$$\max_{u_p} \Phi^{A_1 B_2} \geq 0 \Leftrightarrow \text{int } A_1(u_1) \cap \text{int } B_2(u_2) = \emptyset.$$

Further we use the following important characteristic of a *quasi-phi-function*: if $\Phi^{A_1 B_2} \geq 0$ for some u_p , then $\text{int } A_1(u_1) \cap \text{int } B_2(u_2) = \emptyset$ (see [3] for details).

Distance constraints

We take into account *distance constraints* replacing quasi-phi-functions in *non-overlapping* with adjusted quasi-phi-functions and phi-functions in *containment constraints* with adjusted phi-functions.

By definition an adjusted *phi-function* of A and B is an everywhere defined continuous function $\widehat{\Phi}^{AB}$, such that $\widehat{\Phi}^{AB} > 0$, if $\text{dist}(A, B) > \rho$, $\widehat{\Phi}^{AB} = 0$, if $\text{dist}(A, B) = \rho$, $\widehat{\Phi}^{AB} < 0$, if $\text{dist}(A, B) < \rho$, where ρ is the minimum allowable distance between objects A and B .

Function $\widehat{\Phi}^{AB}(u_A, u_B, u')$ is called an adjusted quasi-phi-function for objects $A(u_A)$ and $B(u_B)$, if function

$\max_{u' \in U} \widehat{\Phi}^{AB}(u_A, u_B, u')$ is an adjusted phi-function for the objects.

In particular, we have $\text{dist}(A, B) \geq \rho \Leftrightarrow \widehat{\Phi}^{AB} \geq 0$.

Let minimal allowable distance ρ_1^- between a convex polyhedron A_i and the *object* Ω^* be given. To describe distance constraint, $\text{dist}(A_i, \Omega^*) \geq \rho_1$, we use adjusted radical free phi-function $\widehat{\Phi}_1$ for a convex polyhedron A_i and the object Ω^* defined by

$$\widehat{\Phi}^{A_i \Omega^*} = \widehat{\Phi}^{A_i \Omega^*} - \rho_1.$$

where $\widehat{\Phi}^{A_i \Omega^*}$ is a normalized phi-function for the convex polyhedron A_i and the object Ω^* .

Normalized phi-function for the convex polyhedron A_i and the object S^* :

$$\widehat{\Phi}^{A_i S^*} = \min\{\widehat{\phi}_s, s=1, \dots, m_{A_i}\}, \quad (3)$$

$$\widehat{\phi}_s = r - \sqrt{(p_{sx}^i)^2 - (p_{sy}^i)^2 - (p_{sz}^i)^2}, \quad (4)$$

Normalized phi-function for the convex polyhedron A_i and the object C^*

$$\widehat{\Phi}^{A_i C^*} = \min\{\widehat{\mu}, \psi, \omega\}, \quad \widehat{\mu} = \min\{\widehat{\mu}_s, s=1, \dots, m_{A_i}\},$$

$$\widehat{\mu}_s = r - \sqrt{(p_{sx}^i)^2 - (p_{sy}^i)^2}, \quad (5)$$

$$\psi = \min\{\psi_s, s=1, \dots, m_{A_i}\}, \quad \psi_s = p_{sz}^i + h,$$

$$\omega = \min\{\omega_s, s=1, \dots, m_{A_i}\}, \quad \omega_s = -p_{sz}^i + h,$$

Normalized phi-function for the convex polyhedron A_i and the object B^*

$$\Phi^{A_i B^*} = \min\{\min_{1 \leq s \leq m_{A_i}} \eta_{sj}, j=1, \dots, 6\},$$

$$\begin{aligned} \eta_{s1} &= x_1 + p_{sx}^i, \quad \eta_{s2} = -(x_1 + p_{sx}^i) + l, \quad \eta_{s3} = y_1 + p_{sy}^i, \\ \eta_{s4} &= -(y_1 + p_{sy}^i) + w, \quad \eta_{s5} = z_1 + p_{sz}^i, \quad \eta_{s6} = -(z_1 + p_{sz}^i) + h. \end{aligned}$$

Let minimal allowable distance ρ_{12} between two convex polyhedra $A_1(u_1)$ and $B_2(u_2)$ be given. To describe a *distance constraint*, $\text{dist}(A_1, B_2) \geq \rho_{12}$, we use an adjusted radical free quasi-phi-function $\widehat{\Phi}_{12}^*$ for convex polyhedra $A_1(u_1)$ and $B_2(u_2)$ derived by

$$\widehat{\Phi}^{A_1 B_2}(u_1, u_2, u_p) = \Phi^{A_1 B_2}(u_1, u_2, u_p) - 0.5\rho_{12}. \quad (6)$$

Thus, $\max_{u' \in U} \widehat{\Phi}^{A_1 B_2} \geq 0 \Leftrightarrow \text{dist}(A_1, B_2) \geq \rho_{12}$. It follows from (2) and (6) that

$$\Phi^{A_1 B_2}(u_1, u_2, u_p) - 0.5\rho_{12} \geq 0 \Rightarrow \text{dist}(A_1, B_2) \geq \rho_{12}.$$

3. Mathematical model

In terms of phi-functions we can formulate the *optimal clustering problem* as a NLP problem:

$$F(u^*) = \min\{F(u) : u \in W\}, \quad (7)$$

$$W = \{u \in R^\sigma : \widehat{\Phi}^{\Omega^* A} \geq 0, \widehat{\Phi}^{\Omega^* B} \geq 0, \widehat{\Phi}^{AB} \geq 0\}, \quad (8)$$

where $F(u)$ is a polynomial function, $u = (p, u_A, u_B) \in R^\sigma$ is a vector of variables, R^σ is Euclidean space of σ dimension, p is a vector of variable metrical characteristics of Ω ,

$$(u_A, u_B) = (x_A, y_A, z_A, \theta_A^1, \theta_A^2, \theta_A^3, x_B, y_B, z_B, \theta_B^1, \theta_B^2, \theta_B^3)$$

is vector of variable placement parameters of objects A and B , W denotes the corresponding set of feasible solutions (the solution space), $\widehat{\Phi}^{AB}$ is an adjusted quasi-phi-function for objects A and B taking into account a given minimal allowable distance ρ between the objects, $\widehat{\Phi}^{\Omega^*A}$ is an adjusted phi-function for objects A and Ω^* , $\widehat{\Phi}^{\Omega^*B}$ is an adjusted phi-function for objects B and Ω^* taking into account a given minimal allowable distances ρ' between each object and the frontier of Ω . It should be noted that if $\rho = 0$ and $\rho' = 0$, then we use the original phi-function and quasi-phi-functions instead of the adjusted phi-functions and adjusted quasi-phi-functions in (8).

We consider three realizations of problem (7)-(8), denoted by P1, P2, P3, with respect to the shape of the containing region Ω and the form of the objective function $F(u)$:

P1: $\Omega \equiv \mathbf{B}$, $F_1(u) = l \cdot w \cdot h$ (volume of \mathbf{B}):

$$u = (l, w, h, u_A, u_B) \in R^\sigma,$$

$$\sigma = 15$$

P2: $\Omega \equiv \mathbf{S}$, $F_2(u) = r$ (radius of \mathbf{S}):

$$u = (r, u_A, u_B) \in R^\sigma,$$

$$\sigma = 13$$

P3: $\Omega \equiv \mathbf{C}$, $F_3(u) = \lambda$ (homothety coefficient of \mathbf{C}):

$$u = (\lambda, u_A, u_B) \in R^\sigma,$$

$$\sigma = 13$$

Each quasi-phi-function inequality in (8) is presented by a system of inequalities with infinitely differentiable functions. Our model (7)-(8) is a nonconvex and continuous nonlinear programming problem. Problem (7)-(8) is an exact formulation for the polyhedron packing problem. It contains all glospherey optimal solutions. It is possible, at least in theory, to use a global solver for the nonlinear programming problem and obtain a solution which is an optimal packing.

However in practice, we deal with a large number of variables and a huge number of inequalities in our model. As a result, finding a locally optimal solution becomes an unrealistic task for the available state of the art NLP solvers. In order to search for a "good" locally optimal polyhedron packing within a reasonable computational time we propose here a solution algorithm, which can be considered as *an extension* of the solution algorithm developed in [3] for the optimal ellipse packing problem.

4. General solution strategy

As discussed in the previous section, solving the polyhedron packing problem using an NLP solver is not practical. Instead we look to identify multiple starting solutions and search for the best of found local optimal solutions. Our multistart solution strategy involves the following steps:

1. Generate a set of vectors $\zeta^0 = (p^0, u_1^0, u_2^0, \dots, u_N^0)$ of feasible placement parameters $(u_1^0, u_2^0, \dots, u_N^0)$ of our polyhedra placed into the containing region Ω^0 of starting dimension p^0 in the problem (7)-(8). Various algorithms exist for obtaining a feasible solution for example [18]. We employ here the algorithm (called FSPA-S), which is described in Subsection 5.1.

2. Form an appropriate set $\{u^0\}$ of feasible starting points $u^0 = (\zeta^0, \tau^0)$ for problem (7)-(8), using the set $\{\zeta^0\}$ obtained at Step 1. We use a special procedure (FAPA-S) to generate a vector τ^0 of additional variables.

3. Search for a local minimum of the objective function $F(u)$ in problem (7)-(8), starting from each point from the set $\{u^0\}$ obtained at Step 2.

4. Choose the best local minimum from those found at Step 3 as the final solution of the problem (7)-(8).

The actual search for a local minimum in all our optimisation procedures (to realise steps 1-3) is performed by IPOPT [19], which is available at an open access noncommercial software depository (<https://projects.coin-or.org/Ipopt>).

5. Starting Point Algorithm (FSPA-S)

In order to find a vector of starting feasible placement parameters of our polyhedra we apply an algorithm, which is based on homothetic transformation of spheres. The algorithm consists of the following steps:

1. Choose starting dimensions p^0 for our containing region. They must be sufficiently large to allow for a placement of all circumscribed spheres S_q , $q = 1, 2, \dots, N$, within the containing region Ω^0 .

2. Generate within the containing region Ω^0 a pair of randomly chosen center points (x_q^0, y_q^0, z_q^0) , $q = 1, 2$, of circumscribed spheres S_q of radius λr_q . We assume here that λ is a homothetic coefficient for all our spheres S_q and $0 \leq \lambda \leq 1$.

3. Assuming that $p = p^0$, and starting from the point $u^0 = (x_1^0, y_1^0, z_1^0, x_2^0, y_2^0, z_2^0, \lambda^0 = 0)$, solve the following *auxiliary* nonlinear programming problem:

$$\max_{\tilde{u} \in W} \lambda, \quad (9)$$

$$\tilde{W} = \{\tilde{u} \in R^7 : \widehat{\Phi}^{S_1 S_2} \geq 0, \widehat{\Phi}^{S_1 \Omega^*} \geq 0,$$

$$\widehat{\Phi}^{S_2 \Omega^*} \geq 0, 1 - \lambda \geq 0, \lambda \geq 0\}, \quad (10)$$

где $\tilde{u} = (x_1, y_1, z_1, x_2, y_2, z_2, \lambda)$,

$$\begin{aligned} \widehat{\Phi}^{S_1 S_2} &= (x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2 + \\ &+ (z_1 - z_2)^2 - \lambda^2 (r_1 + \rho_{12}^- + r_2)^2, \end{aligned} \quad (11)$$

is an adjusted phi-function for a sphere S_1 of radius λr_1 and a sphere S_2 of radius λr_2 .

$$\widehat{\Phi}^{S_q \Omega^{0*}}(u_q) = \begin{cases} \widehat{\Phi}^{S_q S^{0*}}(u_q), & \text{если } \Omega = \mathbf{S} \\ \widehat{\Phi}^{S_q C^{0*}}(u_q), & \text{если } \Omega = \mathbf{C} \\ \widehat{\Phi}^{S_q B^{0*}}(u_q), & \text{если } \Omega = \mathbf{B} \end{cases} \quad (12)$$

$$\widehat{\Phi}^{S_q S^{0*}} = (r^0 - \lambda(r_q + \rho_q^-))^2 - (x_q)^2 - (y_q)^2 - (z_q)^2,$$

$$\widehat{\Phi}^{S_q C^{0*}} = \min\{(\eta^0 r - \lambda(r_q + \rho_q^-))^2 - (x_q)^2 - (y_q)^2,$$

$$z_q + \eta^0 h - \lambda(r_q + \rho_q^-), -z_q + \eta^0 h - \lambda(r_q + \rho_q^-)\},$$

$$\widehat{\Phi}^{S_q B^{0*}} = \min\{\varphi_{kq}, k = 1, \dots, 6\},$$

$$\begin{aligned} \varphi_{1q} &= -x_q + l^0 - \lambda(r_q + \rho_q^-), \quad \varphi_{2q} = x_q - \lambda(r_q + \rho_q^-), \\ \varphi_{3q} &= -y_q + w^0 - \lambda(r_q + \rho_q^-), \\ \varphi_{4q} &= y_q - \lambda(r_q + \rho_q^-), \quad \varphi_{5q} = -z_q + h^0 - \lambda(r_q + \rho_q^-), \\ \varphi_{4q} &= z_q - \lambda(r_q + \rho_q^-) \end{aligned}$$

$\widehat{\Phi}^{S_q \Omega^{0^*}}$ is an adjusted phi-function for a sphere S_q of radius λr_q and the object Ω^{0^*} .

We denote a point of global maximum of problem (9)-(10) by $\tilde{u}^* = (\tilde{x}_1^*, \tilde{y}_1^*, \tilde{z}_1^*, \tilde{x}_2^*, \tilde{y}_2^*, \tilde{z}_2^*, \tilde{\lambda}^* = 1)$.

4. Form a vector of feasible parameters

$$\zeta^0 = (p^0, u_1^0, u_2^0),$$

assuming that

$u_q^0 = (x_q^0, y_q^0, z_q^0, \theta_q^0)$, $(x_q^0, y_q^0, z_q^0) = (x_q^*, y_q^*, z_q^*)$ and θ_q^0 is a vector of randomly generated rotation parameters of polyhedra $\mathbb{Q}_q, q=1,2$.

Our FPPA algorithm returns the vector ζ^0 to generate a starting point for a subsequent search for a local minimum of the problem (7)-(8).

6. Computational experiments

The results include a number of examples to demonstrate the effectiveness of the methodology. In all cases the input data of the example has been provided in [10]. For local optimisation, our programs use IPOPT (<https://projects.coin-or.org/Ipopt>) (see [19]) that only guarantees a local optimum for non-linear programming problems. We use computer AMD Athlon 64 X2 5200+.

Example 1 Clustering of objects A and B into a cuboid B , we believe this optimal but not proved, problem **P1**, see Figure 1, $F(u^*) = l^* \cdot w^* \cdot h^* = 1502.0771$, where $l^* = 16.4725$, $w^* = 4.000$, $h^* = 22.7966$ Running time is 3.21 sec.

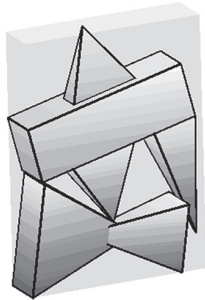


Fig. 1. Solution of problem P1 in Example 1

Example 2 Clustering of objects A and B into a cuboid B , we believe this optimal but not proved, problem **P1**, see Figure 2, $F(u^*) = l^* \cdot w^* \cdot h^* = 1399.9999$, where $l^* = 10.000$, $w^* = 10.000$, $h^* = 14.000$. Running time is 8.674 sec.



Fig. 2. Solution of problem P1 in Example 4

Example 3 Clustering of objects A and B into a cuboid B , we believe this optimal but not proved, problem **P1**, see Figure 3, $F(u^*) = l^* \cdot w^* \cdot h^* = 1152.000$, where $l^* = 4.000$, $w^* = 16.000$, $h^* = 18.000$ Running time is 4.93 sec.



Fig. 3. Solution of problem P1 in Example 5

Example 4 Clustering of objects A and B into a sphere S , we believe this optimal but not proved, problem **P2**, see Figure 4, $F(u^*) = r^* = 12.2274$, Running time is 2.351 sec.

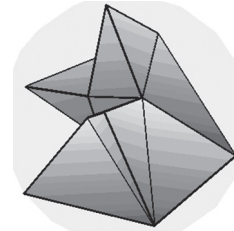


Fig. 4. Solution of problem P2 in Example 4

Example 5 Clustering of objects A and B into a sphere S , we believe this optimal but not proved, problem **P2**, see Figure 5, $F(u^*) = r^* = 11.2996$. Running time is 2.351 sec.

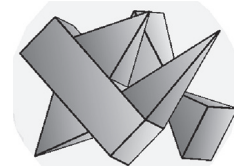


Fig. 5. Solution of problem P1 in Example 5

Example 6 Clustering of objects A and B into a cylinder C , problem **P3**, see Figure 6, $F(u^*) = \lambda^* = 0.682$. provided that $r=20$, $h=40$. Running time is 2.65 sec.

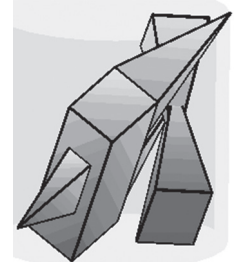


Fig. 6. Solution of problem P3 in Example 6

Example 3 and 5 are examples of global optimum proved by known global solutions.

7. Conclusions

In the paper a basic approach is presented to handle placement problems with irregular shapes (convex or non-convex polyhedra). We investigated the problem of enclosing two such objects by a cuboid, cylinder or sphere of minimal volume or homotetic coefficient by

means of phi-function technique. The solution methodology can be applied to a wide range of problems in cutting and packing. The extension of the approach to the case of more than two objects, the problem of filling holes of arbitrary shapes and other forms of objective functions is ongoing work for the near future publication.

References: 1. *Bennell, J., Scheithauer, G., Stoyan, Y., Romanova, T.*: Tools of mathematical modeling of arbitrary object packing problems. *Annals of OR*, 179:343-368 (2008) 2. *Chernov, N., Stoyan, Yu., Romanova, T.*: Mathematical model and efficient algorithms for object packing problem. *Comput. Geometry: Theory & Appl.* 43, 535-553 (2010) 3. *Stoyan, Y., Pankratov, A., Romanova, T.*: Quasi-phi-functions and optimal packing of ellipses. *J. of Glob. Optim.* (2015) DOI: 10.1007/s10898-015-0331-2 4. *Birgin, E.G., Martinez, J.M., Nishihara, F.H., Ronconi, D.P.*: Orthogonal packing of rectangular items within arbitrary convex regions by nonlinear optimization. *Comput. Oper. Res.* 33: 3535–3548 (2006). 5. *Birgin, E., Martinez, J., Ronconi, D.*: Optimizing the packing of cylinders into a rectangular containing region : A nonlinear approach. *Eur. J. of Oper. Res.* 160 (1), 19–33 (2005). 6. *Egeblad, J., Nielsen, B.K., Brazil, M.*: Translational packing of arbitrary polyhedra. *Comp. Geom.* 42(4), 269–288 (2009). 7. *Fasano, G. A.*: Global Optimization point of view for non-standard packing problems. *J. Glob. Optim.* 55(2), 279–299 (2013). 8. *Petrov, M.S., Gaidukov, V.V., Kadushnikov, R.M.*: Numerical method for modelling the microstructure of granular materials. *Powder Metall. and Metal Ceram.* 43 (7-8), 330–335, (2004). 9. *Torquato, S., Jiao, Y.*: Dense polyhedral packings: Platonic and Archimedean solids. *Phys. Rev.* 80, 041104, (2009). 10. *Y. Stoyan, N. Gil, G. Scheithauer, A. Pankratov, I. Magdalena*, Packing of convex polyhedra into a parallelepiped // Optimization. –2005. – Vol. 54, No. 2. – P. 215 – 235 11. *Xiao Liu, Jia-min Liu, An-xi Cao, Zhuang-le Yao*, 2015. HAPE3D – a new constructive algorithm for the 3D irregular packing problem. *Frontiers of Information Technology & Electronic Engineering.* 16(5), 380–390 12. *Pasha, A.*: Geometric bin packing algorithm for arbitrary shapes. Master thesis (2008) 13. *Vivek, A., Dobowsky, S.*: Application of a Model-free Algorithm for the Packing of Irregular Shaped Objects in Semiconductor Manufacture. *IEEE International Conference on Robotics and Automation.* 2: 1545-1550 · (2000) 14. *Vanek, J., Garcia Galicia, J. A., Benes, B., Mech, R., Carr, N., Stava, O., Miller, G. S.*: PackMerger: A 3D Print Volume Optimizer. *Computer graphics forum.* 00: 1–11 (2014) 15. *Kreher D. L., Stinson D. R.*: *Combinatorial Algorithms: Generation, Enumeration, and Search.* CRC Press, Florida, 1998 16. *Adamowicz, M., Albano, A.*: Nesting two-dimensional shapes in rectangular modules. *Computer Aided Design.* 8, 1, 27-33 (1976) 17. *Belov, Gleb*, 2002. A Modified Algorithm for Convex Decomposition of

3D Polyhedra,” Technical report MATH-NM-03-2002, Institut für Numerische Mathematik, Technische Universität, Dresden, <http://www.math.tu-dresden.de/~belov/cd3/cd3.ps> 18. *Stoyan, Y.G., Gil, N.I., Pankratov, A., et al.*, 2004. Packing Non-convex Polyhedra into a Parallelepiped. Technische Universität Dresden <http://www.math.tu-dresden.de/~scheith/ABSTRACTS/PREPRINTS/04-non-conv.pdf> 19. *Wachter, A., Biegler, L.T.*: On the implementation of an interior-point filter line-search algorithm for large-scale non-linear programming. *Math. Program.* 106 (1), 25–57, (2006).

Resume

Y. Stoyan, A. Pankratov, T. Romanova OPTIMAL CLUSTERING OF POLYHEDRA

Background: Packing problems, also called placement or allocation problems, are interesting theoretically and have many important applications. Applications in industry include such problems as autonomously packing the hazardous waste into drums, which should then be melted in a plasma arc furnace, determining the placement of polycrystalline silicon nuggets during crucible packing as a key component of a robotic system to automated crucible packing process in semiconductor wafer production, creating the optimization frameworks for powder and FDM-based 3D printing that seeks to save printing time and the support material required to print 3D shapes, e.g., in space engineering, automobile production, shipbuilding. It is well known that even the one-dimensional version of the problem of finding the optimal usage of a given resource, the classical knapsack problem, belongs to the class of NP-hard optimisation problems. For this reason, most of the work related to cutting and packing problems employ heuristic approaches. Nevertheless, the development of exact solution methods is an important task to broaden the range of optimal solvable cases.

Materials and methods: One of the successful concepts in the case of irregular objects, which lends itself to exact approaches, is the phi-function technique. Using this approach leads, in general, to multi-extremal non-linear optimisation problems. Our tools permit the modelling of continuous object rotations, non-overlapping, containment and distance constraints. The concept allows the computation of high quality local optima, and in some cases, the global optimum. In this paper, we address the problem of determining the minimum size containing region to house two polyhedra.

Results: In the paper a basic approach is presented to handle placement problems with irregular shapes. We investigated the problem of enclosing two such objects by a cuboid, cylinder or sphere of minimal volume or homotetic coefficient by means of the phi-function technique.

Conclusion: The solution methodology can be applied to a wide range of problems in cutting and packing. The extension of the approach to the case of more than two objects, the problem of filling holes of arbitrary shapes and other forms of objective functions is ongoing work for the near future publication.

Поступила в редколлегию 25.08.2017.

УДК 519.85



И.В. Гребенник, А.С. Литвиненко

ХНУРЭ, г. Харьков, Украина, igor.grebennik@nure.ua;
 ХНУРЭ, г. Харьков, Украина, litvinenko1706@gmail.com

ГЕНЕРАЦИЯ ПЕРЕСТАНОВОК С ЧАСТИЧНО ОПРЕДЕЛЕННЫМ ПОРЯДКОМ СЛЕДОВАНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ

В статье рассматривается задача генерации перестановок, для которых порядок следования (отношения «больше» или «меньше») порождающих элементов в каждой перестановке задан частично, то есть только для некоторых из них. Описан алгоритм, позволяющий сгенерировать все перестановки, удовлетворяющие частично заданному порядку следования. Описанный алгоритм является универсальным и может быть использован для генерации других комбинаторных конфигураций.

КОМБИНАТОРИКА, ПЕРЕСТАНОВКА, ГЕНЕРАЦИЯ, ПОРЯДОК СЛЕДОВАНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ, МНОЖЕСТВО СПУСКА

Гребенник І.В., Литвиненко О.С. Генерація перестановок з частково заданим порядком слідування елементів. В статті розглядається задача генерації перестановок, для яких порядок слідування (відношення «більше» або «менше») утворюючих елементів у кожній перестановці задано частково, тобто тільки для деяких з них. Запропоновано алгоритм, що дозволяє згенерувати всі перестановки, що задовольняють частково заданому порядку слідування. Описаний алгоритм є універсальним і може бути застосований для генерації інших комбінаторних конфігурацій.

КОМБИНАТОРИКА, ПЕРЕСТАНОВКА, ГЕНЕРАЦИЯ, ПОРЯДОК СЛІДУВАННЯ ЕЛЕМЕНТІВ, МНОЖИНА СПУСКУ

Grebennik I.V., Lytvynenko O.S. Generating permutations with partially defined order of elements. Enumeration and generation of permutations where order of elements is defined partially is considered. Algorithm for generating all such permutations is introduced. Described algorithm is quite universal and can be used for generating other combinatorial sets.

COMBINATORICS, PERMUTATION, GENERATION, ORDER OF ELEMENTS, SET OF DESCENT

Введение

Генерация комбинаторных множеств является направлением многих научных и прикладных исследований, например [1-3]. При этом основное внимание уделяется генерации классических комбинаторных множеств: перестановок, сочетаний, размещений и т.д. Однако, для решения некоторых научных и прикладных задач требуется решить задачу генерации неклассических комбинаторных множеств либо новых с точки зрения их комбинаторной структуры, либо обладающих дополнительными свойствами по сравнению с классическими (например, [4-5]).

Одним из таких неклассических комбинаторных множеств являются перестановки с заданными спусками и подъемами, или заданным порядком следования элементов [6-7], частным случаем которых являются альтернативные перестановки [8-9].

Целью работы является решение задач перечисления и генерации обобщенного случая перестановок с заданными спусками и подъемами: перестановок, где порядок следования элементов определен частично.

1. Перестановки с частично определенным порядком следования элементов

Пусть задано множество порождающих элементов $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$, $a_1 < a_2 < \dots < a_n$, $a_i \in R^1$, $i \in J_n$,

$J_n = \{1, 2, \dots, n\}$. Множество всевозможных перестановок из элементов a_1, a_2, \dots, a_n обозначим P_n . Для любой перестановки $\pi = (\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_n) \in P_n$ справедливы соотношения:

$$\pi_1 \rho_1 \pi_2 \rho_2 \dots \rho_{n-1} \pi_n, \rho_i \in \{<, >\}, i \in J_{n-1}. \quad (1)$$

Иначе говоря,

$$\pi_i < \pi_{i+1} \quad (2)$$

или

$$\pi_i > \pi_{i+1}. \quad (3)$$

Здесь $i \in J_{n-1}$.

Последовательность $\rho(\pi) = (\rho_1, \rho_2, \dots, \rho_{n-1})$ назовем порядком следования элементов перестановки $\pi \in P_n$.

Лемма 1. Во множестве P_n всевозможных перестановок из n элементов существует 2^{n-1} различных порядков следования элементов $\rho(\pi)$.

Доказательство леммы следует из существования взаимно однозначного соответствия между множеством всех последовательностей $\rho_1, \rho_2, \dots, \rho_{n-1}$ и множеством всех двоичных последовательностей из $n-1$ элемента.

Порядок следования элементов $\rho(\pi)$ перестановки $\pi \in P_n$ можно представить с помощью диаграммы, состоящей из $n-1$ сегмента. Выполнению неравенства (2) соответствует участок возрастания, а выполнению неравенства (3) – участок убывания.

Пример 1. Множество перестановок P_4 порождено элементами $\{1, 2, 3, 4\}$. Согласно

лемме 1, существует всего 8 различных порядков следования элементов перестановок множества P_4 . Диаграммы, представляющие порядки следования, и соответствующие им перестановки приведены в таблице 1.

Таблица 1

Диаграммы и перестановки множества P_4

Диаграмма	Перестановки	Диаграмма	Перестановки
	(1,2,3,4)		(4,3,2,1)
	(1,2,4,3) (1,3,4,2) (2,3,4,1)		(3,4,2,1) (2,4,3,1) (1,4,3,2)
	(3,2,1,4) (4,3,1,2) (4,2,1,3)		(4,1,2,3) (2,1,3,4) (3,1,2,4)
	(1,3,2,4) (1,4,2,3) (2,4,1,3) (2,3,1,4) (3,4,1,2)		(4,2,3,1) (3,2,4,1) (3,1,4,2) (4,1,3,2) (2,1,4,3)

Произвольную подпоследовательность π^i , то есть последовательность $r(\pi) = (\rho_{i_1}, \rho_{i_2}, \dots, \rho_{i_k})$, $i_1 < i_2 < \dots < i_k$, $k \in J_{n-1}$, назовем частично определенным порядком следования элементов (либо частично определенным порядком следования) перестановки $\pi \in P_n$. «Полный» порядок следования π^i определяет отношение элементов π_i и π_{i+1} для всех позиций $i \in J_{n-1}$, частично заданный порядок $r(\pi)$ — лишь для некоторых $i \in \{i_1, i_2, \dots, i_k\} \subseteq J_{n-1}$.

Зафиксируем выбранный частично заданный порядок следования элементов $r(\pi)$ перестановки $\pi \in P_n$. Ему можно поставить в соответствие часть множества спуска перестановки. Множество $D(\pi)$ спуска перестановки π определяется как [7]:

$$D(\pi) = \{i \mid \pi_i > \pi_{i+1}\}, i \in J_{n-1}.$$

Определим множество $\bar{D}(\pi) = J_{n-1} \setminus D(\pi)$ как:

$$\bar{D}(\pi) = \{i \mid \pi_i < \pi_{i+1}\}, i \in J_{n-1}.$$

Нас интересует часть $D(\pi)$, касающаяся позиций $i \in \{i_1, i_2, \dots, i_k\}$. Обозначим её через $D'(\pi)$:

$$D'(\pi) = \{i \mid \pi_i > \pi_{i+1}\} \subseteq D(\pi), i \in \{i_1, i_2, \dots, i_k\}.$$

Тогда множество $\bar{D}'(\pi) = \{i_1, i_2, \dots, i_k\} \setminus D'(\pi)$ можно определить в виде

$$\bar{D}'(\pi) = \{i \mid \pi_i < \pi_{i+1}\} \subseteq \bar{D}(\pi), i \in \{i_1, i_2, \dots, i_k\}.$$

Множества $D'(\pi)$ и $\bar{D}'(\pi)$ определяют частично заданный порядок следования $r(\pi)$ элементов перестановки $\pi \in P_n$. Частично заданный порядок следования $r(\pi)$ и множества $D'(\pi)$ и $\bar{D}'(\pi)$ однозначно определяют друг друга. Например, если $r(\pi) = (\rho_2, \rho_4, \rho_5) = (>, <, >)$, то $D'(\pi) = \{2, 5\}$ и $\bar{D}'(\pi) = \{4\}$. Это же утверждение справедливо для «полного» порядка следования $\rho(\pi)$ как частного случая $r(\pi)$. Например, в последней строке

таблицы 1 множество спуска перестановок, соответствующее диаграмме слева, содержит один элемент: $D(\pi) = \{2\}$, а $\bar{D}(\pi) = \{1, 3\}$. Для перестановок, соответствующих диаграмме справа, $D(\pi) = \{1, 3\}$, $\bar{D}(\pi) = \{2\}$.

Перестановка удовлетворяет частично заданному порядку $r(\pi)$ тогда, когда для всех $i \in \{i_1, i_2, \dots, i_k\}$ отношение π_i и π_{i+1} соответствует заданному в $r(\pi)$. Отношение π_i и π_{i+1} для $i \notin \{i_1, i_2, \dots, i_k\}$ при этом может быть любым:

$$\rho_i \in \{<, >\}, i \notin \{i_1, i_2, \dots, i_k\}.$$

Лемма 2. Чтобы перестановка $\pi \in P_n$ удовлетворяла частично заданному порядку следования $r(\pi)$, заданному для k позиций $i \in \{i_1, i_2, \dots, i_k\}$, необходимо и достаточно, чтобы она удовлетворяла одному из 2^{n-k-1} «полных» порядков следования $\rho(\pi)$, совпадающих с $r(\pi)$ для $i \in \{i_1, i_2, \dots, i_k\}$.

Доказательство. Так как отношение элементов π_i и π_{i+1} при $i \notin \{i_1, i_2, \dots, i_k\}$ может быть любым, то в перестановках, удовлетворяющих частично заданному порядку $r(\pi)$, на позициях $i \notin \{i_1, i_2, \dots, i_k\}$ может иметь место как неравенство $\pi_i < \pi_{i+1}$, так и $\pi_i > \pi_{i+1}$. Это означает, что если частично заданный порядок $r(\pi)$ задан для k позиций из $n-1$ возможных, то для остальных $n-1-k$ позиций $i \notin \{i_1, i_2, \dots, i_k\}$ отношение соседних элементов может быть любым из 2 возможных ($\rho_i \in \{<, >\}$). Следовательно, для каждой из остальных $n-1-k$ позиций $i \notin \{i_1, i_2, \dots, i_k\}$ можно зафиксировать любое отношение $\rho_i \in \{<, >\}$, получив тем самым 2^{n-k-1} «полных» порядков следования $\rho(\pi)$. В перестановках, удовлетворяющих каждому такому порядку следования $\rho(\pi)$, отношение π_i и π_{i+1} при $i \in \{i_1, i_2, \dots, i_k\}$ будет соответствовать порядку, заданному в $r(\pi)$.

Если в частично заданном порядке следования $r(\pi)$ заданы все позиции $i \in \{1, 2, \dots, n-1\}$, перестановки с частично определенным порядком следования превращаются в перестановки с полностью заданным порядком следования $\rho(\pi)$. Частными случаями таких перестановок являются унимодальные перестановки [10] при $\rho(\pi) = (>, >, \dots, >, <, \dots, <)$ либо $\rho(\pi) = (<, <, \dots, <, >, \dots, >)$ (т.е. когда сначала идут только спуски, а потом — только подъёмы и наоборот), а также альтернативные перестановки [9] при $\rho(\pi) = (>, <, >, <, \dots)$ либо $\rho(\pi) = (<, >, <, >, \dots)$ (т.е. когда спуски и подъёмы чередуются).

2. Перечисление перестановок с частично определенным порядком следования элементов

Рассмотрим задачу перечисления перестановок $\pi \in P_n$ с частично определенным порядком следования элементов $r(\pi)$.

Из леммы 2 следует, что количество перестановок, удовлетворяющих частично заданному порядку $r(\pi)$, равно сумме количества перестановок, удовлетворяющих каждому из 2^{n-k-1} «полных» порядков следования $\rho^j(\pi)$, $j = 1, 2, \dots, 2^{n-k-1}$.

Тогда необходимо для частично заданного порядка следования $r(\pi)$ найти все возможные соответствующие ему «полные» порядки следования $\rho^1(\pi), \rho^2(\pi), \dots, \rho^{2^{n-k-1}}(\pi)$, затем определить количество перестановок, соответствующих каждому из них, и сложить.

Формулы, полученные в [7], позволяют с помощью принципа включений-исключений определить количество перестановок, удовлетворяющих заданному множеству спуска, т.е. перестановок с заданным «полным» порядком следования.

Рассмотрим задачу перечисления перестановок $\pi \in P_n$ с порядком следования элементов $\rho(\pi)$. Это условие эквивалентно тому, что множеством спуска каждой из перечисляемых перестановок является множество $S \subseteq J_{n-1}$. Другими словами, для перечисления перестановок $\pi \in P_n$ с порядком следования элементов $\rho(\pi)$ необходимо подсчитать число $N(\rho(\pi))$ всех перестановок $\pi \in P_n$, таких, что $D(\pi) = S$.

Следуя [7], для $S = \{s_1, s_2, \dots, s_k\} \subseteq J_{n-1}$ обозначим через $\beta_n(S)$ количество перестановок $\pi \in P_n$, для которых S является множеством спуска.

В [7] получена следующая формула для вычисления $\beta_n(S)$:

$$\beta_n(S) = \sum_{1 \leq i_1 < i_2 < \dots < i_k \leq n} (-1)^{k-j} \binom{n}{s_{i_1}, s_{i_2} - s_{i_1}, \dots, n - s_{i_k}}, \quad (4)$$

где

$$\binom{n}{n_1, n_2, \dots, n_k} = \frac{n!}{n_1! \cdot n_2! \cdot \dots \cdot n_k!}.$$

Приведенные рассуждения делают справедливой следующую лемму:

Лемма 3. Пусть $\rho(\pi^0)$ – порядок следования элементов перестановки $\pi^0 \in P_n$, причем $D(\pi^0) = S = \{s_1, s_2, \dots, s_k\} \subseteq J_{n-1}$. Количество $N(\rho(\pi^0))$ всех перестановок $\pi \in P_n$, имеющих порядок следования элементов $\rho(\pi) = \rho(\pi^0)$, равно $\beta_n(S)$, т.е. $N(\rho(\pi^0)) = \beta_n(S)$, и определяется по формуле (4).

Доказательство. Определим бинарное отношение R во множестве P_n следующим образом. Два элемента $\pi^1, \pi^2 \in P_n$ находятся в отношении R , если они имеют один и тот же порядок следования элементов: $\rho(\pi^1) = \rho(\pi^2)$. Для отношения R нетрудно проверить справедливость свойств рефлексивности, симметричности и транзитивности, что позволяет сделать вывод о том, что R является отношением эквивалентности во множестве P_n .

Тогда все элементы $\pi \in P_n$, имеющие один и тот же порядок следования элементов, образуют класс эквивалентности $[\pi]$ по отношению R . Множество всех классов эквивалентности составляет фактор-множество $\Pi = P_n / R$ множества P_n по отношению R .

Пусть $\Lambda: P_n \rightarrow \Pi$ – фактор-отображение на множестве P_n . Рассмотрим задачу реализации фактор-отображения Λ в явном виде. Решение этой задачи сводится к генерации всех перестановок $\pi \in P_n$

с порядком следования элементов $\rho(\pi) = \rho(\pi^0)$ для любой перестановки $\pi^0 \in P_n$.

Сложив количество перестановок, имеющих порядок следования $\rho^1(\pi), \rho^2(\pi), \dots, \rho^{2^{n-k-1}}(\pi)$, получим количество перестановок, удовлетворяющих заданному частично заданному порядку $r(\pi)$:

$$N(r(\pi)) = \sum_{j=1}^{2^{n-k-1}} N(\rho^j(\pi)) \quad (5)$$

Построим алгоритм генерации перестановок $\pi \in P_n$ с частично определенным порядком следования элементов $r(\pi)$.

3. Генерация перестановок с частично определенным порядком следования элементов

Пусть заданы множество порождающих элементов $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$, $a_1 < a_2 < \dots < a_n$ и частично заданный порядок следования элементов $r(\pi)$, определяющий множества $D'(\pi)$ и $\overline{D'(\pi)}$. Необходимо сгенерировать все перестановки $\pi \in P_n$, соответствующие $D'(\pi)$ и $\overline{D'(\pi)}$, в количестве $N(r(\pi))$, определяемом по формуле (5).

Обозначим через π^i частичную перестановку, состоящую из i элементов, $\pi^i = (\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_i)$, $\pi_i \in A$, $i \in J_n^0$, $J_n^0 = \{0, 1, 2, \dots, n\}$. При этом π^0 – пустая частичная перестановка, $\pi^n = \pi \in P_n$ – результат генерации. Опишем работу алгоритма генерации перестановок с заданным порядком следования элементов $r(\pi)$. Назовём его *PartOrderedPerm*.

В начале работы, на нулевом уровне, входом алгоритма *PartOrderedPerm* является пустая перестановка π^0 .

Алгоритм *PartOrderedPerm* работает рекурсивно, на каждом i -ом уровне рекурсии $i \in J_{n-1}^0$ добавляя в текущую частичную перестановку $\pi^i = (\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_i)$ длины i следующий элемент с номером $i+1$, тем самым получая на следующем уровне частичную перестановку $\pi^{i+1} = (\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_{i+1})$ длины $i+1$. На уровне n алгоритм выводит.

Элемент $\pi_{i+1} \in A$ должен удовлетворять определенным условиям. Обозначим через F^i множество всех порождающих элементов, удовлетворяющих этим условиям, на каждом уровне $i \in J_{n-1}^0$.

Также обозначим через m^i количество следующих подряд подъёмов либо спусков в частично заданном порядке следования, начиная со следующей позиции $i+1$. Посчитаем значения m^i на каждом уровне $i \in J_{n-2}^0$ с помощью алгоритма *Get_M*, приведенного на рис.1.

Полученное множество значений $\{m_0, m_1, \dots, m_{n-2}\}$ является входным параметром алгоритма *Get_F* для получения F^i , приведенного на рис.2.

Опишем теперь основной алгоритм *PartOrderedPerm*, генерирующий все перестановки с заданным порядком следования элементов. Этот алгоритм приведен на рисунке 3. Для генерации всех необходимых перестановок *PartOrderedPerm* вызывается с параметром $\pi^0 = ()$.

```
def Get_M(i, n, D'(π), D̄'(π))
for i in {0, 1, ..., n - 2}
    if {i+1} ⊆ D'(π)
        mi := max(t : i+t ∈ D'(π))
    else
        mi := max(t : i+t ∈ D̄'(π))
```

Рис. 1. Алгоритм Get_M

```
def Get_F(i, n, D'(π), D̄'(π), {a1, a2, ..., an}, {m0, m1, ..., mn-2}, πi);
Fi := ∅
if i = 0
    if 1 ∈ D'(π)
        return Fi := {am0+1, am0+2, ..., an}
    if 1 ∈ D̄'(π)
        return Fi := {a1, a2, ..., an-m0}
    if 1 ∈ D'(π), 1 ∈ D̄'(π)
        return Fi := {a1, a2, ..., an}
for (a ∈ A, a ≠ πji, j = 1, 2, ..., i)
    if (i ∈ D'(π) and a < πii) or (i ∈ D̄'(π) and a > πii) or i ∈ D'(π), i ∈ D̄'(π)
        condition2 := true else condition2 := false
    if i+1 ∈ D'(π)
        condition3 := ∃L = {al1, al2, ..., almi} ⊆ A : ∀ alj < πi+1, alj ≠ πk,
            ∀ j ∈ Jmii, ∀ k ∈ Ji
    if i+1 ∈ D̄'(π)
        condition3 := ∃L = {al1, al2, ..., almi} ⊆ A : ∀ alj > πi+1}, alj ≠ πk,
            ∀ j ∈ Jmii, ∀ k ∈ Ji
    if i+1 ∈ D'(π), i+1 ∈ D̄'(π)
        condition3 := true
    if (i = n-1) or (condition2 and condition3)
        Fi := Fi ∪ a
return Fi
```

Рис. 2. Алгоритм формирования множества

```
def PartOrderedPerm (i, n, D'(π), D̄'(π), {a1, a2, ..., an}, {m0, m1, ..., mn-2}, πi)
if i = n
    # we have got a full permutation, output it
    output πi
    exit
Fi := Get_F(i, n, D'(π), D̄'(π), {a1, a2, ..., an}, {m0, m1, ..., mn-2}, πi);
for fji in Fi
    PartOrderedPerm(i, n, D'(π), D̄'(π), {a1, a2, ..., an}, {m0, m1, ..., mn-2},
        πi+1 = (π1, π2, ..., πi, fji))
```

Рис. 3. Основной алгоритм PartOrderedPerm

Пример 2. На рис. 4 представлен пример генерации перестановок из элементов $A = \{1, 2, 3, 4, 5\}$ при заданных множествах $D'(\pi) = \{1\}, \bar{D}'(\pi) = \{3, 4\}$ (позиция $i = 2$ не задана). Лемма 2 в данном случае звучит так: чтобы перестановка $\pi \in P_n$ удовлетворяла частично заданному порядку следования $r(\pi)$, заданному для $k = 3$ позиций $i \in \{1, 3, 4\}$, необходимо и достаточно, чтобы она удовлетворяла одному из 2 «полных» порядков следования $\rho(\pi)$, совпадающих с $r(\pi)$ для $i \in \{1, 3, 4\}$. Такие «полные» порядки следования должны иметь спуск на позиции 1 и подъём на позициях 3, 4 и соответствуют диаграммам

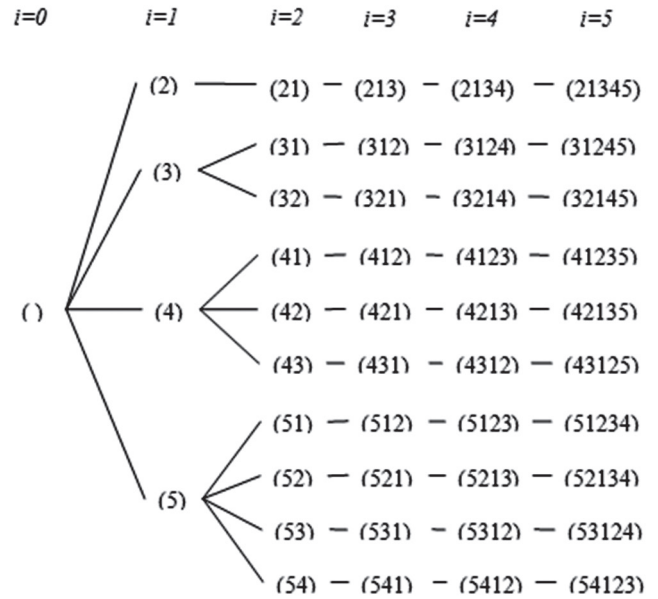


Рис. 4. Рекурсивное дерево работы алгоритма при генерации перестановок из элементов $\{1, 2, 3, 4, 5\}$ и множествах $D'(\pi) = \{1\}, \bar{D}'(\pi) = \{3, 4\}$

Применим алгоритм Get_M для подсчёта значений m^i . В результате получим $m^0 = 1$, m^1 не считается (позиция 2 не задана), $m^2 = 2$, $m^3 = 1$.

Приведём множества F^i на уровнях $i = 0, 1$. На уровне $i = 0$ имеем $\pi^0 = ()$, $1 \in D'(\pi)$ и $F^0 = \{a_{1+1}, \dots, a_5\} = \{2, 3, 4, 5\}$.

Так как множество F^0 содержит 4 элемента, алгоритм «разветвляется», имея на уровне $i = 1$ частичные перестановки $\pi^1 = (2), \pi^1 = (3), \pi^1 = (4), \pi^1 = (5)$.

Рассмотрим пример формирования множества F^1 для частичной перестановки $\pi^1 = (3)$. Порождающими элементами, которые удовлетворяют вышеописанным условиям и могут быть на месте π_2 , являются элементы $\{1, 2\}$. На этом же уровне для перестановки $\pi^1 = (4)$ множество $F^1 = \{1, 2, 3\}$.

Так как для $\pi^1 = (1)$ множество F^1 содержит 2 элемента, то снова происходит разветвление рекурсивного дерева. На уровнях $i = 2, 3, 4$ множества F^2, F^3 и F^4 содержат по одному элементу, поэтому разветвлений нет. На уровне $i = 5$ длина перестановки равна 5, алгоритм выводит $\pi = \pi^5$ на экран.

Посчитав количество необходимых перестановок по формуле (5), получим в результате 10, что совпадает с количеством перестановок, полученных в результате работы алгоритма.

Выводы

В работе описан специальный вид перестановок — перестановки с частично определенным порядком следования. Оценено количество таких перестановок, предложен алгоритм для их генерации. Отметим, что описанный алгоритм PartOrderedPerm является универсальным и может

быть использован для генерации других комбинаторных множеств. Для этого достаточно задать правила формирования множества для конкретного комбинаторного множества. Частными случаями описанного класса перестановок являются унимодальные и альтернативные перестановки.

Список литературы: 1. *Ruskey F.* Combinatorial generation [Text] / F. Ruskey. — Dept. of Computer Science Univ. of Victoria, Canada, 2003.— 289 p. 2. *Kreher D.* Combinatorial Algorithms: Generation Enumeration and Search [Text] / D. Kreher, D. Stinson. — CRC Press, 1999. — 329 p. 3. *Knuth D.* The Art of Computer Programming [Text] / D. Knuth. — Volume 4, Fascicle 2: Generating All Tuples and Permutations. — Addison-Wesley, 2005. 4. *Гребенник, И.В.* Описание и генерация перестановок, содержащих циклы [Текст] / И.В. Гребенник // Кибернетика и системный анализ. — 2010. — № 6. — С. 97-105. 5. *Poneti M.* Generating restricted classes of involutions, Bell and Stirling permutations [Text] / M. Poneti, V. Vajnovszki. — European Journal of Combinatorics.—2010. — №31. — pp. 553–564. 6. *van Baronaigien R.* Generating permutations with given ups and downs [Text] / R. van Baronaigien, F. Ruskey // Discrete Applied Mathematics. — № 36(1), 1992. — pp. 57–65. 7. *Stanley R.* Enumerative combinatorics [Text] / R.P. Stanley. — Wadsworth, Inc. California. — vol. 1 — 1986. 8. *Stanley R. P.* A survey of alternating permutations // Contemp. Math. — 2010. — Т. 531. — С. 165-196. 9. *Bauslaugh B., Ruskey F.* Generating alternating permutations lexicographically // BIT Numerical Mathematics. — 1990. — Т. 30. — № 1. — С. 17-26. 10. *Bergeron F., Labelle G., Leroux P.* Combinatorial species and tree-like structures. — Cambridge University Press, 1998. — Т. 67. 11. *Гребенник И. В., Lytvynenko O. S.* Generating combinatorial sets with given properties // Cybernetics and Systems Analysis. — 2012. — С. 1-9.

Resume

I.V. Grebennik, O.S. Lytvynenko Generating permutations with partially defined order of elements

Special class of permutations is considered— permutations with partially defined order of elements. Such class of permutations is a generalization of permutations with given ups and downs. A formula for enumeration of such permutations as well and generation algorithm is given. Described algorithm can be used for generation of other combinatorial sets.

Background. It is sometimes insufficient to use classical combinatorial sets (arrangements, permutations, combinations) for constructing mathematical models of some combinatorial optimization problems. In such cases, non-classical combinatorial sets are used, and one of such sets are permutations with given ups and downs or permutations with defined order of elements. However, a problem of enumerating and generating permutations, where order or elements is defined partially, has not solved yet.

Materials and methods. The inclusion-exclusion principle was applied for enumerating permutations with partially defined order of elements. For generating all permutations with partially defined order of elements, recursive backtracking algorithm was used.

Results. Mathematical description for permutations with partially defined order of elements was given. A formula for enumerating all such permutations was constructed. Also article describes recursive backtracking algorithm for generating all permutations with partially defined order of elements.

Conclusion. Described algorithm for generating permutations with partially defined order of elements is quite universal and can be used for generating other classes of combinatorial sets.

Поступила в редколлегию 4.09.2017.

УДК 519.8



С.В. Яковлев, А.В. Карташов, К.П. Коробчинский

Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского
 «Харьковский авиационный институт», Харьков, Украина, svsyak7@gmail.com;
 Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского
 «Харьковский авиационный институт», Харьков, Украина, AlexeyKartashov@gmail.com;
 Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского
 «Харьковский авиационный институт», Харьков, Украина, k.korobchinskiy@khai.edu

ОБ ОДНОМ КЛАССЕ ГЕНЕТИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ В ЗАДАЧАХ ОПТИМИЗАЦИИ НА КОМБИНАТОРНЫХ КОНФИГУРАЦИЯХ

В статье введено понятие евклидовой комбинаторной конфигурации как отображения абстрактного множества в арифметическое евклидовое пространство. Сформулирована задача оптимизации на множестве евклидовых комбинаторных конфигураций. Рассмотрены особенности применения генетических алгоритмов для решения указанного класса задач. Описаны принципы формирования начальной популяции, механизмы отбора, выбор операторов кроссовера и мутации. Подход иллюстрируется на задаче комбинаторной оптимизации на множестве перестановок. Приведены примеры построения различных операторов кроссовера для евклидовых конфигураций перестановок.

КОМБИНАТОРНАЯ КОНФИГУРАЦИЯ, ОПТИМИЗАЦИЯ, ГЕНЕТИЧЕСКИЙ АЛГОРИТМ, КРОССОВЕР, МУТАЦИЯ, ПЕРЕСТАНОВКА

С.В. Яковлев, О.В. Карташов, К.П. Коробчинський. Про один клас генетичних алгоритмів в задачах оптимізації на комбінаторних конфігураціях. У статті введено поняття евклідової комбінаторної конфігурації як відображення абстрактної множини в арифметичний евклідовий простір. Сформульовано задачу оптимізації на множині евклідових комбінаторних конфігурацій. Розглянуто особливості застосування генетичних алгоритмів для розв'язання зазначеного класу задач. Описано принципи формування початкової популяції, механізму відбору, вибір операторів кроссовера і мутації. Підхід ілюструється на задачах комбінаторної оптимізації на множині перестановок. Наведені приклади побудови різних операторів кроссовера для евклідових конфігурацій перестановок.

КОМБИНАТОРНА КОНФИГУРАЦІЯ, ОПТИМІЗАЦІЯ, ГЕНЕТИЧНИЙ АЛГОРИТМ, КРОССОВЕР, МУТАЦІЯ, ПЕРЕСТАНОВКА

S.V. Yakovlev, A.V. Kartashov, K.P. Korobchinsky. On the class of genetic algorithms in optimization problems on combinatorial configurations. The concept of the Euclidean combinatorial configuration as the mapping of an abstract set into an arithmetic Euclidean space is introduced. The problem of optimization on the set of Euclidean combinatorial configurations is formulated. The peculiarities of the application of genetic algorithms for solving this class of problems are considered. Principles of formation of the initial population, selection mechanisms, choice of crossover operators and mutation are described. The proposed approach is illustrated on the problem of combinatorial optimization on the set of permutations. Examples of the construction of various crossover operators for Euclidean permutation configurations are given.

COMBINATORIAL CONFIGURATION, OPTIMIZATION, GENETIC ALGORITHM, CROSSOVER, MUTATION, PERMUNATION

Введение

Задачи комбинаторной оптимизации относятся к классу NP -трудных, что обуславливает исследование эффективных приближенных методов для их решения [1-4]. Разработка теории и методов вычислительного интеллекта применительно к задачам комбинаторной оптимизации вызывают постоянный интерес ученых [4-9]. Особое значение при этом имеют так называемые эволюционные методы, к которым относится класс генетических алгоритмов. Современные публикации в этом направлении [4, 10-14] доказывают эффективность применения эволюционных алгоритмов при решении задач комбинаторной оптимизации.

При разработке методов комбинаторной оптимизации важное место занимают исследования, связанные с формализацией понятий

комбинаторного множества и комбинаторного объекта, а также со свойствами функций, заданных на этих множествах. При этом одним из фундаментальных является понятие комбинаторной конфигурации. В зависимости от классов множеств комбинаторных конфигураций возникают различные оптимизационные задачи, методы решения которых существенно определяются свойствами конфигураций. В статье описан класс так называемых евклидовых комбинаторных конфигураций, на основе свойств которых предложены новые подходы к реализации генетических алгоритмов решения оптимизационных задач.

1. Евклидовые комбинаторные конфигурации

Под конфигурацией будем понимать отображение ψ некоторого исходного множества U

элементов произвольной природы в абстрактное множество V определенной структуры при выполнении заданного набора ограничений Ω , т.е.

$$\psi: U \rightarrow V \quad (1)$$

В случае конечных множеств U и V конфигурация (1) называется комбинаторной. Начало фундаментальным исследованиям комбинаторных конфигураций было положено К. Бержем [15].

Представим комбинаторную конфигурацию кортежем

$$\langle \psi, U, V, \Omega \rangle \quad (2)$$

где $U = \{u_1, \dots, u_n\}$ – исходное множество, $V = \{v_1, \dots, v_k\}$ – результирующее множество, ψ – отображение вида (1), Ω – заданная система ограничений на вид отображения ψ .

Таким образом, комбинаторная конфигурация (2) осуществляет выделение некоторого конечно-го подмножества множества V и упорядочение его элементов. В результате комбинаторная конфигурация π представляет собой упорядоченную последовательность элементов из V , т.е.

$$\pi = \begin{pmatrix} u_1 & \dots & u_n \\ v_{j_1} & \dots & v_{j_n} \end{pmatrix} = \{v_{j_1}, v_{j_2}, \dots, v_{j_n}\}$$

Исследованию комбинаторных конфигураций посвящены, в частности, работы [15-18]. Дальнейшее развитие понятия комбинаторной конфигурации получило путем ослабления условий на конечность V [19, 20]. Допускается, что результирующее множество V может быть счетным, и комбинаторная конфигурация в этом случае называется комбинаторным объектом. В работах [19, 20] определены комбинаторные объекты k -го порядка, что существенно расширяется круг практических задач, которые могут быть формализованы с использованием понятия комбинаторного объекта.

В работе [21] рассмотрен класс комбинаторных конфигураций, в которых элементами результирующего множества V являются числовые вектора. Выделение такого класса обосновывается широким кругом реальных задач, в которых элементы исходного множества U характеризуются определенным набором числовых параметров (например, физических и метрических характеристик). В первую очередь, речь идет о задачах размещения геометрических объектов, имеющих ярко выраженную комбинаторную структуру [22, 23].

Пусть B – множество векторов пространства R^m одинаковой размерности, т.е.

$$b_l = (b_{l1}, \dots, b_{lm})^T \in R^m, l \in J_k \quad (3)$$

Отождествим множество B с результирующим множеством V . Тогда в соответствии с (2) конфигурация π будет представлять собой упорядоченную последовательность векторов $b_{j_1}, b_{j_2}, \dots, b_{j_n}$, где $b_l = (b_{l1}, \dots, b_{lm})^T \in R^m, l \in J_k$. Каждой конфигурации $\pi = \{b_{j_1}, b_{j_2}, \dots, b_{j_n}\}$ поставим

во взаимно-однозначное соответствие вектор $x = (x_1, \dots, x_N) \in R^N, N = nm$, т.е. зададим биективное отображение ϕ , такое что:

$$x = \phi(\pi), \pi = \phi^{-1}(x) \quad (4)$$

Например, такое соответствие можно задать следующим образом:

$$x = (x_1, \dots, x_N) = (b_{1j_1}, \dots, b_{1j_n}, b_{2j_1}, \dots, b_{2j_n}, \dots, b_{mj_1}, \dots, b_{mj_n})$$

Определение. Евклидовой комбинаторной конфигурацией назовем отображение

$$\phi: \langle \chi, U, B, \Lambda \rangle \rightarrow R^N, \quad (5)$$

где B – результирующее множество, χ – отображение вида $\chi: U \rightarrow B$, Λ – система ограничений на вид отображения χ .

Будем представлять евклидовую конфигурацию кортежем $\langle \chi, U, B, \Lambda \rangle$.

Таким образом, евклидовая комбинаторная конфигурация представляет собой образ комбинаторной конфигурации $\langle \chi, U, B, \Lambda \rangle$ в арифметическом евклидовом пространстве R^N при заданном отображении ϕ .

Пусть Π – множество, элементами которого являются всевозможные комбинаторные конфигурации $\langle \chi, U, B, \Lambda \rangle$, удовлетворяющие системе ограничений Λ . Тогда образ $E_\phi = \phi(\Pi)$ комбинаторного множества Π в R^N будет представлять собой совокупность всех евклидовых комбинаторных конфигураций, удовлетворяющих (2).

Сделаем следующее замечание. Ю.Г. Стояном введено понятие евклидового комбинаторного множества [23], как множества упорядоченных элементов подмножеств конечного множества произвольной природы. Таким образом, если множество B конечно, то Π является евклидовым комбинаторным множеством. В общем случае, при заданном отображении ϕ вида (5) множество допустимых отображений $\chi: U \rightarrow B$ определяет соответствующий класс евклидовых комбинаторных конфигураций.

Выделение класса евклидовых комбинаторных множеств обосновывается рядом специфических свойств, которыми обладают указанные комбинаторные множества при их отображении в R^N .

2. Генетические алгоритмы оптимизации на евклидовых комбинаторных конфигурациях

Сформулируем задачу оптимизации функции $f(x)$, заданной на множестве E евклидовых комбинаторных конфигураций, в виде

$$f(x) \rightarrow \min, x \in E.$$

Рассмотрим особенности реализации генетических алгоритмов для задач оптимизации на евклидовых комбинаторных конфигурациях. Заметим, что генетические алгоритмы относятся к классу эволюционных алгоритмов поиска путем последовательного отбора, комбинирования и вариации параметров задачи с использованием механизмов,

которые лежат в основе биологической эволюции и используют термины, заимствованные из генетики. Генетические алгоритмы оперируют с множеством решений (популяций), сформированных конечным множеством особей. Особи, входящие в популяцию, задаются хромосомами с закодированными в них параметрами задачи. Хромосомы представляют собой упорядоченные последовательности генов. Ген (который также называется свойством, знаком ли детектором) — это атомарный элемент генотипа, в частности хромосома. Набор хромосом у каждой особи задает ее генотип (структуру). Таким образом, особями популяции могут быть генотипы или единичные хромосомы. Совокупность внешних и внутренних признаков, соответствующих данному генотипу, задают фенотип особи, т.е. декодированную структуру или множество параметров задачи.

Разработка генетических алгоритмов предполагает решение следующих задач:

- определение способов формирования начальной популяции;
- формирование механизмов отбора;
- задание оператора кроссовера (скрещивания);
- задание оператора мутации;
- выбор условия окончания поиска.

Для рассматриваемого класса задач положим, что генотип и фенотип особей популяции совпадают и в качестве хромосомы выступает допустимая евклидова комбинаторная конфигурация $x = (x_1, \dots, x_N)$, а генами являются значения ее компонент последовательности. Решения позиционируются в популяции в соответствии с их положением на поверхности исследуемой функции. При этом последовательно генерируются новые решения как различные комбинации частей имеющихся популяций.

Генерация начальной популяции, как правило, предполагает случайный выбор особей. Для рассматриваемого класса задач речь идет о случайном выборе допустимых евклидовых комбинаторных конфигураций $x = (x_1, \dots, x_N)$. Эта задача представляет самостоятельный интерес и решается в зависимости от рассматриваемого класса конфигураций.

На следующем этапе осуществляется выбор родительских пар. Как правило, при этом используется элитный отбор, т.е. выбирается k особей с лучшими значениями целевой функции $f(x)$ и составляются из них родительские пары. Если выбирать всевозможные сочетания родительских пар, то их общее число будет $k(k-1)/2$. Особенности рассматриваемого класса задач позволяют предложить следующий подход к выбору родительских пар. Вычисляя евклидовы расстояния между лучшими k особями, осуществим кластеризацию формируемого массива. Выберем $k_0 \leq k$ кластеров, в каждом из которых сгруппированы близлежащие особи. Будем выбирать родительские пары только из одного кластера. Естественно, в этом случае количество потомков будет меньше, чем при полном

переборе попарных сочетаний. Однако различные правила скрещивая, а также мутации позволяют получить необходимый объем потомства. В связи с этим опишем способы формирования оператора кроссовера (скрещивания), основанные на свойствах различных классов множеств евклидовых комбинаторных конфигураций.

Выберем для скрещивания две особи — евклидовые комбинаторные конфигурации $x = (x_1, \dots, x_N)$ и $y = (y_1, \dots, y_N)$. Одними из наиболее распространенных способов скрещивания является так называемые одноточечный и двуточечный кроссоверы.

При одноточечном кроссовере осуществляется случайный выбор места разделения последовательности координат на две части. Например, осуществив разделение по j -ой позиции, потомками особей

$$x = (x_1, \dots, x_j, x_{j+1}, \dots, x_N),$$

$$y = (y_1, \dots, y_j, y_{j+1}, \dots, y_N)$$

будем считать

$$\tilde{x} = (x_1, \dots, x_j, y_{j+1}, \dots, y_N),$$

$$\tilde{y} = (y_1, \dots, y_j, x_{j+1}, \dots, x_N).$$

При двуточечном кроссовере, исходные особи разбиваются на три части в точках j_1 и j_2 , $j_1 < j_2$. В результате потомки примут вид:

$$\tilde{x} = (x_1, \dots, x_{j_1}, y_{j_1+1}, \dots, y_{j_2}, x_{j_2+1}, \dots, x_N),$$

$$\tilde{y} = (y_1, \dots, y_{j_1}, x_{j_1+1}, \dots, x_{j_2}, y_{j_2+1}, \dots, y_N).$$

Обобщением двуточечного является k – точечный кроссовер, при котором родительские особи разбиваются в точках j_1, j_2, \dots, j_k , $j_1 < j_2 < \dots < j_k$, а их части чередуются у потомков.

Среди других рекомендуемых подходов к скрещиванию родительских особей укажем равномерный кроссовер, при котором значения компонент с вероятностью p берется от первого родителя, а с вероятностью $(1-p)$ — от второго. Известен также обобщенный кроссовер, в котором специальный битовый вектор-маска определяет, значения гена какого из родителей получит потомок.

Сложная комбинаторная структура множества E приводит к тому, что полученные потомки (евклидовые комбинаторные конфигурации) \tilde{x} и \tilde{y} , как правило, не удовлетворяют системе ограничений Λ . Поэтому операторы кроссовера, примеры которых приведены выше, назовем операторами *квазискрещивания*. Результат z квазискрещивания евклидовых комбинаторных конфигураций $x = (x_1, \dots, x_N)$ и $y = (y_1, \dots, y_N)$ представим в виде

$$z = W(x, y). \quad (6)$$

Для формирования допустимых евклидовых комбинаторных конфигураций на основе квазискрещивания родительских особей необходимо осуществить специальные преобразования.

В связи с этим предложим следующий подход. Будем выбирать евклидовую комбинаторную конфигурацию $\tilde{z} = (\tilde{z}_1, \dots, \tilde{z}_N)$, которая удовлетворяет системе ограничений Λ , и является ближайшей к особи $z = (z_1, \dots, z_N)$, полученной в результате квазискрещивания. Таким образом, имеем вспомогательную задачу проецирования некоторой точки z на множество допустимых евклидовых конфигураций E , т.е.

$$\tilde{z} = Pr_E z. \quad (7)$$

Следовательно, оператор кроссовера для евклидовых комбинаторных конфигураций $x = (x_1, \dots, x_N)$ и $y = (y_1, \dots, y_N)$ представим в виде суперпозиции операторов (10) и (11):

$$\tilde{z} = Pr_E H(x, y).$$

Нахождение точки \tilde{z} сводится к решению оптимизационной задачи

$$\|\tilde{z} - z\| \rightarrow \min, \quad z \in E. \quad (8)$$

Специфика различных множеств евклидовых комбинаторных конфигураций позволяет отнести их к классу хорошо описанных, т.е. множеств, на которых линейные задачи полиномиально разрешимы. В первую очередь речь идет о так называемых сферически расположенных множествах.

Множество $E \subset R^n$ назовем сферически расположенным, если существуют такое $\tau \in R^n$ и число $r > 0$, что для любых $z \in E$

$$\|z - \tau\|^2 = r^2. \quad (9)$$

Пусть E — сферически расположенное множество евклидовых комбинаторных конфигураций. Тогда для любых $z = (z_1, \dots, z_N) \in E$ и $z^0 = (z_1^0, \dots, z_N^0)$ имеем

$$\begin{aligned} \|z - z^0\|^2 &= \|z - \tau\|^2 + \|z^0 - \tau\|^2 - 2(z - \tau, z^0 - \tau) = \\ &= \sum_{i=1}^N c_i z_i + b, \end{aligned}$$

где

$$\begin{aligned} c_i &= -2(z_i^0 - \tau_i), \\ b &= r^2 + \sum_{i=1}^N (z_i^0 - \tau_i)^2 + 2 \sum_{i=1}^N \tau_i (z_i^0 - \tau_i). \end{aligned}$$

Таким образом, решение задачи (8) сводится к нахождению минимума линейной функции

$$f(z) = \sum_{i=1}^N c_i z_i$$

на множестве E , а следовательно, и многограннике $conv E$.

Развивая указанный подход, предложим следующие способы получения потомков для особей $x = (x_1, \dots, x_N)$ и $y = (y_1, \dots, y_N)$. Учитывая, что особи (евклидовые комбинаторные конфигурации) являются элементами арифметического евклидового пространства, воспользуемся свойством линейности этого пространства. Для поиска потомства будем выбирать линейные комбинации особей x и y .

Рассмотрим общий подход для формирования оператора кроссовера, учитывающего различные схемы построения линейных комбинаций x и y .

Простая линейная комбинация родительских пар:

$$\tilde{z} = Pr_E (x + y).$$

Взвешенная линейная комбинация родительских пар в соответствии со значениями функции $f(x)$ в этих точках:

$$\tilde{z} = Pr_E (xf(x) + yf(y)).$$

При этом в задаче максимизации большему значению функции соответствует больший коэффициент.

Рандомизированная взвешенная линейная комбинация:

$$\tilde{z} = Pr_E (pxf(x) + (1-p)yf(y)),$$

где p — равномерно распределенная на отрезке $[0, 1]$ случайная величина.

В общем случае логично предполагать, что потомство сохраняет гены не только своих родителей, а и других предков. Тогда оператор кроссовера при взвешенной линейной комбинации k особей примет вид

$$\tilde{z} = Pr_E \left(\sum_{i=1}^k x_i f(x_i) \right),$$

либо рандомизированной взвешенной линейной комбинации:

$$\tilde{z} = Pr_E \left(\sum_{i=1}^k p_i x_i f(x_i) \right),$$

где $\sum_{i=1}^k p_i = 1$.

3. Оператор кроссовера для евклидовых конфигураций перестановок

Рассмотрим приложение описанного подхода при решении задачи оптимизации на комбинаторном множестве перестановок. В этом случае евклидовая комбинаторная конфигурация $\langle \varphi, \chi, U, \mathbf{B}, \Lambda \rangle$ задается биективным отображением $\chi: U \rightarrow \mathbf{B}$, а множество ограничений $\Lambda = \emptyset$. Пусть множество \mathbf{B} таково, что $k=1, N=n$, т.е. $\mathbf{B} = (b_1, b_2, \dots, b_n)$ — множество n действительных чисел, которые упорядочим по неубыванию $b_1 \leq b_2 \leq \dots \leq b_n$. Тогда евклидовая комбинаторная конфигурация $z = (z_1, \dots, z_n) \in R^n$ представляет собой упорядоченный набор чисел из \mathbf{B} . В частности, можно положить $\mathbf{B} = \mathbf{J}_n$.

Множество всех евклидовых комбинаторных конфигураций, удовлетворяющих указанному выше свойству, называется евклидовым множеством перестановок [24, 25], которое обозначим $E(\mathbf{B})$. Известно, что множество $E(\mathbf{B})$ является полиэдрально сферическим и совпадает с множеством решений системы уравнений и неравенств

$$\sum_{i=1}^n z_i = \sum_{i=1}^n b_i, \quad \sum_{i \in W} z_i \geq \sum_{i=1}^{|W|} b_i, \quad \forall W \subset \mathbf{J}_n,$$

$$\sum_{i=1}^n (z_i - \tau)^2 = \sum_{i=1}^n (b_i - \tau)^2, \quad \tau = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n b_i, \quad |W| = \text{card } W.$$

Отметим тот факт, что линейная функция

$$f(z) = \sum_{i=1}^n c_i z_i$$

на множестве $E(B)$ достигает своего минимума в точке $\tilde{z} = (\tilde{z}_1, \dots, \tilde{z}_n)$, где $\tilde{z}_{\pi_i} = b_i$, $i \in J_n$, а последовательность $\{\pi_1, \dots, \pi_n\}$, $\pi_i \in J_n$, $\pi_i \neq \pi_j \forall i, j \in J_n, i \neq j$ такова, что $c_{\pi_1} \geq \dots \geq c_{\pi_n}$.

Поскольку множество $E(B)$ полиэдрально-сферическое, то для любой точки $z^0 = (z_1^0, \dots, z_n^0)$ можно указать ближайшую точку из $E(B)$, представимую в виде $\tilde{z} = (\tilde{z}_1, \dots, \tilde{z}_n)$, где $\tilde{z}_{\pi_i} = b_{n-i+1}$, $i \in J_n$, а последовательность $\{\pi_1, \dots, \pi_n\}$, $\pi_i \in J_n$, $\pi_i \neq \pi_j \forall i, j \in J_n, i \neq j$ такова, что $z_{\pi_1}^0 \geq \dots \geq z_{\pi_n}^0$.

Рассмотрим пример построения оператора кроссовера для задачи оптимизации функций, заданной на евклидовом множестве перестановок с учетом приведенных выше результатов.

Пусть $B = \{2, 5, 6, 9, 11, 12, 13, 18, 20, 21\}$, $n = 10$. Выберем две родительские особи — евклидовые комбинаторные конфигурации

$$x = \{21, 2, 5, 9, 20, 13, 6, 12, 18, 11\},$$

$$y = \{20, 5, 6, 12, 18, 9, 2, 11, 21, 13\},$$

Рассмотрим двухточечный кроссовер при $j_1 = 3, j_2 = 7$.

В результате псевдоскрещивания имеем пары x и y имеем

$$z_1 = \{21, 2, 5, 12, 18, 9, 2, 12, 18, 11\},$$

$$z_2 = \{20, 5, 6, 9, 20, 13, 6, 11, 21, 13\}.$$

Тогда

$$\tilde{z}_1 = Pr_{E(B)}(z_1) = \{21, 5, 6, 13, 20, 9, 2, 12, 18, 11\}$$

$$\tilde{z}_2 = Pr_{E(B)}(z_2) = \{18, 2, 6, 9, 20, 13, 5, 11, 21, 12\}$$

Будем скрещивать особи по правилу простой линейной комбинации родительских пар. В результате псевдоскрещивания имеем

$$z = \{41, 7, 11, 21, 38, 22, 8, 23, 39, 24\}.$$

Тогда

$$\tilde{z} = Pr_{E(B)}(x + y) = \{21, 2, 6, 9, 18, 11, 5, 12, 20, 13\}.$$

Нетрудно видеть, что полученный потомок «равноудален» от родительских особей.

Пусть дополнительно известно, что $f(x) = 20$, а $f(y) = 30$. Тогда псевдоскрещивание по правилу взвешенной линейной комбинации даст

$$z = \{102, 19, 28, 54, 94, 53, 18, 57, 99, 61\},$$

а с использованием оператора скрещивания (7) получим

$$z = \{21, 5, 6, 11, 18, 9, 2, 12, 20, 13\}.$$

Таким образом, потомок сохранил большее влияние генов родителя, которому соответствует большее значение функции.

Анализ приведенных выше примеров показывает, что использование предложенного в статье подхода к заданию оператора кроссовера для евклидовых комбинаторных конфигураций соответствует основным принципам, положенным в основу формирования новой популяции.

Выводы

В статье предложен новый подход к реализации генетических алгоритмов в задачах комбинаторной оптимизации. Введено понятие евклидовой комбинаторной конфигурации как отображения конечного абстрактного множества произвольной природы в арифметическое евклидовое пространство. В результате такого отображения задача комбинаторной оптимизации эквивалентно формулируется в терминах задач математического программирования, а независимыми переменными выступают евклидовые комбинаторные конфигурации так точки пространства R^N . Рассмотрены особенности реализации генетических алгоритмов для решения указанного класса задач: предложены способы формирования начальной популяции и механизмы отбора, формализован и обоснован выбор операторов кроссовера и мутации. В качестве примера рассмотрена задача оптимизации функции, заданной на множестве перестановок. Проиллюстрированы различные способы построения операторов кроссовера для евклидовых конфигураций перестановок.

Список литературы: 1. Korte B., Vygen J. Combinatorial Optimization: Theory and Algorithms. — Heidelberg; New York: Springer Berlin, 2002. — 660 pp. 2. Pardalos P., Du D.-Z., Graham R. L. Handbook of Combinatorial Optimization. — 2nd ed. — Heidelberg: Springer. — 2013, XXI. 3. Сергиенко И.В., Шило В.П. Задачи дискретной оптимизации: проблемы, методы решения, исследования. — К.: Наук. думка, 2003. — 261 с. 4. Гуляницький Л. Ф., Мулеца О. Ю. Прикладні методи комбінаторної оптимізації: навчальний посібник. — К: Видавничо-поліграфічний центр «Київський університет», 2016. — 142 с. 5. Субботін С.О., Олійник А.О., Олійник О.О. Неітеративні, еволюційні та мультиагентні методи синтезу нечіткологічних і нейромережних моделей: монографія. — Запоріжжя: ЗНТУ, 2009. 6. Neri F., Cotta C., Moscato P. Handbook of Memetic Algorithms — Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2012. 7. Karaboga D., Gorkemli B., Ozturk C., Karaboga N. A comprehensive survey: artificial bee colony (ABC) algorithm and applications — Artificial Intelligence Review. - 2014. - 42 (1). — P. 21-57. 8. Nikolic M., Teodorovic D. Empirical study of the bee colony optimization (BCO) algorithm - Expert Systems with Applications. - 2013. - 40(11). — P. 4609-4620. 9. Dorigo M., Blum C. Ant colony optimization theory: A survey — Theoretical Computer Science. — 2005. — 344. — P. 243-278. 10. Pinteа C.-M. Advances in Bio-inspired Computing for Combinatorial Optimization Problems - Heidelberg: Springer, 2014. 138 11. Zhang P. Combinatorial optimization problem solution based on improved genetic algorithm. AIP Conference Proceedings 1864, 020206 (2017) 12. Eremeev A.V. Optimal recombination in genetic algorithms for combinatorial optimiyation problems part II. Yugoslav Journal of Operations Research, [S.l.], v. 24, n. 1, oct. 2016. ISSN 2334-6043 13. Venkatesan D., Balachandar Kannan S. R.

A New Genetic Algorithm for Time Dependent Combinatorial Optimization Problem National Academy Science Letters, June 2016, Volume 39, Issue 3, pp 207–211. **14.** *Rajappa, Gautham P.*, Solving Combinatorial Optimization Problems Using Genetic Algorithms and Ant Colony Optimization”, PhD diss., University of Tennessee, 2012. **15.** *Berge C.* Principes de combinatoire. – Paris: Dunod, 1968. – 146 p. **16.** *Сачков В.Н.* Комбинаторные методы дискретной математики. – М.: Наука, 1975. – 319 с. **17.** *Стоян Ю.Г., Гребенник И.В.* Описание классов комбинаторных конфигураций на основе отображений // Доклады НАН Украины. – 2008. – №10. – С. 28 – 31. **18.** *Донець Г.П., Колечкіна Л.М.* Екстремальні задачі на комбінаторних конфігураціях. – Полтава: ПУЕТ, 2011. – 328 с. **19.** *Гуляницький Л.Ф., Сергиенко І.В.* Метаевристический метод деформированного многогранника в комбинаторной оптимизации // Кибернетика и системный анализ. – 2007. – № 6. – С. 70–79. **20.** *Гуляницький Л.Ф., Сиренко С.И.* Определение и исследование комбинаторных пространств // Теорія оптимальних рішень. – 2010. – № 9. – С. 17–25. **21.** *Яковлев С.В., Пичугина О.С.* Задачи оптимизации на евклидовых комбинаторных конфигурациях и их свойства // Питання прикладної математики і математичного моделювання. – Дніпро. – 2017. – Вип.17. – С. 228-235. **22.** *Стоян Ю.Г., Яковлев С.В.* Математические модели и оптимизационные методы геометрического проектирования. – К.: Наук. думка, 1986. – 268 с. **23.** *Yakovlev S.V.* The method of artificial space dilation in problems of optimal packing of geometric objects // Cybernetics and Systems Analysis. – 2017. – 53(5). – P. 725-732. **24.** *Pichugina O.S., Yakovlev S.V.* Functional and analytic representations of the general permutations // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2016. – 1(4). – P. 27-38. **25.** *Pichugina O.S., Yakovlev S.V.* Continuous Representations and Functional Extensions in Combinatorial Optimization – Cybernetics and Systems Analysis. – 2016, 52(6), pp. 921-930.

Resume

S.V. Yakovlev, A.V. Kartashov, K.P. Korobchinsky

ON THE CLASS OF GENETIC ALGORITHMS IN OPTIMIZATION PROBLEMS ON COMBINATORIAL CONFIGURATIONS

Background: The solution of combinatorial optimization problems is connected with computational complexity due to the high dimensionality of the problems. The existing algorithms are based on the properties of combinatorial sets and functions defined on these sets. Analysis of new properties of optimization problems contributes to the development of effective approaches to their solution.

Materials and methods: In this paper we introduce the concept of a Euclidean combinatorial configuration, as a mapping of an abstract finite set into an arithmetic Euclidean space. This allows us to obtain new properties of optimization problems on combinatorial sets and propose new genetic algorithms for their solution.

Results: The properties of Euclidean combinatorial configurations are investigated. Methods for the formation of the initial population, mechanisms for selection, selection of crossover operators and mutation for genetic algorithms are proposed. The problem of combinatorial optimization on the set of Euclidean permutation configurations is considered and examples of the construction of various crossover operators in genetic algorithms for solving it are given. **Conclusion:** The article describes a new class of genetic algorithms for solving combinatorial optimization problems. On the basis of the properties of Euclidean combinatorial configurations, new ways of forming crossover operators and mutations are proposed, which make it possible to improve the efficiency of existing methods of solution.

Поступила в редколлегию 7.09.2017

УДК 519.6



О.М. Литвин, О.О. Литвин, О.С. Чорна*

Українська Інженерно-Педагогічна Академія,
м. Харків, Україна, academ_mail@ukr.net*Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»,
lena1402@ukr.net

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПРОСТОРОВОГО РОЗПОДІЛУ СУКУПНОСТІ КОРИСНИХ КОПАЛИН МЕТОДАМИ ІНТЕРЛІНАЦІЇ МАТРИЦЬ-ФУНКЦІЙ

В роботі досліджується задача про відновлення в кожній точці між заданою системою свердловин (взагалі кажучи похилих) скінченої множини елементів періодичної таблиці або їх сполук лінійної щільності на заданій глибині. Обмеження вводиться n вибраними елементами або їх сполуками. Запропоновано метод побудови інтерлінаційного оператора матричних функцій, кожна компонента якої залежить від трьох змінних на системі кривих, тобто співпадає з наближуваною матричною функцією у всіх свердловинах на заданій глибині, та дозволяє обчислювати значення цієї матричної функції в кожній точці між свердловинами.

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ, ПРОСТОРОВИЙ РОЗПОДІЛ, ІНТЕРЛІНАЦІЯ ФУНКЦІЙ,
КОРИСНІ КОПАЛИНИ

Литвин О.Н., Литвин О.О., Черная Е.С. Математическая модель пространственного распределения совокупности полезных ископаемых методами интерликации матриц-функций. В работе исследуется задача о восстановлении в каждой точке между заданной системой скважин (вообще говоря наклонных) конечного множества элементов периодической таблицы или их соединений линейной плотности на заданной глубине. Ограничение вводится n выбранными элементами или их соединениями. Предложено метод построения интерликационного оператора матричных функций, каждая компонента которой зависит от трех переменных на системе кривых, то есть совпадает с приближенной матричной функцией во всех скважинах на заданной глубине, и позволяет рассчитывать значение этой матричной функции в каждой точке между скважинами.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ, ИНТЕРЛИКАЦИЯ ФУНКЦИЙ, ПОЛЕЗНЫЕ ИСКОПАЕМЫЕ

Lytvyn O.M., Lytvyn O.O., Chorna O.S. Mathematical spatial minerals distributing model of interlineation matrix-functions methods. The problem of recovery at any point between the set of chinks system (generally inclined) a finite set of periodic system elements or their compounds of the linear density of the element at the depth. The restriction is entered by n selected elements or their connections. A method is proposed for constructing an interlineation operator of matrix-functions, each of which depends on three variables on the basis of curves, that is, it coincides with a suitable matrix-function at all points at a given depth, and allows the calculation value of this matrix-function at each point between the chinks.

MATHEMATICAL MODELING, SPATIAL DISTRIBUTION, INTERLINATION OF FUNCTIONS,
MINERAL RESOURCES

Вступ

Математичне моделювання для вирішення геофізичних завдань за допомогою математики настільки складне, що тут використовуються передові її досягнення і найвищий рівень комп'ютеризації. На геофізичних завданнях неабиякою мірою удосконалюється математичний апарат. Математичне вирішення прямих завдань, тобто визначення параметрів фізичного поля по відомих фізичних властивостях, розмірах і формі геологічних об'єктів, хоча інколи дуже складно, але однозначно. В той же час, один і той же розподіл параметрів фізичного поля може відповідати різним співвідношенням фізичних властивостей і розмірів геологічних об'єктів. Іншими словами, математичне рішення зворотної задачі геофізики (як і взагалі математичної фізики), тобто визначення розмірів геологічних об'єктів і властивостей порід, що складають їх,

по полю, не лише значно складніше, але і, як правило, неоднозначно [1].

Геологи, проектувальники й будівельники повинні оцінювати кожне родовище як комплекс корисних копалин. Дійсно, поряд із основною сировиною (вугіллям, залізними, мідними рудами тощо) всі складові речовини як у рудному тілі, так і в розкривних та вмисних породах, можуть бути корисними для народного господарства. Адже супутні компоненти (будівельні, хімічні та ін.) за вартістю часто рівноцінні основній корисній копалині. В той же час розкривні та вмисні породи часто вважаються відходами гірничодобувних підприємств і їх, як правило, складають у відвали.

Площі під відвалами бувають значно більшими, ніж площі власне кар'єрних розробок. За деякими оцінками, при видобуванні корисних копалин щорічно на поверхню Землі виймається 150 млрд. так званих «пустих» порід.

Більшість видів мінеральної сировини багатоконпонентні. Це, зокрема, руди чорних і кольорових металів, нафта, газ, вугілля, горючі сланці, солі тощо. іноді буває так, що загальна цінність супутніх елементів перевищує вартість основної сировини. Повнота вилучення супутніх компонентів визначає ступінь комплексності використання даної сировини.

На ділянках, де виявлено ознаки корисних копалин, здійснюють пошуково-розвідувальні роботи. Якщо вони підтвердили наявність значних скупчень цих копалин, то розпочинають наступний етап робіт – РОЗВІДКУ.

Розвідка необхідна для того, щоб визначити форму і розміри тіл, вміст у них корисних копалин, розподіл рудних мінералів, підрахувати середній вміст корисних компонентів і загальні запаси, тобто загальну масу (в тоннах або кілограмах) кожного металу в родовищі.

Підрахунок запасів корисної копалини є важливою і відповідальною операцією, яка завершує всебічне вивчення родовища і визначає його промислово цінність. Підрахунок запасів підпорядкований основній вимозі – строгому обліку багатств надр, раціональному і комплексному їх використанню [2].

Математичне моделювання займає провідне місце в гірничо-економічному аналізі. Цей метод дає можливість вибирати оптимальні режими роботи гірничотехнічного устаткування, визначити найкращі параметри реконструкції тих, що діють і будівництва нових гірничодобувних підприємств, вирішувати завдання комплексного розвитку гірничодобувних регіонів. Застосування теорії інтерлінації функцій 3-х змінних до розв'язання технічних задач таких, як відновлення в кожній точці (x, y, z) між заданою системою свердловин (взагалі кажучи похилих)

$\Gamma_k(z) = \{(x, y, z) : x = X_k(z), y = Y_k(z), -H \leq z \leq 0\}$ скінченної множини елементів періодичної таблиці або їх сполук за даними матриці-функції за змінною z , де z – глибини свердловин, $\gamma_{k,i}(z)$, $k = \overline{1, M}$, $i = \overline{1, n}$ та знаходження оцінки запасів корисних копалин на основі результатів свердловинного буріння має велике практичне значення на сьогоднішній день [3, 4].

1. Постановка задачі

В даній роботі розглядається задача про відновлення в кожній точці (x, y, z) між заданою системою свердловин (взагалі кажучи похилими) $\Gamma_k(z) = \{(x, y, z) : x = X_k(z), y = Y_k(z), -H \leq z \leq 0\}$ скінченної множини корисних копалин або їх сполук за даними $\gamma_{k,i}(z)$, $k = \overline{1, M}$, $i = \overline{1, n}$, n – кількість сполук лінійної щільності i -го елемента в k -ій свердловині на глибині z , $-H \leq z \leq 0$. Тобто, ми обмежуємося не всіма елементами періодичної таблиці, а лише n вибраними елементами. Запропоновано метод побудови інтерлінаційного

оператора матричних функцій, кожна компонента якої залежить від трьох змінних на системі кривих, тобто співпадає з наближуваною матричною функцією у всіх свердловинах на заданій глибині, та дозволяє обчислювати значення цієї матричної функції в кожній точці між свердловинами. Крім того, в роботі розглянуті способи оцінки запасів корисних копалин.

2. Математична модель просторового розподілу вмісту деякої сукупності корисних копалин в корі за даними з кернів свердловин методом інтерлінації функцій

Загально відомим є метод розвідки корисних копалин, що ґрунтується на аналізі вмісту кернів свердловин, просвердлених в різних точках поверхні даного регіону. В роботі [5] істотно використовувалось припущення про те, що всі свердловини вертикальні. Випадок використання даних для побудови математичних моделей просторового розподілу корисних копалин із кернів похилих свердловин у зазначеній монографії та інших джерелах в ній не досліджувалися.

Враховуючи викладене вище, актуальною є задача побудови матричної математичної моделі просторового розподілу фіксованої сукупності корисних копалин в корі за даними з кернів свердловин методами інтерлінації функцій.

Введемо позначення:

$$\rho(x, y, z) = [\rho_1(x, y, z) \dots \rho_n(x, y, z)]^T,$$

$$\gamma_{k,i}(z) = \rho_i(X_k(z), Y_k(z), z), k = \overline{1, M}, i = \overline{1, n},$$

де $\rho(x, y, z)$ – матриця-функція, яка описує просторовий розподіл всієї сукупності досліджуваних нами корисних копалин, кожний стовпець якої має компоненти, які означають розподіл i -ої корисної копалини; $\gamma_{k,i}(z)$ – розподіл i -ої корисної копалини в k -ій свердловині.

$$\gamma_{k,i}(z) = [\gamma_{k,1}(z) \dots \gamma_{k,n}(z)]^T,$$

де $\rho_i(x, y, z)$, $i = \overline{1, n}$ – щільність i -ої корисної копалини.

Введемо також до розгляду допоміжні функції $H_k(x, y, z)$, що розглянуті у працях [5-6].

Допоміжні функції $H_k(x, y, z)$, $k = \overline{1, M}$, мають властивості $H_k(X_p(z), Y_p(z), z) = \delta_{k,p}$, $1 \leq k, p \leq M$.

Тоді математичною моделлю просторового розподілу сукупності a_n фіксованих корисних копалин між вибраною системою похилих свердловин будемо називати оператор

$$Op(x, y, z) = \sum_{k=1}^M H_k(x, y, z) \rho_k(z), \quad (1)$$

Введемо і дослідимо також оператори сплайн-інтерлінації матричної функцій трьох змінних $\rho(x, y, z)$ на системі похилих свердловин

$$\Gamma_k = \{(x, y, z) : x = X_k(z), y = Y_k(z), -H \leq z \leq 0\}.$$

Введемо M допоміжних функцій

$$h_k(t) \in C[0,1], k = \overline{1, M},$$

з властивостями $h_k(0) = 0, h_k(1) = 1, k = \overline{1, M}$, та оператори

$$\begin{aligned} O_{\mu} \rho(x, y, z) = & \rho_{\mu_1}(z) h_{\mu_1} \left(\frac{\phi_{\mu_2, \mu_3}(x, y, z)}{\Delta_{\mu_1, \mu_2, \mu_3}(z)} \right) + \\ & + \rho_{\mu_2}(z) h_{\mu_2} \left(\frac{\phi_{\mu_1, \mu_3}(x, y, z)}{\Delta_{\mu_1, \mu_2, \mu_3}(z)} \right) + \\ & + \rho_{\mu_3}(z) h_{\mu_3} \left(\frac{\phi_{\mu_1, \mu_2}(x, y, z)}{\Delta_{\mu_1, \mu_2, \mu_3}(z)} \right), \\ & (x, y, z) \in T_{\mu} \subset D, z \in [-H, 0]. \end{aligned}$$

Теорема 1. Оператор $O_{M\rho}(x, y, z)$ має наступні властивості:

а) він є оператором інтерлінації функцій трьох змінних на системі кривих Γ_k , тобто дозволяє обчислювати значення цієї матричної функції

$$O_{M\rho}(X_k(z), Y_k(z), z) = \gamma_k(z), -H \leq z \leq 0, k = \overline{1, M};$$

$$\text{б) } \rho(x, y, z) \in C \left(\bigcup_{\mu} T_{\mu} \times [-H, 0] \right) \Big|_{T_{\mu}} \subset D \Rightarrow$$

$$O_{M\rho}(x, y, z) \in C \left(\bigcup_{\mu} T_{\mu} \times [-H, 0] \right);$$

в) якщо деякі (або всі) функції $\rho_i(x, y, z)$, $i = \overline{1, n}$ мають розв'язок в заданій системі точок $z_k, k = \overline{1, M}$, то і $O_{M\rho}(x, y, z)$ буде мати розв'язок.

Доведення. Інтерлінаційні властивості «а» впливають з наступної властивості детермінантів: детермінант з двома однаковими рядками дорівнює нулю. Тому, якщо $p \in \{\mu_1, \mu_2, \mu_3\}$, то

$$\begin{aligned} O_{\mu} \rho(x, y, z) = & \rho_{\mu_1}(z) h_{\mu_1} \frac{\phi_{\mu_2, \mu_3}(x, y, z)}{\Delta_{\mu_1, \mu_2, \mu_3}(z)} + \\ & + \rho_{\mu_2}(z) h_{\mu_2} \frac{\phi_{\mu_1, \mu_3}(x, y, z)}{\Delta_{\mu_2, \mu_1, \mu_3}(z)} + \\ & + \rho_{\mu_3}(z) h_{\mu_3} \frac{\phi_{\mu_1, \mu_2}(x, y, z)}{\Delta_{\mu_3, \mu_1, \mu_2}(z)} = \rho_{\kappa}(z), \\ & (x, y, z) \in T_{\mu}, z \in [-H, 0], p \in \{\mu_1, \mu_2, \mu_3\}. \end{aligned}$$

Тут враховано, що

$$\begin{aligned} \phi_{\mu_2, \mu_3}(X_{\mu_1}(z), Y_{\mu_1}(z)) &= 1, \\ \phi_{\mu_2, \mu_3}(X_{\mu_2}(z), Y_{\mu_2}(z)) &= 0, \\ \phi_{\mu_2, \mu_3}(X_{\mu_3}(z), Y_{\mu_3}(z)) &= 0, \\ \phi_{\mu_1, \mu_3}(X_{\mu_2}(z), Y_{\mu_2}(z)) &= 1, \\ \phi_{\mu_1, \mu_3}(X_{\mu_1}(z), Y_{\mu_1}(z)) &= 0, \\ \phi_{\mu_1, \mu_3}(X_{\mu_3}(z), Y_{\mu_3}(z)) &= 0, \end{aligned}$$

$$\phi_{\mu_1, \mu_2}(X_{\mu_3}(z), Y_{\mu_3}(z)) = 1,$$

$$\phi_{\mu_1, \mu_2}(X_{\mu_1}(z), Y_{\mu_1}(z)) = 0,$$

$$\phi_{\mu_1, \mu_2}(X_{\mu_2}(z), Y_{\mu_2}(z)) = 0.$$

Іншими словами, оператор $O_{M\rho}(x, y, z)$ є оператором інтерлінації матричної функції кожна компонента яких залежить від трьох змінних на системі кривих Γ_k , тобто співпадає з наближуваною матричною функцією у всіх свердловинах по глибині z , $-H \leq z \leq 0$, тобто дозволяє обчислювати значення цієї матричної функції в кожній точці (x, y, z) між свердловинами по глибині z [6].

Для доведення того, що

$$O_{M\rho}(x, y, z) \in C \left(\bigcup_{\mu} T_{\mu} \times [-H, 0] \right),$$

достить зазначити, що функції $O_{p,q,r}\rho(x, y, z)$ та $O_{p,q,r}\rho(x, y, z)$ на спільній стороні обох трикутників, що розміщені на площині, зі свердловинами $\Gamma_p(z)$ та $\Gamma_q(z)$ мають однакові сліди, тобто функція $\rho(x, y, z) = O_{M\rho}(x, y, z)$ при переході від тригранної призми з ребрами $\Gamma_p(z), \Gamma_q(z), \Gamma_r(z)$ до тригранної призми з ребрами $\Gamma_p(z), \Gamma_q(z), \Gamma_r(z)$ зберігає неперервність. Те, що для неперервних слідів $\rho_p(z) \in C[-H, 0], p = \overline{1, m}$ функції $\rho_{\mu}(x, y, z) = O_{\mu}\rho(x, y, z)$ теж будуть неперервними, впливає з формули для операторів $O_{\mu}\rho(x, y, z)$ і відомої властивості неперервних функцій: сума неперервних матричних функцій є неперервною матричною функцією.

Теорема 1 доведена.

Зауваження 1. Зокрема, в якості $h_k(t) \forall k = \overline{1, M}$ можна взяти $t^r, r = 1, 2$ і при цьому отриманий оператор $O_{M\rho}(x, y, z)$ — буде оператором інтерлінації матричної функцій $\rho(x, y, z)$, який дозволяє між заданою системою свердловин відновлювати матричну функцію $\rho(x, y, z)$ в кожній точці від (x, y, z) .

Зауваження 2. Якщо одна або всі з компонентів матриці $\rho(x, y, z)$ мають розриви першого роду на деяких глибинах, то оператор $O_{M\rho}(x, y, z)$ буде представляти також розривну функцію від (x, y, z) .

Розглянемо для довільної $\rho(x, y, z) \in C(R^3)$ інтерлінаційні оператори

$$O_{M, \lambda}(\rho; x, y, z) = \sum_{k=1}^M \rho_k(z) \ell_{M, k, \lambda}(x, y, z),$$

$$\lambda \geq 1, M = 2, 3, \dots,$$

з глобальними допоміжними функціями

$$\begin{aligned} \ell_{M, k, \lambda}(x, y, z) &= \prod_{i=1, i \neq k}^M \frac{d_i(x, y, z)^{\lambda}}{d_{i, k}^{\lambda}} = \\ &= \frac{\prod_{i=1, i \neq k}^M d_i(x, y, z)^{\lambda}}{\prod_{i=1, i \neq k}^M d_{i, k}^{\lambda}}, \end{aligned}$$

$$d_i(x, y, z) = \sqrt{(X_i(z) - x)^2 + (Y_i(z) - y)^2}; \quad [7].$$

$$d_{i,k} = \sqrt{(X_i(z) - X_k(z))^2 + (Y_i(z) - Y_k(z))^2}$$

Теорема 2. Для кожної $\rho(x, y, z) \in C(R^3)$ виконуються співвідношення

$$O_{M,\lambda}(\rho; x, y, z) \in C(R^3)$$

$$O_{M,\lambda}(\rho; X_p(z), Y_p(z), z) = \gamma_p(z), p = \overline{1, M},$$

Тобто кожна компонента матриці $\rho_i(x, y, z) \in C(R^3)$

Доведення. Дослідимо властивості допоміжних функцій $\ell_{M,k,\lambda}(x, y, z)$. Перш за все зазначимо, що знаменники $\prod_{i=1, i \neq k}^M d_{i,k}^\lambda$ у формулах для $\ell_{M,k,\lambda}(x, y, z)$ – сталі величини і $d_{i,k}^\lambda > 0 \forall i, k \in \{1, \dots, M\}, i \neq k, \lambda > 0$, а чисельник – невід’ємна функція $\prod_{i=1, i \neq k}^M d_i(x, y, z)^\lambda \geq 0$. Тому [5]

$$\ell_{M,k,\lambda}(x, y, z) \geq 0 \forall k = \overline{1, M}; \lambda > 0.$$

Крім того,

$$\begin{aligned} \ell_{M,k,\lambda}(X_p(z), Y_p(z), z) &= \\ &= \frac{\prod_{i=1, i \neq k}^M d_i(X_p(z), Y_p(z), z)^\lambda}{\prod_{i=1, i \neq k}^M d_{i,k}^\lambda} = \\ &= \frac{\prod_{i=1, i \neq k}^M d_i(X_p(z), Y_p(z), z)^\lambda}{\prod_{i=1, i \neq k}^M d_{i,k}^\lambda} = \delta_{k,p}, \end{aligned}$$

$$k, p = \overline{1, M},$$

оскільки

$$\frac{\prod_{i=1, i \neq k}^M d_{i,p}^\lambda}{\prod_{i=1, i \neq k}^M d_{i,k}^\lambda} = \begin{cases} 1, p = k, \\ 0, \text{ якщо } p = i, p \in \{1, 2, \dots, M\}, p \neq k. \end{cases}$$

Таким чином,

$$\ell_{M,k,\lambda}(X_p(z), Y_p(z), z) = \delta_{k,p}, k, p = \overline{1, M}.$$

Враховуючи це, можна записати таку послідовність рівностей:

$$\begin{aligned} O_{M,\lambda}(\rho; X_p(z), Y_p(z), z) &= \\ &= \sum_{k=1}^M \gamma_k(z) \ell_{M,k,\lambda}(X_p(z), Y_p(z), z) = \\ &= \sum_{k=1}^M \gamma_k(z) \delta_{k,p} = \gamma_p(z), p = \overline{1, M}, \end{aligned}$$

оскільки функції $\ell_{M,k,\lambda}(x, y, z)$ – скалярні, а

$$\rho_k(z) \ell_{M,k,\lambda}(x, y, z) -$$

буде математичною функцією отриманою перемноженням скалярної функції $\ell_{M,k,\lambda}(x, y, z)$ на матричну функцію $\rho_k(z)$.

Теорема 2 доведена.

2. Моделювання родовищ і оцінка запасів

У якості прикладу практичного використання отриманих результатів розглянемо процес створення повної моделі родовища і оцінки його запасів зазвичай необхідний наступний набір інформації, введеної в комп’ютер: числові і текстові дані:

1. По свердловинах:

- координати гирл вироблень;
- дані інклінометрії;
- дані випробування;
- інші характеристики свердловин: каротаж, вихід керна, гідрогеологія, літологія, стратиграфія і так далі (див. рис. 1).

Hole_ID	East	North	RL	Azimuth	Dip	Final_Depth	
1	DD001	12102.03906	9988.75977	60.81000137	357.829996600	-60.15999985	139.0
2	DD002	11697.30078	9983.07031	60.58000183	357.230000000	-59.77000046	145.0
3	DD003	12100.00000	9904.00000	60.00000000	0.000000000	-60.00000000	100.0
4	DD004	12000.00000	10027.00000	60.00000000	0.000000000	-55.00000000	177.5
5	RC001	11401.50977	10072.08008	61.36999893	354.899993900	-59.97999954	124.0
6	RC002	11498.44922	10040.50977	60.77000046	355.420013400	-60.13999939	166.0
7	RC003	11597.55078	10048.23047	60.45999908	355.459991500	-59.86000061	154.0
8	RC004	11696.52930	10060.64063	60.16999817	356.730011000	-60.34000015	112.0
9	RC005	11697.13086	9992.42969	60.52999878	356.589996300	-58.95999908	136.0
10	RC006	12200.85938	9970.90039	60.91999817	355.750000000	-59.75000000	130.0
11	RC007	12200.50977	10009.66992	60.70000076	357.579996600	-60.27999878	94.0
12	RC008	12102.64063	10034.24023	60.75999832	357.350006100	-59.75000000	100.0
13	RC009	12102.28906	9993.69922	60.77000046	356.630004900	-59.08000183	160.0
14	RC010	12102.23047	9889.18945	61.40999985	354.059997600	-59.72000122	130.0
15	RC011	12003.73047	10008.75977	60.63999939	356.320007300	-60.25999832	178.0
16	RC012	12003.19922	9889.47070	61.27000046	355.420013400	-61.11999893	148.0
17	RC013	12002.88086	9849.48047	61.77000046	357.470001200	-60.65999985	148.0
18	RC014	11903.33984	9821.58008	61.81000137	352.559997600	-60.56999969	148.0
19	RC015	12501.51953	9959.93945	60.86000061	357.809997600	-60.13999939	124.0
20	RC016	12501.73047	9910.23047	61.04000092	357.100006100	-59.84000015	112.0
21	RC017	11696.93945	10025.13086	60.40999985	358.809997600	-60.33000183	142.0
22	RC018	11645.90039	10062.13086	60.27000046	357.079986600	-60.16999817	142.0
23	RC019	11646.48047	10020.90039	60.50999832	359.230011000	-59.54000092	142.0
24	RC020	11646.22070	9980.58984	60.72000122	357.149993900	-60.09999847	142.0
25	RC021	11745.23047	10060.35938	60.06999969	357.040008500	-59.95999908	142.0

Рис. 1. Набір даних для створення моделі родовища

2. По поверхневих виробленнях (канавам, траншеям і тому подібне):

- каталог маркшейдерських крапок по трасах вироблень;
- дані випробування;
- інші характеристики вироблень (літологія, стратиграфія, тектоніка і так далі).

3. По випробуваних підземних виробленнях:

- каталог маркшейдерських крапок по трасах вироблень;
- дані випробування;
- інші характеристики вироблень (літологія, стратиграфія, тектоніка і так далі).

Вся ця інформація вводиться з максимально достовірних джерел, зазвичай безпосередньо на підприємстві, де завжди легко отримати дані, яких не вистачає, або необхідне роз’яснення з незрозумілих питань. Бажано, щоб в цій роботі брали участь геологи, обізнані стосовно родовища. Це значно скорочує час роботи, полегшує пошук необхідних даних і їх сортування (див. рис. 2).

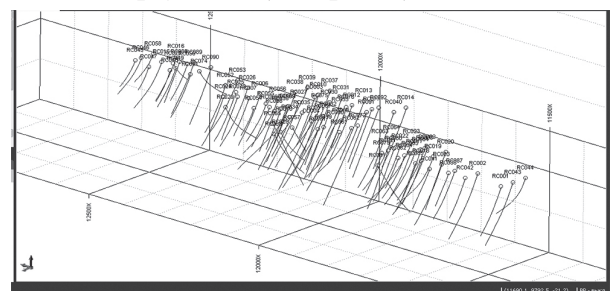


Рис. 2. Побудова свердловин по даним розвідки

3. Обчислення запасів корисних копалин за даними з кернів похилих свердловин

Розглянемо множину точок

$$\Gamma_k = (x_k(z), y_k(z), z), k = \overline{1, M},$$

що належить опуклій оболонці D . Область D – це циліндрична область опуклої оболонки свердловин. Розіб'ємо D на трикутники. Для довільного трикутника при заданих вершинах побудуємо нескінченну область D_{ijk} , яка буде трикутником з заданими вершинами при кожному значенні змінної z :

$$D_i(x_i(z), y_i(z), z), D_j(x_j(z), y_j(z), z), D_k(x_k(z), y_k(z), z), i \neq j \neq k, i, j, k \in \{1, 2, \dots, M\}.$$

Область D_{ijk} буде циліндричною областю, паралельною осі Oz , що має форму трикутної призми.

Для обчислення запасів корисних копалин на основі даних з кернів свердловинного буріння вважаємо, що у свердловинах – області D_{ijk} нам задані числа:

– глибини точок у свердловинах, які відповідають верхній точці залягання пласта корисної копалини

$$z_{\max}(x, y) = \max\{z_{1\max}(x, y), z_{2\max}(x, y), \dots, z_{M\max}(x, y)\}$$

– глибини точок у свердловинах, які відповідають нижній точці залягання пласта корисної копалини

$$z_{\min}(x, y) = \min\{z_{1\min}(x, y), z_{2\min}(x, y), \dots, z_{M\min}(x, y)\},$$

отримані шляхом аналізу вмісту кернів свердловинного буріння.

Введемо до розгляду систему функцій

$$w_{jki}(x, y) = \frac{1}{\Delta_{jki}} \begin{vmatrix} x & y & 1 \\ X_k(z) & Y_k(z) & 1 \\ X_i(z) & Y_i(z) & 1 \end{vmatrix},$$

$$\Delta_{jki} = \begin{vmatrix} X_j(z) & Y_j(z) & 1 \\ X_k(z) & Y_k(z) & 1 \\ X_i(z) & Y_i(z) & 1 \end{vmatrix}$$

$$\tilde{f}_{ijk}(x, y, z_{\max}(x, y)) = w_{ijk}(x, y)\gamma_i(z_{i,\max}(x, y)) + w_{jki}(x, y)\gamma_j(z_{j,\max}(x, y)) + w_{kij}(x, y)\gamma_k(z_{k,\max}(x, y)),$$

$$z_{\max}(x, y) = \tilde{f}_{ijk}(x, y, z_{\max}(x, y)), (x, y) \in P_i P_j P_k$$

Поверхня $u = z_{\max}(x, y)$ є кусково-лінійною поверхнею. Її графік є багатогранником, кожна грань якого є площиною, яка проходить через точки

$$(X_i, Y_i, \gamma_i(z_{i,\max}(x, y))), (X_j, Y_j, \gamma_j(z_{j,\max}(x, y))), (X_k, Y_k, \gamma_k(z_{k,\max}(x, y))).$$

Якщо вважати, що на глибинах

$$(z_{i,\max}(x, y)), (z_{j,\max}(x, y)), (z_{k,\max}(x, y))$$

щільності розподілу корисних копалин однакові $\rho_{i,\max} = \rho_{j,\max} = \rho_{k,\max} = \rho_{\max}$, то графік функції

$$z_{\max}(x, y) = f_{ijk}(x, y, z_{\max}),$$

$$(x, y) \in P_i P_j P_k.$$

$$f_{ijk}(x, y, z_{\max}) = w_{ijk}(x, y)z_{i,\max}(x, y) + w_{jki}(x, y)z_{j,\max}(x, y) + w_{kij}(x, y)z_{k,\max}(x, y)$$

є поверхнею, яка описує дах родовища.

Якщо на глибинах

$$(z_{i,\min}(x, y)), (z_{j,\min}(x, y)), (z_{k,\min}(x, y))$$

щільності розподілу корисних копалин однакові

$$\rho_{i,\min}(x, y) = \rho_{j,\min}(x, y) = \rho_{k,\min}(x, y) = \rho_{\min}(x, y),$$

то графік функції

$$z_{\min}(x, y) = f_{ijk}(x, y, z_{\min}),$$

$$(x, y) \in P_i P_j P_k,$$

$$f_{ijk}(x, y, z_{\min}) = w_{ijk}(x, y)z_{i,\min}(x, y) + w_{jki}(x, y)z_{j,\min}(x, y) + w_{kij}(x, y)z_{k,\min}(x, y)$$

є поверхнею, яка описує підшову родовища.

Тоді оцінку об'єму запасів корисної копалини можна обчислити за формулою (при умові, що між поверхнями даху і підшови родовища щільність стала $\rho_{\max}(x, y) = \rho_{\min}(x, y) = \rho(x, y)$)

$$V = \rho \iint_D (z_{\max}(x, y) - z_{\min}(x, y)) dx dy.$$

Нехай щільність корисної копалини в i -й свердловині буде задана у вигляді

$$\rho_i(z) = \begin{cases} 0, & z \geq z_{i,\max} \\ \rho, & z_{i,\min} \leq z \leq z_{i,\max} \\ 0, & z \leq z_{i,\min} \end{cases}.$$

Тоді оцінку об'єму запасів корисних копалин можна обчислити за формулою

$$V_j = \iint_D \left\{ \int_{z_{\min}(x, y)}^{z_{\max}(x, y)} \rho_j(x, y, z) dz \right\} dx dy,$$

де функція $f(x, y, z)$ – всюду визначена, де $\rho_i(z)$.

Висновки

Таким чином, у даній роботі розглянуто задачу про відновлення в кожній точці (x, y, z) між заданою системою свердловин (взагалі кажучи похилих)

$$\Gamma_k(z) = \{(x, y, z) : x = X_k(z), y = Y_k(z), -H \leq z \leq 0\}$$

скінченної множини деякої сукупності корисних копалин або їх сполук за даними про розподіл всіх компонентів цієї матриці-функції в даній системі свердловин $\gamma_{k,i}(z), k = \overline{1, M}, i = \overline{1, n}$, n – кількість елементів сполук лінійної щільності i -го елемента в k -ій свердловині на глибині $z, -H \leq z \leq 0$. Крім того, в роботі розглянуті способи оцінки запасів корисних копалин. На основі запропонованих матричних математичних моделей можуть бути створені нові ефективні методи розвідки корисних копалин та розробки родовищ.

Список літератури. 1. Барон Ю.Л. «О проблеме технологического моделирования». «Моделирование технологических процессов на угольных шахтах» // Сборник докладов на научном семинаре, Институт А.А. Скочинского. – 1993. 2. Бакка М.Т., Редчиць В.С., Наральник Я.В., Геометризація родовищ корисних копалин: Навчальний посібник. – Житомир: ЖІТІ, 2002. – 180с. 3. Литвин О.Н. Общий метод построения уравнений кривых и поверхностей в неявной форме с помощью интерлинации и интерфлетации функций / О. Н. Литвин, А. В. Ткаченко, О.О. Литвин // Кибернетика и системный анализ. – 2011. – № 1. С. 62-67. 4. Сергиенко И.В. Метод интерлинации вектор-функций $w(x, y, z, t)$ на системе и его применение в межскважинной сейсмической томографии / И.В. Сергиенко, В.С. Дейнека, О.Н.Литвин, О.О. Литвин // Кибернетика и системный анализ. – Том 49. – 2013. – № 3. С. 61-73. 5. Литвин О.М. Інтерлінація функцій та деякі її застосування. – Харків: Основа, 2002. – 544 с. 6. Литвин О.О. Математичне моделювання тривимірного розподілу корисних копалин за даними про них в системі похилих свердловин / Коваль Ф.Ф., Чорна О.С. // Бионика интеллекта: науч.-тех. Журнал. – 2014. – №2 (83). – С.83-87. 7. Литвин О.М. Математична модель просторового розподілу вмісту деякої сукупності корисних копалин в корі за даними з кернів свердловин методом інтерлінації функцій / Литвин О.О., Коваль Ф.Ф., Чорна О.С. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Математичне моделювання в техніці та технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ», 2016. – №6 (1178). – С. 46-50.

Resume

О.М.Lytvyn, О.О.Lytvyn, О.С.Chorna MATHEMATICAL SPATIAL MINERALS DISTRIBUTING MODEL OF INTERLINEATION MATRIX-FUNCTIONS METHODS

Background: The counting of mineral resources is an important and responsible operation that completes the comprehensive study of the deposit and determines its industrial value. Inventory counting is subordinated to the basic requirement - strict accounting for the wealth of the subsoil, rational and integrated use. Mathematical modeling takes a leading place in mining and economic analysis. This method makes it possible to choose the optimal operating modes for mining equipment, determine the best parameters for the reconstruction of existing mining and construction of new mining enterprises, and solve the problems of complex development of mining regions.

Materials and methods: The methods of interlineation function are used to construct a matrix mathematical model of the spatial distribution of a fixed aggregate of minerals in the cortex from data from wellbores.

Results. The problem of restoring at each point between a given system of wells (generally inclined) of a finite set periodic table elements or their connections of linear density at a given depth is investigated. A method is proposed for constructing an interlining operator for matrix functions, each component of which depends on three variables on the system of curves, that is, it coincides with the approximate matrix function in all wells at a given depth, and allows the calculation of the value of this matrix function at each point between the wells.

Conclusion: In this paper, we consider the problem of restoring at each point between a given system of wells (generally inclined) of a finite set of a certain set of minerals or their compounds from data on the distribution of all components of this matrix function in a given well system. In addition, the paper considers methods for estimating mineral resources. On the basis of the proposed matrix mathematical models, new methods of prospecting for minerals and developing deposits can be created.

Надійшла до редакції 12.09.2017

УДК 517.988 : 519.632



М.В. Сидоров

Харківський національний університет радіоелектроніки,
м. Харків, Україна, maxim.sidorov@nure.ua

ЗАСТОСУВАННЯ КОНСТРУКТИВНИХ МЕТОДІВ ТЕОРІЇ R-ФУНКЦІЙ ДЛЯ ПОБУДОВИ КОНУСНОГО ВІДРІЗКА ПРИ ЧИСЕЛЬНІЙ РЕАЛІЗАЦІЇ ДВОБІЧНИХ ІТЕРАЦІЙНИХ МЕТОДІВ

Розглянуто нелінійне еліптичне рівняння з однорідною умовою Діріхле. Методом функцій Грина від диференціальної задачі виконано перехід до еквівалентного нелінійного інтегрального рівняння Гаммерштейна. Для чисельного знаходження додатного розв'язку інтегрального рівняння, розглядуваного як операторне рівняння у просторі неперервних функцій напівупорядкованому конусом невід'ємних функцій, за допомогою методів нелінійного аналізу, зокрема, теорії гетеротонних операторів, запропоновано двобічний ітераційний метод, у якому для побудови початкового конусного відрізка використано метод R-функцій. Ефективність розробленого чисельного метода проілюстровано серією обчислювальних експериментів.

**НЕЛІНІЙНА КРАЙОВА ЗАДАЧА, ДОДАТНИЙ РОЗВ'ЯЗОК, МЕТОД ДВОБІЧНИХ НАБЛИЖЕНЬ,
КОНУСНИЙ ВІДРІЗОК, МЕТОД R-ФУНКЦІЙ**

Сидоров М.В. Применение конструктивных методов теории R-функций для построения конусного отрезка при численной реализации двусторонних итерационных методов. Рассмотрено нелинейное эллиптическое уравнение с однородным условием Дирихле. Методом функций Грина от дифференциальной задачи выполнен переход к эквивалентному нелинейному интегральному уравнению Гаммерштейна. Для численного нахождения положительного решения интегрального уравнения, рассматриваемого как операторное уравнение в пространстве непрерывных функций полуупорядоченном конусом неотрицательных функций, с помощью методов нелинейного анализа, в частности, теории гетеротонных операторов, предложен двусторонний итерационный метод, в котором для построения начального конусного отрезка использован метод R-функций. Эффективность разработанного численного метода проиллюстрировано серией вычислительных экспериментов.

НЕЛИНЕЙНАЯ КРАЕВАЯ ЗАДАЧА, ПОЛОЖИТЕЛЬНОЕ РЕШЕНИЕ, МЕТОД ДВУСТОРОННИХ ПРИБЛИЖЕНИЙ, КОНУСНЫЙ ОТРЕЗОК, МЕТОД R-ФУНКЦИЙ

Sidorov M.V. Application of constructive methods of the theory of R-functions for construction of a cone segment in the numerical realization of two-sided iterative methods. A nonlinear elliptic equation with a homogeneous Dirichlet condition is considered. A transition from the differential problem to the equivalent nonlinear integral Hammerstein equation is made by the method of Green's functions. To find the positive solution of the integral equation, considered as an operator equation in the space of continuous functions that is semi-ordered by a cone of nonnegative functions, using the methods of nonlinear analysis, in particular, the theory of heterotone operators, we proposed a two-sided iteration method in which to construct the initial cone segment we used the R-function method. The effectiveness of the developed numerical method is illustrated by a series of computational experiments.

**NONLINEAR BOUNDARY VALUE PROBLEM, POSITIVE SOLUTION, TWO-SIDED METHODS,
CONE SEGMENT, R-FUNCTIONS METHOD**

Вступ

Проблема математичного моделювання багатьох стаціонарних процесів, що розглядаються у хімічній кінетиці, біології, теорії горіння тощо [1] призводить до необхідності знаходження додатних розв'язків нелінійних еліптичних крайових задач.

Такі задачі були досліджені у багатьох роботах [2 – 5], але автори цих робіт зосереджували увагу в основному на з'ясуванні умов існування та єдиності додатного розв'язку задачі. Для знаходження чисельного розв'язку використовуються методи скінченних різниць, скінченних елементів [1, 6, 7] або ітераційні методи з двобічним характером збіжності [6, 8–11]. При застосуванні двобічних ітераційних методів будується дві ітераційні послідовності (верхніх та нижніх розв'язків), які з обох боків збігаються до точного розв'язку задачі, що дозволяє на кожному

кроці ітераційного процесу мати апостеріорну оцінку похибки, а отже, і зручний критерій закінчення ітерацій. Тому, на нашу думку, саме остання група методів є найбільш привабливою з точки зору обчислювальної математики. Побудова двобічних методів заснована на використанні теорії нелінійних операторів у напівупорядкованих просторах [2–4].

Отже, побудова та вдосконалення двобічних ітераційних методів розв'язання нелінійних еліптичних крайових задач є актуальною науковою проблемою.

Метою роботи є застосування конструктивного апарату теорії R-функцій до побудови сильно інваріантного конусного відрізка, кінці якого є початковими наближеннями при побудові двобічних ітераційних послідовностей до додатного розв'язку нелінійної еліптичної крайової задачі.

Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати такі задачі:

– розглянути постановку нелінійної еліптичної крайової задачі та замінити її операторним рівнянням з гетеротонним оператором;

– з використанням теорії нелінійних операторів у напівупорядкованих просторах та конструктивних засобів теорії R -функцій розробити ітераційний метод розв'язання розглядуваної задачі;

– провести обчислювальні експерименти для різних областей і проаналізувати результати.

Дана робота продовжує дослідження, розпочаті у [8–11].

1. Постановка задачі

Розглядатимемо проблему знаходження додатного розв'язку нелінійної крайової задачі вигляду

$$-\Delta u = f(x, u) \text{ у } \Omega, \quad (1)$$

$$u|_{\partial\Omega} = 0, \quad (2)$$

де $\Omega \subset \mathbb{R}^m$ – обмежена область з кусково-гладкою межею $\partial\Omega$, $f(x, u)$ – невід'ємна та неперервна за сукупністю змінних x , u функція, якщо $x \in \Omega$, $u \geq 0$.

У практичних застосуваннях права частина рівняння (1) дорівнює λu^p , $\lambda(1+u)^p$, $\lambda + u^p$, λe^u , $\frac{\lambda}{(1-u)^2}$ тощо [1, 7]. Точні розв'язки задачі (1), (2) відомі лише для невеликої кількості поодиноких випадків правої частини $f(x, u)$ та області Ω .

2. Побудова двобічних наближень

Нехай $C(\bar{\Omega})$ – банахів простір неперервних у $\bar{\Omega} = \Omega \cup \partial\Omega$ функцій з нормою $\|u\| = \max_{x \in \bar{\Omega}} |u(x)|$.

Виділимо у $C(\bar{\Omega})$ конус $K_+ = \{u \in C(\bar{\Omega}) : u(x) \geq 0, x \in \bar{\Omega}\}$ невід'ємних функцій. Зазначимо, що конус K_+ у $C(\bar{\Omega})$ є нормальним (і навіть гострим) [2, 3].

За допомогою конуса K_+ у просторі $C(\bar{\Omega})$ введемо напівупорядкованість за правилом: для $u, v \in C(\bar{\Omega})$ $u \leq v$, якщо $v - u \in K_+$, тобто

$$u \leq v, \text{ якщо } u(x) \leq v(x) \text{ для всіх } x \in \bar{\Omega}.$$

Від задачі (1), (2) перейдемо до інтегрального рівняння Гаммерштейна

$$u(x) = \int_{\Omega} G(x, \xi) f(\xi, u(\xi)) d\xi, \quad (3)$$

де $G(x, \xi)$ – функція Гріна першої крайової задачі для оператора $-\Delta$ у області Ω , $x = (x_1, \dots, x_m)$, $\xi = (\xi_1, \dots, \xi_m)$.

Означення 1. Розв'язком (узагальненим) задачі (1), (2) називатимемо функцію $u^* \in C(\bar{\Omega})$, яка є розв'язком рівняння (3).

Введемо у розгляд нелінійний інтегральний оператор T , який діє у $C(\bar{\Omega})$ за правилом, яке визначається правою частиною рівняння (3):

$$T(u) = \int_{\Omega} G(x, \xi) f(\xi, u(\xi)) d\xi. \quad (4)$$

Оскільки $f(x, u) \geq 0$, якщо $x \in \Omega$, та $G(x, \xi) \geq 0$, $x, \xi \in \Omega$, $x \neq \xi$, то оператор T є додатним, тобто залишає інваріантним конус $K_+ : T(K_+) \subset K_+$.

Нехай функція $f(x, u)$ дозволяє діагональне подання $f(x, u) = \hat{f}(x, u, u)$, де неперервна за сукупністю змінних x , v , w функція $\hat{f}(x, v, w)$ монотонно зростає за v і монотонно спадає за w для всіх $x \in \Omega$. Тоді оператор T вигляду (4) буде гетеротонним з супровідним оператором

$$\hat{T}(v, w) = \int_{\Omega} G(x, \xi) \hat{f}(\xi, v(\xi), w(\xi)) d\xi. \quad (5)$$

Зауважимо, що для випадку, коли функція $f(x, u)$ монотонно зростає за u для всіх $x \in \Omega$, можна обрати $\hat{f}(x, v, w) = f(x, v)$, а для монотонно спадної за u функції $f(x, u)$ можна покласти $\hat{f}(x, v, w) = f(x, w)$.

Оператори T і \hat{T} є цілком неперервними [2, 3].

У конусі K_+ виділимо сильно інваріантний конусний відрізок $\langle v_0, w_0 \rangle$ умовами

$$\hat{T}(v_0, w_0) \geq v_0, \quad \hat{T}(w_0, v_0) \leq w_0,$$

тобто

$$\int_{\Omega} G(x, \xi) \hat{f}(\xi, v_0(\xi), w_0(\xi)) d\xi \geq v_0(x) \text{ для всіх } x \in \bar{\Omega},$$

$$\int_{\Omega} G(x, \xi) \hat{f}(\xi, w_0(\xi), v_0(\xi)) d\xi \leq w_0(x) \text{ для всіх } x \in \bar{\Omega}.$$

Сформуємо ітераційний процес за схемою

$$v^{(k+1)} = \hat{T}(v^{(k)}, w^{(k)}), \quad w^{(k+1)} = \hat{T}(w^{(k)}, v^{(k)}),$$

$$k = 0, 1, 2, \dots, \quad v^{(0)} = v_0, \quad w^{(0)} = w_0,$$

тобто

$$v^{(k+1)}(x) = \int_{\Omega} G(x, \xi) \hat{f}(\xi, v^{(k)}(\xi), w^{(k)}(\xi)) d\xi, \quad (6)$$

$$w^{(k+1)}(x) = \int_{\Omega} G(x, \xi) \hat{f}(\xi, w^{(k)}(\xi), v^{(k)}(\xi)) d\xi, \quad (7)$$

$$k = 0, 1, 2, \dots,$$

$$v^{(0)}(x) = v_0(x), \quad w^{(0)}(x) = w_0(x). \quad (8)$$

З огляду на сильну інваріантність побудованого конусного відрізка та гетеротонність оператора T , для якого оператор \hat{T} є супровідним, можна зробити висновок про те, що послідовність $\{v^{(k)}(x)\}$ не спадає за конусом K_+ , а послідовність $\{w^{(k)}(x)\}$ не зростає за конусом K_+ . Крім того, з нормальності конуса K_+ і цілком неперервності оператора \hat{T} впливає існування границь $v^*(x)$ і $w^*(x)$ цих послідовностей. Отже, справджується ланцюг нерівностей

$$v_0 = v^{(0)} \leq v^{(1)} \leq \dots \leq v^{(k)} \leq \dots \leq v^* \leq$$

$$\leq w^* \leq \dots \leq w^{(k)} \leq \dots \leq w^{(1)} \leq w^{(0)} = w_0.$$

Функції v^* і w^* є розв'язком системи рівнянь

$$v^* = \hat{T}(v^*, w^*), \quad w^* = \hat{T}(w^*, v^*),$$

тобто системи

$$v^*(x) = \int_{\Omega} G(x, \xi) \hat{f}(\xi, v^*(\xi), w^*(\xi)) d\xi,$$

$$w^*(x) = \int_{\Omega} G(x, \xi) \hat{f}(\xi, w^*(\xi), v^*(\xi)) d\xi.$$

Якщо ж отримали, що $v^* = w^* = u^*$, то u^* – єдина на конусному відрізку $\langle v_0, w_0 \rangle$ нерухома точка оператора T , а отже, u^* – єдиний на $\langle v_0, w_0 \rangle$ розв'язок крайової задачі (1), (2).

Достатньою умовою виконання рівності $v^* = w^*$ є умова [12] існування такого $\alpha \in (0; 1)$, що для всіх $v, w \in \langle v_0, w_0 \rangle$

$$\|\hat{T}(v, w) - \hat{T}(w, v)\| \leq \alpha \|v - w\|.$$

Нехай функція $\hat{f}(x, v(x), w(x))$ для всіх додатних чисел v, w і для всіх $x \in \Omega$ задовольняє нерівність

$$\left| \hat{f}(x, v, w) - \hat{f}(x, w, v) \right| \leq L |v - w|, \quad (9)$$

де $L > 0$.

Тоді матиме місце оцінка

$$\|\hat{T}(v, w) - \hat{T}(w, v)\| \leq LM \|v - w\|, \quad (10)$$

де $M = \max_{x \in \Omega} \int_{\Omega} G(x, \xi) d\xi$.

Далі на основі оцінки (10) отримуємо, що

$$\begin{aligned} \|w^{(k)} - v^{(k)}\| &= \|\hat{T}(w^{(k-1)}, v^{(k-1)}) - \hat{T}(v^{(k-1)}, w^{(k-1)})\| \leq \\ &\leq LM \|w^{(k-1)} - v^{(k-1)}\| \leq \dots \leq (LM)^k \|w^{(0)} - v^{(0)}\|. \end{aligned}$$

Отже, справджується така теорема.

Теорема 1. Нехай гетеротонний оператор T вигляду (4), для якого оператор \hat{T} вигляду (5) є супровідним, має сильно інваріантний конусний відрізок $\langle v_0, w_0 \rangle$ і виконується нерівність (9), причому $LM < 1$. Тоді ітераційний процес (6) – (8) збігається до єдиного у $\langle v_0, w_0 \rangle$ розв'язку u^* крайової задачі (1), (2), причому мають місце нерівності

$$\begin{aligned} v_0 = v^{(0)} \leq v^{(1)} \leq \dots \leq v^{(k)} \leq \dots \leq u^* \leq \\ \leq \dots \leq w^{(k)} \leq \dots \leq w^{(1)} \leq w^{(0)} = w_0 \end{aligned}$$

і

$$\|w^{(k)} - v^{(k)}\| \leq (LM)^k \|w_0 - v_0\|. \quad (11)$$

Іншою умовою, яка забезпечить єдиність додатного розв'язку крайової задачі (1), (2), є u_0 -псевдоувігнутість оператора T вигляду (4) [3].

Перевагою побудованих двобічних ітераційних процесів є те, що на кожній k -й ітерації ми маємо зручну апостеріорну оцінку похибки для наближеного розв'язку $u^{(k)}(x) = \frac{1}{2}(w^{(k)}(x) + v^{(k)}(x))$:

$$\|u^* - u^{(k)}\| \leq \frac{1}{2} \|w^{(k)} - v^{(k)}\|.$$

Тоді, якщо задана точність $\varepsilon > 0$, то ітераційний процес слід проводити до виконання нерівності

$\max_{x \in \Omega} (w^{(k)}(x) - v^{(k)}(x)) < 2\varepsilon$ і з точністю ε можна вважати, що $u^*(x) \approx u^{(k)}(x)$.

Також з нерівності (11) можна отримати оцінку для кількості ітерацій, необхідних для досягнення заданої точності. Дійсно, з нерівностей

$$\|u^* - u^{(k)}\| \leq \frac{1}{2} \|w^{(k)} - v^{(k)}\| \leq \frac{(LM)^k}{2} \|w_0 - v_0\| < \varepsilon$$

знаходимо, що для досягнення точності ε треба зробити

$$k_0(\varepsilon) = \left\lceil \frac{\ln \frac{\|w_0 - v_0\|}{2\varepsilon}}{\ln \frac{1}{LM}} \right\rceil + 1$$

ітерацій, де квадратні дужки позначають цілу частину числа.

Але, незважаючи на переваги побудованого двобічного ітераційного метода, практична його реалізація залежить від можливості побудови сильно інваріантного конусного відрізка $\langle v_0, w_0 \rangle$. Крім того, цей відрізок треба брати якомога меншої довжини $\|w_0 - v_0\|$, щоб забезпечити мінімальність кількості ітерацій $k_0(\varepsilon)$.

У [3] запропоновано такий спосіб побудови сильно інваріантного конусного відрізка. Відомо [3], що можна вказати множину Ξ ненульової міри таку, що

$$\int_{\Omega_1} G(x, \xi) d\xi \geq \varepsilon_0 > 0, \quad x \in \Xi.$$

Якщо існують числа v, w такі, що $0 \leq v \leq w$ і

$$\hat{f}(x, v, w) \geq \alpha v, \quad \hat{f}(x, w, v) \leq \beta w, \quad x \in \Omega, \quad (12)$$

де $\alpha \geq \varepsilon_0^{-1}$, $\beta \leq \|G\|$ ($\|G\|$ – норма лінійного оператора $G(u) = \int_{\Omega} G(x, \xi) u(\xi) d\xi$ у просторі $C(\bar{\Omega})$), то сильно інваріантний конусний відрізок визначається функціями

$$v_0(x) = v\chi(x), \quad w_0(x) = w,$$

де $\chi(x)$ – характеристична функція множини Ξ .

Обмеженість цього підходу викликана вимогами (12), накладеними на функцію $\hat{f}(x, v, w)$.

Також сильно інваріантний конусний відрізок можна шукати у вигляді $\langle v_0, w_0 \rangle = \langle 0, \beta \rangle$, $\beta > 0$ [9–11]. Тоді нерівності, які визнають v_0, w_0 приймають вигляд

$$\int_{\Omega} G(x, \xi) \hat{f}(\xi, 0, \beta) d\xi \geq 0 \quad \text{для всіх } x \in \bar{\Omega},$$

$$\int_{\Omega} G(x, \xi) \hat{f}(\xi, \beta, 0) d\xi \leq \beta \quad \text{для всіх } x \in \bar{\Omega}.$$

Перша з цих нерівностей завжди виконана, якщо $\hat{f}(x, 0, \beta) \geq 0$ для всіх $x \in \Omega$, $\beta > 0$, а значення β можна знайти з другої нерівності. Недоліком цього підходу є те, що за умови $\hat{f}(x, 0, \beta) = 0$ для всіх $x \in \Omega$ і $\beta > 0$, для нижніх наближень отримуємо стаціонарну послідовність $v^{(k)}(x) = 0$, $k = 0, 1, 2, \dots$

Цей недолік вперше було подолано у роботі [11], коли нижню межу конусного відрізка було запропоновано шукати у вигляді $v_0(\mathbf{x}) = \alpha\omega(\mathbf{x})$, де функція $\omega(\mathbf{x})$ додатна в Ω і дорівнює нулю на $\partial\Omega$. Така функція $\omega(\mathbf{x})$ може бути побудована методом R -функцій.

З іншого боку конструктивний апарат теорії R -функцій, який дозволяє дати точний аналітичний опис геометрії області Ω , у якій розглядається задача (1), (2), можна застосувати для побудови обох кінців сильно інваріантного конусного відрізка $\langle v_0, w_0 \rangle$.

Нехай межа $\partial\Omega$ області Ω складається зі скінченної кількості кусків ліній $\sigma_i(\mathbf{x}) = 0$, $i = 1, 2, \dots, s$, де кожна $\sigma_i(\mathbf{x})$ – елементарна функція. Тоді за допомогою методу R -функцій [13] можна побудувати у вигляді єдиного аналітичного виразу елементарну функцію $\omega(\mathbf{x})$ таку, що:

- а) $\omega(\mathbf{x}) > 0$ у Ω ;
- б) $\omega(\mathbf{x}) = 0$ на $\partial\Omega$;
- в) $|\nabla\omega(\mathbf{x})| \neq 0$ на $\partial\Omega$.

З крайової умови (2) випливає, що розв'язок крайової задачі (1), (2) належить жмутку функцій $\omega\Phi$, де Φ – деяка обмежена функція. Тоді сильно інваріантний конусний відрізок можна шукати у вигляді $\langle v_0, w_0 \rangle = \langle \alpha\omega(\mathbf{x}), \beta\omega(\mathbf{x}) \rangle$, де α, β , $0 \leq \alpha < \beta$, задовольняють системі нерівностей

$$\int_{\Omega} G(\mathbf{x}, \xi) \hat{f}(\xi, \alpha\omega(\xi), \beta\omega(\xi)) d\xi \geq \alpha\omega(\mathbf{x}) \text{ для всіх } \mathbf{x} \in \bar{\Omega},$$

$$\int_{\Omega} G(\mathbf{x}, \xi) \hat{f}(\xi, \beta\omega(\xi), \alpha\omega(\xi)) d\xi \leq \beta\omega(\mathbf{x}) \text{ для всіх } \mathbf{x} \in \bar{\Omega}.$$

Отже, якщо остання система нерівностей розв'язна, то існує сильно інваріантний конусний відрізок вигляду $\langle \alpha\omega(\mathbf{x}), \beta\omega(\mathbf{x}) \rangle$ і за умов теореми 1 ітераційний процес (6), (7) двобічно збігається з початкового наближення $v^{(0)}(\mathbf{x}) = \alpha\omega(\mathbf{x})$, $w^{(0)}(\mathbf{x}) = \beta\omega(\mathbf{x})$ до єдиного у $C(\bar{\Omega})$ узагальненого розв'язку задачі (1), (2), причому для наближеного розв'язку $u^{(k)}(\mathbf{x}) = \frac{1}{2}(w^{(k)}(\mathbf{x}) + v^{(k)}(\mathbf{x}))$ має місце оцінка

$$\|u^* - u^{(k)}\| \leq \frac{\beta - \alpha}{2} (LM)^k \max_{\mathbf{x} \in \bar{\Omega}} \omega(\mathbf{x}). \quad (13)$$

3. Результати обчислювального експерименту

Для обчислювального експерименту обемо праву частину рівняння (1) у вигляді $f(\mathbf{x}, u) = \lambda\sqrt{1+u}$, $\lambda > 0$, і розглянемо задачу

$$-\Delta u = \lambda\sqrt{1+u} \text{ у } \Omega, \quad (14)$$

$$u|_{\partial\Omega} = 0, \quad (15)$$

у двох областях ($m = 2$)

$$\Omega_1 = \{\mathbf{x} = (x_1, x_2) : x_1^2 + x_2^2 < 1\},$$

$$\Omega_2 = \{\mathbf{x} = (x_1, x_2) : x_1^2 + x_2^2 < 1, x_2 > 0\}.$$

Оскільки функція $f(\mathbf{x}, u) = \lambda\sqrt{1+u}$ монотонно зростає за u , то $\hat{f}(\mathbf{x}, v, w) = \lambda\sqrt{1+v}$. Нерівність (9)

виконується з $L = \frac{\lambda}{2}$, оскільки

$$|\lambda\sqrt{1+v} - \lambda\sqrt{1+w}| \leq \frac{\lambda}{2}|v-w|.$$

У просторі $C(\bar{\Omega})$ задача (14), (15) еквівалентна інтегральному рівнянню Гаммерштейна

$$u(\mathbf{x}) = \lambda \int_{\Omega} G(\mathbf{x}, \xi) \sqrt{1+u(\xi)} d\xi. \quad (16)$$

Супровідний для гетеротонного (ізотонного як частинний випадок) оператора

$$T(u) = \lambda \int_{\Omega} G(\mathbf{x}, \xi) \sqrt{1+u(\xi)} d\xi \quad (17)$$

має вигляд

$$\hat{T}(v, w) = \lambda \int_{\Omega} G(\mathbf{x}, \xi) \sqrt{1+v(\xi)} d\xi.$$

Нерівності, що визначають конусний відрізок $\langle v_0, w_0 \rangle = \langle \alpha\omega(\mathbf{x}), \beta\omega(\mathbf{x}) \rangle$, сильно інваріантний для оператора (17), мають вигляд ($0 \leq \alpha < \beta$)

$$\lambda \int_{\Omega} G(\mathbf{x}, \xi) \sqrt{1+\alpha\omega(\xi)} d\xi \geq \alpha\omega(\mathbf{x}), \quad \mathbf{x} \in \bar{\Omega}, \quad (18)$$

$$\lambda \int_{\Omega} G(\mathbf{x}, \xi) \sqrt{1+\beta\omega(\xi)} d\xi \leq \beta\omega(\mathbf{x}), \quad \mathbf{x} \in \bar{\Omega}. \quad (19)$$

Двобічний ітераційний процес послідовних наближень до розв'язку рівняння (16) (а отже, і задачі (14), (15)) сформуємо за схемою

$$v^{(k+1)}(\mathbf{x}) = \lambda \int_{\Omega} G(\mathbf{x}, \xi) \sqrt{1+v^{(k)}(\xi)} d\xi, \quad (20)$$

$$w^{(k+1)}(\mathbf{x}) = \lambda \int_{\Omega} G(\mathbf{x}, \xi) \sqrt{1+w^{(k)}(\xi)} d\xi, \quad (21)$$

$$k = 0, 1, 2, \dots,$$

$$v^{(0)}(\mathbf{x}) = \alpha\omega(\mathbf{x}), \quad w^{(0)}(\mathbf{x}) = \beta\omega(\mathbf{x}).$$

Для одиничного кола Ω_1 маємо

$$\omega(\mathbf{x}) = \frac{1}{2}(1 - x_1^2 - x_2^2), \quad G(\mathbf{x}, \xi) = \frac{1}{2\pi} \ln \frac{\rho r_{x\xi^1}}{r_{x\xi}},$$

де $\rho = \sqrt{\xi_1^2 + \xi_2^2}$, точки ξ і ξ^1 симетричні відносно кола одиничного радіуса, $r_{x\xi}$, $r_{x\xi^1}$ – відстані між точками \mathbf{x} , ξ і \mathbf{x} , ξ^1 відповідно.

Знаходимо

$$\max_{\mathbf{x} \in \bar{\Omega}} \omega(\mathbf{x}) = \frac{1}{2}, \quad M = \max_{\mathbf{x} \in \bar{\Omega}} \int_{\Omega} G(\mathbf{x}, \xi) d\xi = \frac{1}{4}.$$

Тоді, якщо система (18), (19) розв'язна, ітераційний процес (20), (21) двобічно збігається до єдиного у $\langle v_0, w_0 \rangle$ розв'язку задачі (14), (15) за умови

$$LM = \frac{\lambda}{8} < 1,$$

тобто при $\lambda < 8$, і має місце оцінка (13).

Обчислювальний експеримент було проведено для значення $\lambda = 1$. Розв'язком системи (18), (19) є, наприклад, числа $\alpha = 0,5319$, $\beta = 0,5489$. Тоді оцінка (13) набуває вигляду

$$\|u^* - u^{(k)}\| \leq \frac{0,5489 - 0,5319}{2} \cdot \frac{1}{8^k} \cdot \frac{1}{2} \approx \frac{0,425 \cdot 10^{-2}}{8^k}.$$

Звідси для кількості ітерацій, необхідних для досягнення точності ϵ , отримуємо значення

$$k_0(\epsilon) = \left\lceil \frac{\ln \frac{0,425 \cdot 10^{-2}}{\epsilon}}{\ln 8} \right\rceil + 1.$$

В таблиці 1 наведено значення $k_0(\epsilon)$ для деяких значень $\epsilon > 0$.

Таблиця 1

Значення $k_0(\epsilon)$ для деяких ϵ

ϵ	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}
$k_0(\epsilon)$	0	0	1	2	3	5

Оберемо $\epsilon = 10^{-5}$. В таблиці 2 наведено значення $\epsilon^{(k)} = \max_{x \in \Omega} \frac{1}{2} |w^{(k)}(x) - v^{(k)}(x)|$ оцінки похибки наближеного розв'язку $u^{(k)}(x)$, $k = 0, 1, 2, 3$, а в таблиці 3 – значення наближень $w^{(k)}(x)$, $u^{(k)}(x)$ та $v^{(k)}(x)$, $k = 0, 1, 2, 3$, в точці $(0; 0)$.

Таблиця 2

Значення оцінки похибки наближеного розв'язку

k	0	1	2	3
$\epsilon^{(k)}$	$0,425 \cdot 10^{-2}$	$0,361 \cdot 10^{-3}$	$0,288 \cdot 10^{-4}$	$0,227 \cdot 10^{-5}$

Таблиця 3

Значення послідовних наближень в точці $(0; 0)$

k	0	1	2	3
$w^{(k)}(0, 0)$	0,27445	0,27444	0,27430	0,27428
$u^{(k)}(0, 0)$	0,27020	0,27408	0,27427	0,27428
$v^{(k)}(0, 0)$	0,26595	0,27372	0,27424	0,27428

На рис. 1 і 2 наведені поверхня та лінії рівня наближеного розв'язку $u^{(3)}(x) = \frac{1}{2}(v^{(3)}(x) + w^{(3)}(x))$ відповідно, при цьому $\|u^{(3)}\| = 0,27428$.

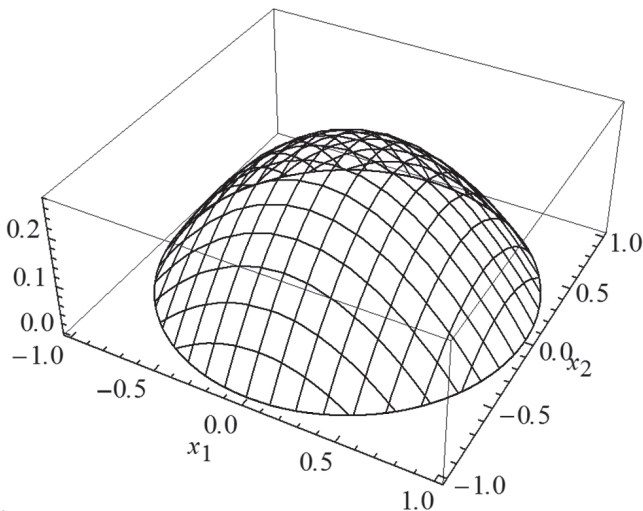


Рис. 1. Поверхня наближеного розв'язку $u^{(3)}(x)$

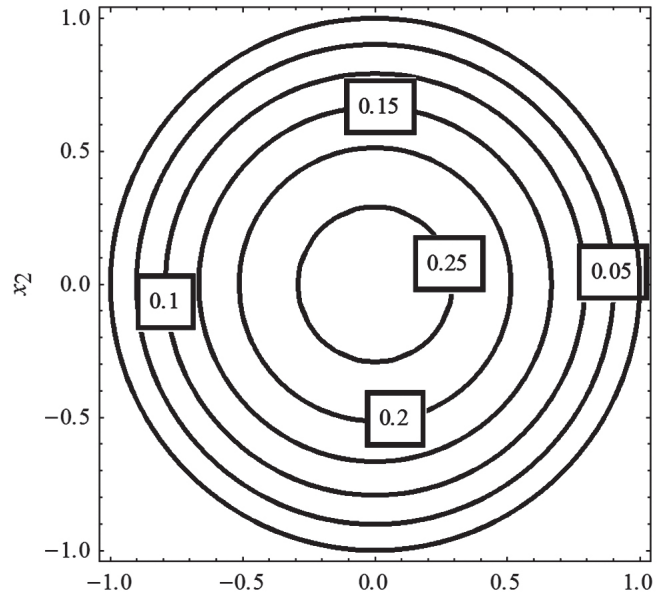


Рис. 2. Лінії рівня наближеного розв'язку $u^{(3)}(x)$

Для півкола Ω_2 маємо

$$\omega(x) = \left[\frac{1}{2}(1 - x_1^2 - x_2^2) \right] \wedge_0 x_2,$$

$$G(x, \xi) = \tilde{G}(x, \xi) - \tilde{G}(x, \xi^1),$$

де \wedge_0 – знак R -кон'юнкції,

$$g_1 \wedge_0 g_2 \equiv g_1 + g_2 - \sqrt{g_1^2 + g_2^2},$$

$\tilde{G}(x, \xi)$ – функція Гріна першої крайової задачі для одиничного кола, точка ξ^1 симетрична точці ξ відносно діаметра півкола.

Знаходимо

$$\max_{x \in \Omega} \omega(x) = \frac{1}{4},$$

$$M = \max_{x \in \Omega} \int_{\Omega} G(x, \xi) d\xi = 0,097618\dots$$

Тоді, якщо система (18), (19) розв'язна, ітеративний процес (20), (21) двобічно збігається до єдиного у $\langle v_0, w_0 \rangle$ розв'язку задачі (14), (15) за умови

$$LM = \frac{0,097618\dots \cdot \lambda}{2} < 1,$$

тобто при $\lambda < 20,488\dots$, і має місце оцінка (13).

Обчислювальний експеримент було проведено для значення $\lambda = 1$. Розв'язком системи (18), (19) є, наприклад, числа $\alpha = 0,0406$, $\beta = 0,4382$. Тоді оцінка (13) набуває вигляду

$$\begin{aligned} \|u^* - u^{(k)}\| &\leq \frac{0,4382 - 0,0406}{2} \cdot \left(\frac{0,097618\dots}{2} \right)^k \cdot \frac{1}{4} \approx \\ &\approx \frac{0,497 \cdot 10^{-1}}{(20,488)^k}. \end{aligned}$$

Звідси для кількості ітерацій, необхідних для досягнення точності ϵ , отримуємо значення

$$k_0(\epsilon) = \left\lceil \frac{\ln \frac{0,497 \cdot 10^{-1}}{\epsilon}}{\ln 20,488} \right\rceil + 1.$$

В таблиці 4 наведено значення $k_0(\epsilon)$ для деяких значень $\epsilon > 0$.

Таблиця 4

Значення $k_0(\epsilon)$ для деяких ϵ

ϵ	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}
$k_0(\epsilon)$	0	1	2	3	3	4

Оберемо $\epsilon = 10^{-5}$. В таблиці 5 наведено значення

$$\epsilon^{(k)} = \max_{\mathbf{x} \in \Omega} \frac{1}{2} |w^{(k)}(\mathbf{x}) - v^{(k)}(\mathbf{x})|$$

оцінки похибки наближеного розв'язку $u^{(k)}(\mathbf{x})$, $k = 0, 1, 2, 3$, а в таблиці 6 – значення наближень $w^{(k)}(\mathbf{x})$, $u^{(k)}(\mathbf{x})$ та $v^{(k)}(\mathbf{x})$, $k = 0, 1, 2, 3$, в точці $(0; 0,5)$.

Таблиця 5

Значення оцінки похибки наближеного розв'язку

k	0	1	2	3
$\epsilon^{(k)}$	$0,497 \cdot 10^{-1}$	$0,185 \cdot 10^{-2}$	$0,628 \cdot 10^{-4}$	$0,208 \cdot 10^{-5}$

Таблиця 6

Значення послідовних наближень в точці $(0; 0,5)$

k	0	1	2	3
$w^{(k)}(0, 0,5)$	0,10955	0,10156	0,10116	0,10115
$u^{(k)}(0, 0,5)$	0,05985	0,09971	0,10110	0,10115
$v^{(k)}(0, 0,5)$	0,01015	0,09785	0,10104	0,10114

На рис. 3 і 4 наведені поверхня та лінії рівня наближеного розв'язку

$$u^{(3)}(\mathbf{x}) = \frac{1}{2} (v^{(3)}(\mathbf{x}) + w^{(3)}(\mathbf{x}))$$

відповідно, при цьому $\|u^{(3)}\| = 0,10115$.

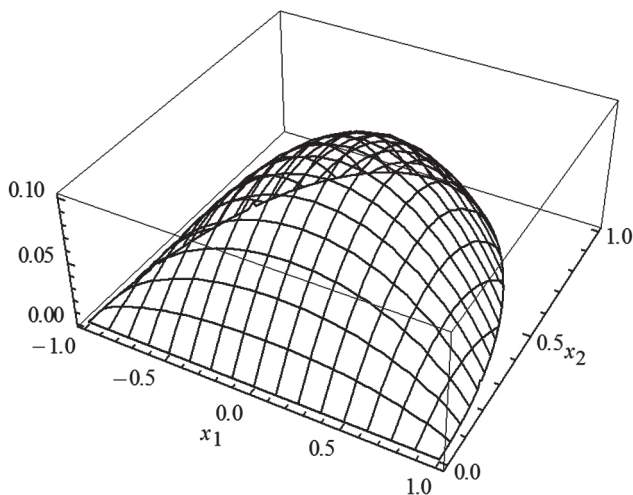


Рис. 3. Поверхня наближеного розв'язку $u^{(3)}(\mathbf{x})$

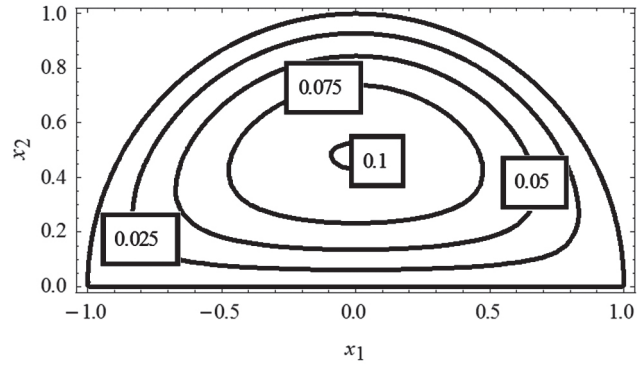


Рис. 4. Лінії рівня наближеного розв'язку $u^{(3)}(\mathbf{x})$

Висновки

В роботі отримали подальший розвиток дво-бічні ітераційні методи чисельного знаходження розв'язку нелінійної еліптичної крайової задачі в частині використання методу R -функцій для побудови обох кінців початкового сильно інваріантного конусного відрізка. Аналіз даних в таблицях 1 та 4 показує, що вдалий вибір конусного відрізка $\langle v_0, w_0 \rangle$ призводить до швидкої збіжності послідовних наближень. Результати роботи можуть бути використані у математичному моделюванні процесів у нелінійних середовищах.

Список літератури: 1. Pao C.V. Nonlinear parabolic and elliptic equations / C. V. Pao. – New York: Plenum Press, 1992. 2. Красносельский М.А. Положительные решения операторных уравнений / М.А. Красносельский. – М.: Физматгиз, 1962. – 394 с. 3. Опоицев В.И. Нелинейные операторы в пространствах с конусом / В.И. Опоицев, Т.А. Хуродзе. – Тбилиси: Изд-во Тбилис. ун-та, 1984. – 246 с. 4. Amann H. On the number of solutions of nonlinear equations in ordered Banach spaces / H. Amann // J. Funct. Anal. – 1972. – № 11. – Pp. 346-384. 5. Dalbono F. M. Nodal solutions for supercritical Laplace equations / F. Dalbono, M. Franca // Commun. Math. Phys. – 2016. – Vol. 347. – Pp. 875-901. 6. Afrouzi G. A Numerical Method for Finding Positive Solution of Dirichlet Problem with a Weight Function / G. A. Afrouzi, S. Mahdavi, Z. Naghizadeh // Journal of Information and Computing Science. – 2006. – Vol. 1. – № 3. – Pp. 168-172. 7. Chen G. Algorithms and visualization for solutions of nonlinear elliptic equations / G. Chen, J. Zhou, W.-M. Ni // Int. J. Bifurcation Chaos. – 2000. – Vol. 10. – № 7. – Pp. 1565-1612. 8. Колосов А.И. Конструктивное исследование краевых задач для нелинейных дифференциальных уравнений / А.И. Колосов, С.В. Колосова, М.В. Сидоров // Вісник Запорізького національного університету. Серія: фізико-математичні науки. – 2012. – № 2. – С. 50–57. 9. Колосова С.В. О построении итерационных методов решения краевых задач для нелинейных эллиптических уравнений / С.В. Колосова, В.С. Луханин, М.В. Сидоров // Вісник Запорізького національного університету. Серія: фізико-математичні науки. – 2013. – № 1. – С. 35–42. 10. Колосова С.В. Применение итерационных методов к решению эллиптических краевых задач с экспоненциальной нелинейностью / С.В. Колосова, М.В. Сидоров // Радиоэлектроника и информатика. – 2013. – № 3 (62). – С. 28–31. 11. Колосова С.В. О построении двусторонних приближений к положительному решению уравнения Лане-Эмдена / С.В. Колосова, В.С. Луханин, М.В. Сидор

ров // Вісник Запорізького національного університету. Серія: фізико-математичні науки. — 2015. — № 3. — С. 107–120. **12.** Guo D. Coupled fixed points of nonlinear operators with applications / D. Guo, V. Lakshmikantham // Nonlinear Analysis: Theory, Methods & Applications. — 1987. — Vol. 11. — № 5. — P. 623–632. **13.** Рвачев В.Л. Теория R-функций и некоторые её приложения / В.Л. Рвачев. — К.: Наук. думка, 1982. — 552 с.

Resume

M.V. Sidorov

APPLICATION OF CONSTRUCTIVE METHODS OF THE THEORY OF R-FUNCTIONS FOR CONSTRUCTION OF A CONE SEGMENT IN THE NUMERICAL REALIZATION OF TWO-SIDED ITERATIVE METHODS

Background: The Dirichlet problem for nonlinear equations of elliptic type is often a mathematical model of various stationary processes in nonlinear media. The construction of new numerical methods for solving such problems, as well as the improvement of existing ones, is an actual scientific problem.

Materials and methods: To obtain the results, we used the Green's functions method, the R-functions method of V.L. Rvachev, and also methods of the theory of non-linear operators in semi-ordered spaces.

Results: To find the positive solution of the homogeneous Dirichlet problem for a nonlinear elliptic equation on the basis of a transition to an equivalent nonlinear integral equation, an iterative method with a two-sided character of convergence is constructed by the Green's function method. To construct the initial cone segment, it is proposed to use the R-function method. The proposed method is illustrated by a computational experiment.

Conclusion: The iterative method of solving nonlinear boundary value problems proposed in the paper can be used in mathematical modeling of processes in nonlinear media, also it can be extended to boundary value problems for systems of nonlinear elliptic equations and elliptic equations of higher orders.

Надійшла до редколегії 19.09.2017

УДК 517.988 : 519.632

О.І. Заверуха¹, М.В. Сидоров², І.Г. Яловега³¹ Харківський національний університет радіоелектроніки,
м. Харків, Україна, olha.zaverukha@nure.ua;² Харківський національний університет радіоелектроніки,
м. Харків, Україна, maxim.sidorov@nure.ua³ Харківський національний педагогічний університет імені Г.С. Сковороди,
м. Харків, Україна, yalovegaira@gmail.com

ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ R-ФУНКЦІЙ В МАТЕМАТИЧНОМУ МОДЕЛЮВАННІ МАГНІТНИХ СИСТЕМ

В роботі розглядається задача математичного моделювання магнітної системи. Математичною моделлю розглядуваної системи є крайова задача для z -координати векторного потенціалу вектора магнітної індукції (задача магнітостатики). Використовуючи метод R -функцій, побудовано структуру розв'язку заданої крайової задачі, яка враховує умови спряження на межі контакту «ферромагнетик-вакуум». Для апроксимації невизначеної компоненти структури розв'язку пропонується використати проєкційний метод Гальоркіна. Наведено результати обчислювального експерименту для тестових значень параметрів моделі.

МАГНІТНА СИСТЕМА, ЗАДАЧА МАГНІТОСТАТИКИ, МЕТОД R-ФУНКЦІЙ, МЕТОД ГАЛЬОРКІНА

Заверуха О.І., Сидоров М.В., Яловега І.Г. Применение метода R-функций в математическом моделировании магнитных систем. В работе рассматривается задача математического моделирования магнитной системы. Математической моделью рассматриваемой системы является крайовая задача для z -координаты векторного потенциала вектора магнитной индукции (задача магнитостатики). Используя метод R -функций, строится структура решения поставленной крайовой задачи, учитывающая условия сопряжения на границе контакта «ферромагнетик-вакуум». Для аппроксимации неопределенной компоненты структуры решения предлагается использовать проекционный метод Галёркина. Приводятся результаты вычислительного эксперимента для тестовых значений параметров модели.

МАГНИТНАЯ СИСТЕМА, ЗАДАЧА МАГНИТОСТАТИКИ, МЕТОД R-ФУНКЦИЙ, МЕТОД ГАЛЁРКИНА

Zaverukha O.I., Sidorov M.V., Yalovega I.G. Application of R-functions method in mathematical modeling of magnetic systems. The work is representing mathematical modeling tasks of a magnetic system. The boundary value problem for the z -coordinate of the vector potential of the magnetic induction vector (magnetostatic problem) is the mathematical model of the system which we consider in the work process. We are use the R -function method, which constructed the structure of the solution of the boundary value problem which takes into account the conjugation conditions on the “ferromagnetic-vacuum” contact boundary. To approximate the uncertain component of the structure of the solution, it is proposed to use the projection Galerkin method. The results of the computational experiment for the test values of the model parameters are presented.

MAGNETIC SYSTEM, THE TASK OF MAGNITOSTATICS, R-FUNCTIONS METHOD, GALERKIN METHOD

Вступ

Магнітні системи поширені у природі та техніці – це атоми у кристалічній решітці ферромагнетиків, магніти прискорювачів, системи стабілізації штучних супутників тощо. Через високу ціну натурного дослідження таких систем у останні десятиріччя на перший план вийшли математичне моделювання та чисельний аналіз за допомогою ЕОМ. Зазвичай для чисельного аналізу магнітних систем використовують методи скінченних різниць, скінченних елементів, граничних інтегральних елементів тощо. Кожен з цих методів має свої переваги та недоліки [1]. Основним недоліком зазначених методів є те, що при переході до нової області потрібно наново генерувати та підстроювати під особливості області розрахункову сітку. Альтернативою існуючим методам чисельного розрахунку магнітних

систем є використання структурно-варіаційного метода R -функцій, запропонованого академіком Національної академії наук України В.Л. Рвачовим [5, 6, 8]. При розв'язанні задач математичної фізики метод R -функцій дозволяє будувати так звані структури розв'язку крайових задач – жмутки функцій, які точно задовольняють крайові умови задачі. При цьому геометрія області враховується точно.

Отже, вдосконалення існуючих методів чисельного аналізу магнітних систем, використовуючи для цього метод R -функцій, є актуальною науковою задачею.

Метою роботи є застосування методу R -функцій до задачі чисельного аналізу тестової магнітної системи.

Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати такі задачі:

- розглянути постановку крайової задачі для потенціалу магнітного поля;
- з використанням методів теорії R-функцій розробити метод розв’язання розглядуваної задачі;
- провести обчислювальні експерименти для тестових значень параметрів моделі і проаналізувати результати.

Дана робота продовжує дослідження, розпочаті у [10].

1. Постановка задачі

Розглянемо магнітну систему (рис. 1), яка складається з феромагнетика Ω_f і вакууму Ω_v із замкнутими струмовими обмотками Ω_c . Постановка задачі магнітостатики полягає в тому, що треба знайти розподіл магнітного поля, яке створене стаціонарними струмами і намагніченістю ізотропних феромагнетиків [2, 3]. вважатимемо, що продовжний розріз магніту суттєво більше повздовжнього. Тоді векторний потенціал вектора магнітної індукції матиме лише одну ненульову координату $u = u(x, y)$ і від системи рівнянь Максвелла для стаціонарного магнітного поля можна перейти до скалярного рівняння

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{1}{\mu} \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{1}{\mu} \frac{\partial u}{\partial y} \right) = -\mu_0 J_z(x, y), \quad (x, y) \in \mathbb{R}^2. \quad (1)$$

Тут μ – функція магнітної проникності феромагнетика, яка є відомою у Ω_f нелінійною функцією від вектора напруженості магнітного поля (для немагнітного середовища $\mu=1$), μ_0 – магнітна проникність вакууму, $J_z(x, y)$ – z-я компонента вектора об’ємної щільності струму, що відрізняється від нуля лише у Ω_c і задовольняє умову $\iint_{\Omega_c} J_z(x, y) dx dy = 0$,

$$u(x, y) = \begin{cases} u_f(x, y), & (x, y) \in \Omega_f, \\ u_v(x, y), & (x, y) \in \Omega_v. \end{cases}$$

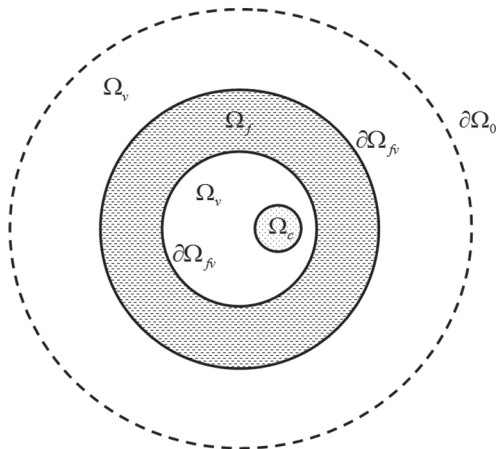


Рис. 1. Умовна схема магнітної системи

Рівняння (1) слід доповнити умовами спряження на межі $\partial\Omega_f$ розділу феромагнетика та вакууму

$$u_f|_{\partial\Omega_f} = u_v|_{\partial\Omega_f}, \quad \frac{1}{\mu} \frac{\partial u_f}{\partial \mathbf{n}}|_{\partial\Omega_f} = \frac{\partial u_v}{\partial \mathbf{n}}|_{\partial\Omega_f}, \quad (2)$$

де \mathbf{n} – одиничний вектор нормалі до $\partial\Omega_f$, та умовою на нескінченності:

$$\lim_{x^2+y^2 \rightarrow +\infty} u = 0. \quad (3)$$

2. Загальні положення метода R-функцій

Математичною моделлю фізико-механічного поля зазвичай є розглядуване в деякій області Ω операторне рівняння

$$Au = f$$

з заданими крайовими умовами на межі $\partial\Omega$ області Ω . Тут u – деяка характеристика поля (температура, функція течії, зміщення від положення рівноваги тощо). Аналітичними компонентами крайової задачі є наведені в постановці функції і оператори, а область Ω та її межа $\partial\Omega$ – є геометричними компонентами. Через існування двох різнорідних видів інформації (аналітичної і геометричної) при знаходженні розв’язку крайової задачі виникають серйозні перешкоди, пов’язані з тим, що необхідно не тільки врахувати вигляд формул, що входять до постановки задачі, а й мати засоби зводити геометричну інформацію до аналітичного вигляду, щоб її можна було включити до розрахункового алгоритму. Провести цю процедуру і дозволяє метод R-функцій.

Метод R-функцій було запропоновано академіком НАН України В.Л. Рвачевим [8]. При знаходженні розв’язку крайових задач математичної фізики метод R-функцій пропонує побудувати так звану структуру розв’язку крайової задачі, тобто жмуток функцій, який точно задовольняє всім крайовим умовам задачі і залежить від деяких невідомих компонент. Зазначені невідомі компоненти далі обирають так, щоб у деякому сенсі задовольнити рівняння задачі. Для цього можна використовувати проєкційні чи варіаційні методи (метод Рітца, метод Гальоркіна, метод найменших квадратів, колокацій тощо). Зазначимо, що при цьому геометрія області враховується точно.

Застосування методу R-функцій в задачах чисельного аналізу фізико-механічних полів складається з наступних етапів:

- точний аналітичний опис геометрії розрахункової області, тобто побудова такої функції, яка б дорівнювала нулеві на межі, була б додатною всередині області і нормальна похідна (в напрямку зовнішньої нормалі) від якої на межі б дорівнювала -1 ;
- продовження крайових умов всередину області, тобто до визначення функцій і операторів, заданих на межі, у внутрішніх точках області;
- побудова загальної структури розв’язку, тобто такої формули, яка залежить від деяких невизначених функцій і при будь-якому їх виборі точно задовольняє всі крайові умови задачі;
- побудова наближеного розв’язку, тобто апроксимація невизначених функцій, що входять до структури розв’язку, одним із чисельних методів.

Розглянемо загальні положення теорії метода R -функцій [5, 6, 8].

Означення. R -функцією (функцією В.Л. Рвачева), що відповідає розбиттю числової осі на проміжки $(-\infty, 0)$ та $[0, +\infty)$, називається така функція, знак якої цілком визначається знаками її аргументів, тобто функція $z = f(x, y)$ називається R -функцією, якщо існує така булева функція F , що

$$S[z(x, y)] = F[S(x), S(y)],$$

де двозначний предикат

$$S(x) = \begin{cases} 0, & x < 0, \\ 1, & x \geq 0. \end{cases}$$

В цьому випадку булева функція F називається супроводжуючою.

Найбільш уживаною системою R -функцій є система \mathcal{R}_0 :

$$\begin{aligned} \bar{x} &\equiv -x, \\ x \wedge_0 y &\equiv x + y - \sqrt{x^2 + y^2}, \\ x \vee_0 y &\equiv x + y + \sqrt{x^2 + y^2}. \end{aligned}$$

Супроводжуваними булевими функціями для них є відповідно \neg, \wedge, \vee .

Сформулюємо обернену задачу аналітичної геометрії. Нехай в \mathbb{R}^2 заданий геометричний об'єкт Ω з кусково-гладкою межею $\partial\Omega$ і треба побудувати функцію $\omega(x, y)$, яка є додатною всередині Ω , від'ємною поза межами Ω і дорівнює нулю на $\partial\Omega$. Отже, рівняння $\omega(x, y) = 0$ буде в неявній формі визначати геометричне місце точок, яке відповідає межі $\partial\Omega$ області Ω .

Припустимо, що область Ω можна побудувати з більш простих областей

$$\Omega_1 = \{\omega_1(x, y) \geq 0\}, \dots, \Omega_m = \{\omega_m(x, y) \geq 0\},$$

де $\omega_i(x, y)$ – елементарні функції, $i = 1, 2, \dots, m$, за допомогою теоретико-множинних операцій об'єднання \cup , перетину \cap та доповнення \neg . Тоді області Ω можна поставити у відповідність предикат

$$\Omega = F(\Omega_1, \Omega_2, \dots, \Omega_m),$$

який приймає значення 1, якщо $(x, y) \in \Omega \cup \partial\Omega$, і 0, якщо $(x, y) \notin \Omega \cup \partial\Omega$.

Перехід від предикатної форми задання області до звичайної, яка прийнята в аналітичній геометрії, відбувається за допомогою формальної заміни Ω на $\omega(x, y)$, Ω_i на $\omega_i(x, y)$, $i = 1, 2, \dots, m$, а символів $\{\cap, \cup, \neg\}$ – на символи R -операцій $\{\wedge_0, \vee_0, \neg\}$ відповідно. В результаті отримаємо єдиний аналітичний вираз $\omega(x, y)$, який визначає в елементарних функціях шукане рівняння $\omega(x, y) = 0$ межі $\partial\Omega$. При цьому для внутрішніх точок області буде виконуватися нерівність $\omega(x, y) > 0$, а для зовнішніх – $\omega(x, y) < 0$.

Означення. Рівняння $\omega(x, y) = 0$ межі $\partial\Omega$ області $\Omega \subset \mathbb{R}^2$ називається нормалізованим на межі $\partial\Omega$, якщо функція $\omega(x, y)$ задовольняє умовам

$$\omega|_{\partial\Omega} = 0, \quad \frac{\partial\omega}{\partial\mathbf{n}}|_{\partial\Omega} = -1,$$

де \mathbf{n} – вектор зовнішньої нормалі до $\partial\Omega$, визначений в її регулярних точках.

Якщо $|\nabla\omega_1| \neq 0$ в $\Omega \cup \partial\Omega$, то для побудови нормалізованого рівняння $\partial\Omega$ можна скористатися формулою

$$\omega \equiv \frac{\omega_1}{|\nabla\omega_1|}.$$

Крім того, в деяких випадках, для нормалізації рівняння можна лише ввести сталі множники.

Для продовження крайових умов всередину області використовуються два основних підходи [8].

Нехай в точках $\partial\Omega$ функція φ_0 задана у вигляді

$$\varphi_0(s) = \begin{cases} \varphi_{0,1}(s), & s \in \partial\Omega_1, \\ \dots & \dots \\ \varphi_{0,n}(s), & s \in \partial\Omega_n, \end{cases}$$

де ділянки межі $\partial\Omega_1, \dots, \partial\Omega_n$ попарно різні, не мають спільних внутрішніх точок і $\partial\Omega = \partial\Omega_1 \cup \dots \cup \partial\Omega_n$.

Нехай далі $\varphi_i(x, y)$, $i = 1, \dots, n$, такі, що $\varphi_i|_{\partial\Omega_i} = \varphi_{0,i}$, а $\omega_i(x, y)$, $i = 1, \dots, n$, такі, що $\omega_i(x, y) = 0$ на $\partial\Omega_i$ і $\omega_i(x, y) > 0$ в $\bar{\Omega} \setminus \partial\Omega_i$. Тоді функція

$$\varphi = \frac{\frac{\varphi_1}{\omega_1} + \dots + \frac{\varphi_n}{\omega_n}}{\frac{1}{\omega_1} + \dots + \frac{1}{\omega_n}} = \frac{\sum_{i=1}^n \varphi_i \prod_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n \omega_j}{\sum_{i=1}^n \prod_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n \omega_j}$$

має властивість

$$\varphi|_{\partial\Omega} = \varphi_0.$$

Цю формулу називають формулою «склейки» і позначають $\varphi = EC\varphi_0$, де EC називають оператором склеювання межових значень.

Другий підхід пов'язаний з продовженням диференціальних операторів, які задані на $\partial\Omega$, в середину області Ω . Нехай $\omega = 0$ – нормалізоване рівняння межі $\partial\Omega$ області Ω . Тоді оператор D_1 , який діє за правилом

$$D_1 u \equiv (\nabla\omega, \nabla u) = \frac{\partial\omega}{\partial x} \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial\omega}{\partial y} \frac{\partial u}{\partial y},$$

в регулярних точках $\partial\Omega$ задовольняє рівність

$$-D_1 u|_{\partial\Omega} = \frac{\partial u}{\partial \mathbf{n}},$$

де \mathbf{n} – зовнішня до $\partial\Omega$ нормаль.

Зазначимо, що вираз $D_1 u$ має сенс всюди в $\bar{\Omega}$ і за допомогою оператора D_1 можна будувати жмутки функцій, нормальна похідна яких, або довільна лінійна комбінація нормальної похідної і самої функції на межі області приймає задані значення.

Означення. Загальною структурою розв'язку крайової задачі називається вираз

$$u = B(\Phi, \omega, \{\omega_i\}_{i=1}^m, \{\varphi_j\}_{j=1}^m),$$

який при довільному виборі компонент вектора Φ точно задовольняє усі крайові умови задачі. Тут

B – оператор, що залежить від геометрії області Ω і ділянок $\partial\Omega_i$ її межі, а також операторів крайових умов, але не залежний від вигляду оператора A і функції f .

Отже, структура розв'язку здійснює продовження крайових умов всередину області.

Наприклад, крайовій умові

$$u|_{\partial\Omega} = \varphi_0(s), \quad s \in \partial\Omega,$$

задовольняє жмуток функцій

$$u = \varphi + \omega\Phi,$$

де $\varphi = EC\varphi_0$, $\omega = 0$ – нормалізоване рівняння $\partial\Omega$.

Майже усі наближені методи розв'язання крайових задач для рівнянь у частинних похідних базуються на зведенні нескінченновимірної задачі до скінченновимірної. В методі R-функцій це досягається шляхом подання невизначеної компоненти Φ структури розв'язку у вигляді суми

$$\Phi(x, y) \approx \Phi_n(x, y) = \sum_{k=1}^n c_k \varphi_k(x, y),$$

де $\varphi_k(x, y)$ – відомі елементи повної функціональної послідовності, c_k , $k = 1, 2, \dots, n$, – невідомі коефіцієнти.

Невідомі коефіцієнти c_k , $k = 1, 2, \dots, n$, обираються так, щоб найкраще (у деякому сенсі) задовольнити рівняння крайової задачі.

2. Побудова структури розв'язку

Умову на нескінченності (3) замінимо умовою

$$u|_{\partial\Omega_0} = 0, \quad (4)$$

де контур $\partial\Omega_0$ знаходиться на достатньо великій відстані від Ω_f (рис. 1). Наприклад, можна взяти за $\partial\Omega_0$ коло $x^2 + y^2 = R_0^2$ досить великого радіуса R_0 .

Через Ω_0 позначимо розрахункову область задачі (1), (2), (4).

Нехай функція $\omega_0(x, y)$ така, що

- 1) $\omega_0(x, y) > 0$ у Ω_0 ;
- 2) $\omega_0(x, y) = 0$ на $\partial\Omega_0$.

Функція $\omega_0(x, y)$ з вказаними властивостями можна побудувати у вигляді єдиного аналітичного виразу за допомогою конструктивного апарата теорії R-функцій [8].

Тоді умову (4) за будь-якого вибору невизначеної компоненти Φ задовольнятиме жмуток функцій [4, 8]

$$u(x, y) = \omega_0\Phi.$$

Для того, щоб задовольнити умовам спряження (2), скористаємося підходом з [9]. Функцію $u(x, y)$ шукатимемо у вигляді

$$u(x, y) = \begin{cases} u_f(x, y), & (x, y) \in \Omega_f, \\ u_v(x, y), & (x, y) \in \Omega_v, \end{cases} = \begin{cases} \omega_0\Phi - A\omega_{f\nu}D_1^{f\nu}(\omega_0\Phi), & (x, y) \in \Omega_f, \\ \omega_0\Phi, & (x, y) \in \Omega_v. \end{cases} \quad (5)$$

де $\omega_{f\nu} = 0$ – нормалізоване рівняння межі $\partial\Omega_{f\nu}$,

причому $\omega_{f\nu} > 0$ у Ω_f , а оператор $D_1^{f\nu}$ визначається рівністю

$$D_1^{f\nu} = \frac{\partial\omega_{f\nu}}{\partial x} \frac{\partial}{\partial x} + \frac{\partial\omega_{f\nu}}{\partial y} \frac{\partial}{\partial y}.$$

Оператор $D_1^{f\nu}$ має властивість

$$D_1^{f\nu} u|_{\partial\Omega_{f\nu}} = \frac{\partial u}{\partial \mathbf{n}}|_{\partial\Omega_{f\nu}},$$

де \mathbf{n} – одинична нормаль до $\partial\Omega_{f\nu}$, яка направлена в середину Ω_f . Тоді

$$D_1^{f\nu} \omega_{f\nu}|_{\partial\Omega_{f\nu}} = \frac{\partial\omega_{f\nu}}{\partial \mathbf{n}}|_{\partial\Omega_{f\nu}} = 1.$$

Неважко помітити, що функція вигляду (5) за будь-якого значення сталої A задовольняє на $\partial\Omega_{f\nu}$ першому з умов спряження (2). Отже, число A обемо так, щоб задовольнити другому з умов спряження (2). Отримаємо:

$$\begin{aligned} \frac{1}{\mu} \frac{\partial u_f}{\partial \mathbf{n}}|_{\partial\Omega_{f\nu}} &= \frac{1}{\mu} D_1^{f\nu} u_f|_{\partial\Omega_{f\nu}} = \\ &= \frac{1}{\mu} D_1^{f\nu} [\omega_0\Phi - A\omega_{f\nu}D_1^{f\nu}(\omega_0\Phi)]|_{\partial\Omega_{f\nu}} = \\ &= \frac{1}{\mu} \{D_1^{f\nu}(\omega_0\Phi) - AD_1^{f\nu}\omega_{f\nu} \cdot D_1^{f\nu}(\omega_0\Phi) - \end{aligned}$$

$$-\omega_{f\nu}D_1^{f\nu}[AD_1^{f\nu}(\omega_0\Phi)]\}|_{\partial\Omega_{f\nu}} = \frac{1}{\mu}(1-A)D_1^{f\nu}(\omega_0\Phi)|_{\partial\Omega_{f\nu}},$$

$$\frac{\partial u_v}{\partial \mathbf{n}}|_{\partial\Omega_{f\nu}} = D_1^{f\nu} u_v|_{\partial\Omega_{f\nu}} = D_1^{f\nu}(\omega_0\Phi)|_{\partial\Omega_{f\nu}}.$$

Тоді друге з умов спряження (2) буде виконане, якщо

$$\frac{1}{\mu}(1-A) = 1,$$

тобто

$$A = 1 - \mu.$$

Отже, структура розв'язку задачі (1), (2), (4) має вигляд

$$u(x, y) = \begin{cases} \omega_0\Phi - (1-\mu)\omega_{f\nu}D_1^{f\nu}(\omega_0\Phi), & (x, y) \in \Omega_f, \\ \omega_0\Phi, & (x, y) \in \Omega_v. \end{cases} \quad (6)$$

3. Побудова наближеного розв'язку

Для побудови наближеного розв'язку задачі (1) – (3) невизначену компоненту Φ у структурі (6) апроксимуємо виразом вигляду

$$\Phi_n = \sum_{i=1}^n c_i \tau_i, \quad (7)$$

де $\{\tau_i\}$ – повна у $L_2(\Omega_0)$ система функцій (тригонометричні або степеневі поліноми, сплайни тощо), c_1, \dots, c_n – невизначені коефіцієнти.

Після підстановки (7) у (6) отримаємо що наближений розв'язок (1) – (3) шукається у вигляді

$$u_n(x, y) = \sum_{i=1}^n c_i \Phi_i, \quad (8)$$

де

$$\varphi_i = \begin{cases} \omega_0 \tau_i - (1-\mu)\omega_{fv} D_1^{fv}(\omega_0 \tau_i), & (x,y) \in \Omega_f, \\ \omega_0 \tau_i, & (x,y) \in \Omega_v. \end{cases}$$

Для знаходження коефіцієнтів c_1, \dots, c_n далі можна скористатися будь-яким варіаційним або проєкційним методом. Так, наприклад, відповідно до методу Гальоркіна, коефіцієнти c_1, \dots, c_n знайдемо з умови ортогональності відхилю, що отримується підстановкою (8) у (1), функціям $\varphi_1, \dots, \varphi_n$ [7]. Це призводить до системи лінійних алгебраїчних рівнянь

$$\sum_{i=1}^n a_{ij} c_i = b_j, \quad j=1, \dots, n,$$

де

$$a_{ij} = \iint_{\Omega_0} \left[\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{1}{\mu} \frac{\partial \varphi_i}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{1}{\mu} \frac{\partial \varphi_i}{\partial y} \right) \right] \varphi_j dx dy, \quad i, j=1, \dots, n,$$

$$b_j = -\mu_0 \iint_{\Omega_c} J_z(x,y) \varphi_j dx dy, \quad j=1, \dots, n.$$

В модельному випадку, коли за Ω_0 обрано коло радіуса R_0 і феромагнетик також обмежений колами радіусів r і R ($r > R$), функції ω_0 і ω_{fv} можна взяти у виді

$$\omega_0(x,y) = R_0^2 - x^2 - y^2,$$

$$\omega_{fv}(x,y) = \left[\frac{1}{2r}(x^2 + y^2 - r^2) \right] \wedge_0 \left[\frac{1}{2R}(R^2 - x^2 - y^2) \right],$$

де \wedge_0 – знак R_0 -кон'юнкції [8]:

$$g_1 \wedge_0 g_2 \equiv g_1 + g_2 - \sqrt{g_1^2 + g_2^2}.$$

4. Результати обчислювального експерименту

Обчислювальний експеримент було проведено для значень

$$R_0 = 20 \text{ м}, \quad R = 10 \text{ м}, \quad r = 3 \text{ м},$$

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м}, \quad \mu = 700 \text{ Гн/м},$$

Ω_c описується нерівністю $1 - (x-1)^2 - y^2 > 0$,

$$J_z(x,y) = 10^8 y(1 - (x-1)^2 - y^2) \text{ А/м}^2.$$

За систему функцій $\{\tau_i\}$ при реалізації метода Гальоркіна було обрано систему гармонічних поліномів.

На рис. 2, 3 наведено отримані поверхні компонент

$$B_x = \frac{\partial u}{\partial y}, \quad B_y = -\frac{\partial u}{\partial x}$$

вектора магнітної індукції.

Отримані результати якісно добре погоджуються з фізикою процесу [1 – 3].

Висновки

В роботі для чисельного аналізу магнітної системи, яка моделює роботу прискорювача, вперше застосовано структурний метод R -функцій. Це дозволило побудувати чисельний метод, який точно

враховує всю геометричну та аналітичну інформацію, що входять до постановки задачі, і дозволяє отримати наближений розв'язок у аналітичному вигляді, що спрощує його подальше використання для знаходження різних характеристик магнітної системи.

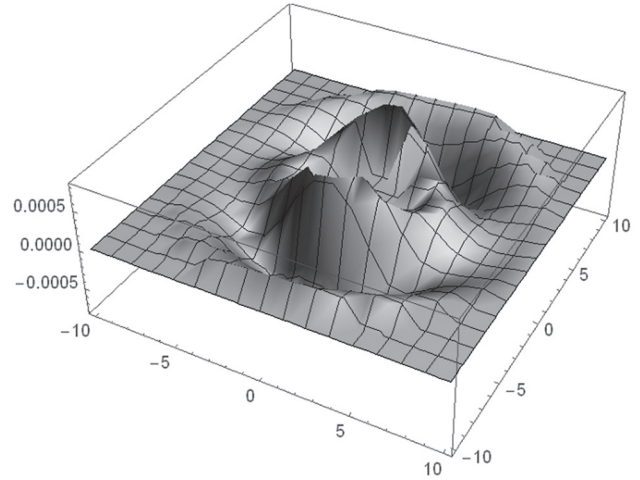


Рис. 2. Поверхня B_x

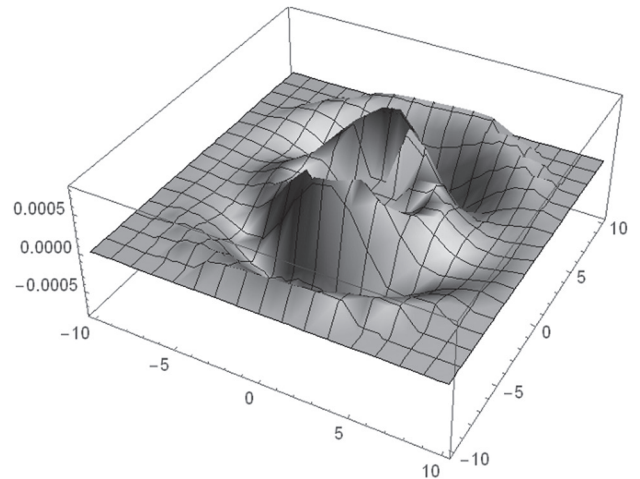


Рис. 3. Поверхня B_y

Список літератури: 1. Айрян Э.А., Жидков Е.П., Федоров А.В., Хоромский Б.Н., Шелаев И.А., Юдин И.П., Юлдашев О.И. Численные алгоритмы расчета магнитных систем ускорителей заряженных частиц // Физика элементарных частиц и атомного ядра. – 1990. – Т. 21. – Вып. 1. – С. 251–307. 2. Балдин А.А., Волошина И.Г., Перепелкин Е.Е., Полякова Р.В., Российская Н.С., Шаврина Т.В., Юдин И.П. Численное моделирование распределения поля магнита СП-40 установки «МАРУСЯ» и сравнение результатов с экспериментальными данными // Журнал технической физики. – 2007. – Т. 77. – № 11. – С. 7–16. 3. Жидков Е.П., Волошина И.Г., Полякова Р.В., Перепелкин Е.Е., Российская Н.С., Шаврина Т.В., Юдин И.П. Компьютерное моделирование магнитных систем некоторых физических установок // Компьютерные исследования и моделирование. – 2009. – Т. 1. – № 2. – С. 189–198. 4. Канторович Л.В., Акилов Г.П. Функциональный анализ. – СПб.: БХВ-Петербург, Невский Диалект, 2004. – 816 с. 5. Кравченко В.Ф., Рвачев В.Л.

Алгебра логики, атомарные функции и вейвлеты в физических приложениях. — М.: Физматлит, 2006. — 416 с.
6. Максименко-Шейко К.В. R-функции в математическом моделировании геометрических объектов и физических полей. — Х.: ИПМАН НАН Украины, 2009. — 306 с.
7. Михлин С.Г. Вариационные методы в математической физике. — М.: Наука, 1970. — 512 с.
8. Рвачев В.Л. Теория R-функций и некоторые ее приложения. — К.: Наук. думка, 1982. — 552 с.
9. Темников А.В., Слесаренко А.П. Современные приближенные аналитические методы решения задач теплообмена. — Самара: Изд-во Самар. политехн. ин-та, 1991. — 92 с.
10. O.I. Zaverukha, M.V. Sidorov, “Use of Structural-Variational Method of R-functions in Mathematical Modeling of Magnetic Systems”, in Proc. 25th Russian Particle Accelerator Conf. (RuPAC’16), St. Petersburg, Russia, Nov. 2016, paper THPSC002, pp. 538-540, ISBN: 978-3-95450-181-6, doi:10.18429/JACoW-RuPAC2016-THPSC002.

Resume

**O.I. Zaverukha, M.V. Sidorov, I.G. Yalovega
 APPLICATION OF R-FUNCTIONS METHOD
 IN MATHEMATICAL MODELING OF
 MAGNETIC SYSTEMS**

Background: Magnetic systems are widespread in nature and technology. Because of the high cost of full-scale research of magnetic systems in recent decades, their mathematical modeling has come to the forefront. The construction of new

methods for the numerical analysis magnetic system models, as well as the improvement of existing ones, is an urgent scientific task.

Materials and methods: Structural method of R-functions was proposed by Rvachev V.L., academician of National Academy of Sciences of Ukraine and the projection Galerkin method, were used to obtain results.

Results: For the numerical solution of the boundary value problem, which serves as a mathematical model of the magnetic system was applied the structural-projection method. A structure is constructed for the solution of the boundary value problem, which accurately takes into account the conjugation conditions on the “ferromagnet-vacuum” boundary and describes an algorithm for approximating an undefined structure component by the projection Galerkin method. The proposed method is illustrated by a computational experiment.

Conclusion: The method of numerical analysis of magnetic systems which was proposed in the paper accurately takes into account all the geometric and analytical information included in the statement of the boundary value problem, which is a mathematical model of the system. In addition, the developed method makes it possible to find a numerical solution in an analytical form, which simplifies its further usage for finding various characteristics of the magnetic system.

Надійшла до редколегії 22.09.2017

УДК 519.6



О.М. Литвин, В.О. Пасічник, О.В. Славик

Українська Інженерно-Педагогічна Академія,
м. Харків, Україна, academ_mail@ukr.netХарківська Державна Академія Дизайну і Мистецтв,
м. Харків, Україна, pasechnik.va@gmail.comУкраїнська Інженерно-Педагогічна Академія,
м. Харків, Україна, aleksey.slavik92@gmail.com

ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ ІНТЕРСТРІПАЦІЇ ДЛЯ РЕСТАВРАЦІЇ ПОШКОДЖЕНИХ ЗОБРАЖЕНЬ

Задача відновлення зображення в зонах відсутності попиксельної інформації є вкрай важливою. Такі задачі виникають в машинобудуванні, сейсмографії, обробці даних дистанційного зондування Землі і т.д. На даний момент у світі існує цілий ряд методів відновлення пошкоджених зображень. Алгоритми відновлення зображень можна умовно розділити на такі класи: текстурні, шаблонні, основані на рівняннях із частинними похідними, гібридні та швидкі напівавтоматичні. В роботі також наведено метод інтерстріпації функції двох змінних, запропонований в роботах О.М. Литвина та С.Ю. Матвєєвої. Згідно цього методу можна відновлювати зображення, якщо інформація задана на системі смуг, границі яких паралельні осям координат, що досить сильно звужує область його практичного застосування. В роботі запропоновано узагальнений метод інтерстріпації для відновлення зображення поверхні за неповною інформацією про неї у випадку якщо відома інформація задана на системі довільно розташованих смуг із криволінійними границями.

ЗОБРАЖЕННЯ, ВІДНОВЛЕННЯ ЗОБРАЖЕНЬ, ІНТЕРСТРІПАЦІЯ, ДВОВИМІНИЙ СИГНАЛ

Литвин О.Н., Пасечник В.А., Славик А.В. Применение метода интерстрипации для реставрации поврежденных изображений. Задача восстановления изображений в зонах отсутствия попиксельной информации является крайне важной. Такие задачи возникают в машиностроении, сейсмографии, обработке данных дистанционного зондирования Земли и т.д. На данный момент в мире существует целый ряд методов восстановления поврежденных изображений. Алгоритмы восстановления изображений можно условно разделить на следующие классы: текстурные, шаблонные, основанные на уравнениях с частными производными, гибридные и быстрые полуавтоматические. В работе также приведен метод интерстрипации функции двух переменных, предложенный в работах О.Н. Литвина и С.Ю. Матвеевой. Согласно этому методу можно восстанавливать изображения, если информация задана на системе полос, границы которых параллельны осям координат, достаточно сильно сужает область его практического применения. В работе предложен обобщенный метод интерстрипации для восстановления изображения поверхности с неполной информацией о ней в случае если информация задана на системе произвольно расположенных полос с криволинейными границами.

ИЗОБРАЖЕНИЕ, ВОССТАНОВЛЕНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЙ, ИНТЕРСТРИПАЦИЯ, ДВУМЕРНЫЙ СИГНАЛ

Lytvyn O.M., Pasichnik V.O., Slavik O.V. Application of the method of interstripation for the restoration of damaged images. The task of restoring an image in areas where there is no pixel information is extremely important. Such problems arise in machine building, seismography, data processing of remote sensing of the Earth, etc. At now in the world there are a number of methods for repairing damaged images. Image restoration algorithms can be conventionally divided into the following classes: textural, exemplar-based, based on PDE, hybrid and fast semiautomatic. The paper also describes the method for the interpolation of the function of two variables, proposed in the works of O.M. Lytvyn and S.Yu. Matveeva. According to this method, it is possible to restore an image if the information is given on a system of strips whose borders are parallel to the axes of coordinates, which rather narrow the area of its practical application. In the paper a generalized method of interpolation for the restoration of a surface image by incomplete information about it is proposed in the case if the known information is given on the system of arbitrarily spaced strips with curvilinear boundaries.

IMAGE, INPAINTING, INTERSTRIPATION, TWO-DIMENSIONAL SIGNAL

Вступ

В попередніх роботах авторів досліджувалися оператори інтерстріпації (від англ. *inter* – між, від англ. *stripe* – смуга) функцій двох змінних тобто відновлення цієї функції між системою смуг, якщо інформація про цю функцію відома лише в точках вказаних смуг.

Дана робота присвячена практичному використанню операторів інтерстріпації для відновлення

пошкоджених файлів, які містять графічну інформацію. Наприклад, в процесі передачі по мережі файли можуть бути пошкоджені в результаті помилок при передачі даних або перенавантаженню мережі. Оцінка справжніх значень втрачених пікселів необхідна в більшості задач цифрової обробки зображень або, наприклад, в задачах оборки архівних документів у вигляді зображень, що мають різноманітні спотворення (подряпини, плями,

пил, непотрібні написи, лінії згину тощо). Тому актуальною є розробка методів для відновлення зображення в тих його частинах, де інформація з тих чи інших причин відсутня або якщо вона відома неповністю.

Аналіз літературних джерел. Розглянемо задачу відновлення пошкоджених областей зображення, використовуючи інформацію на відомих ділянках зображення. Позначимо множину пікселів в невідомій області через \bar{G} , а множину коректних пікселів через G .

Більшість методів відновлення зображень можна умовно поділити на наступні групи [1]: текстурні, шаблонні, основані на рівняннях в частинних похідних, гібридні та швидкі напіваавтоматичні.

Текстурні методи відновлення зображень. Методи даної групи для заповнення невідомої області \bar{G} безпосередньо використовують пікселі з відомої області зображення G [1]. Головна відмінність між цими алгоритмами полягає в забезпеченні неперервності на границі області ∂G . Так, наприклад, у [2] використовуються Марковські випадкові поля (Markov Random Field (MRF)) для моделювання локального розподілу невідомих пікселів і для знаходження невідомих значень шукається подібна область із G , а в роботі [3] запропоновано алгоритм «зшивання» невеликих ділянок зображення (image guilting). В роботі [4] наведено алгоритм параметричного синтезу текстур, який здатен синтезувати текстуру, враховуючи цільову текстуру. В роботі [5] запропоновано метод текстурного синтезу, який може генерувати текстуру за різних умов яскравості. В роботі [6] авторами наведено алгоритм відновлення зображення на основі аналізу та синтезу текстур, згідно якого зображення спочатку аналізується методом аналізу головних компонент (Principal Component Analysis (PCA)), а потім методом векторного квантування (Vector Quantization (VQ)) в області \bar{G} знаходяться невідомі значення. Запропоновані методи текстурного відновлення зображення відрізняються способом відновлення різних кольорів, інтенсивності, градієнта та навіть статистичних характеристик.

Шаблонні методи відновлення зображень. Основна ідея роботи алгоритмів цього класу заснована на припущенні про наявність повторюваних фрагментів даних на зображенні, які зазвичай називаються шаблонами. Відновлення області \bar{G} проводиться частинами шляхом копіювання значень яскравості з найбільш схожого шаблону. В роботі [7] запропоновано алгоритм заповнення невідомої області найбільш схожими фрагментами із відомої області G . Розмір фрагменту може змінюватися в залежності від характеристик зображення. В роботі [8] було запропоновано ітераційний алгоритм для заповнення області G , який апроксимує невідоме зображення в області \bar{G} та компонує фрагменти зображення. Особливо виділяється робота [9], де на відміну від всіх вищеописаних робіт,

для заповнення пошкодженої області використовується база даних зображень, яка містить мільйони зображень-шаблонів для відновлення.

Методи відновлення зображень, основані на рівняннях з частинними похідними. Метод вперше було запропоновано в роботі [10]. Запозичуючи в значній мірі ідею ручного малювання, ітераційний процес розширює лінійні структури (розриви) області G , що називаються ізофотами (Isophotes), в невідому область \bar{G} . Тобто відновлення даних області \bar{G} проводиться за допомогою даних, що є природним продовженням інформації, яка міститься в G . Цей підхід став основою для наступних робіт. Так, наприклад, в роботі [11] було запропоновано алгоритм Total Variational (TV), який використовує рівняння Ейлера-Лагранжа та анізотропну дифузію. Модель відновлення TV була розширена до Curvature Driven Diffusion (CDD) [12], яка включала інформацію про кривизну ізофот, що дозволяло краще відновлювати криволінійні структури. Автори роботи [13] запропонували інший підхід, оснований на PDE, – алгоритм анізотропної вектор-регуляризації.

Гібридні методи відновлення зображень. Як втілює із назви, методи цього класу являють собою поєднання двох класів методів. А саме текстурних методів та методів, основаних на використанні диференціальних рівнянь з частинними похідними. Основна ідея алгоритму полягає в тому, що перш за все виділяють текстурну та структурну складову зображення, які потім заповнюються відповідними алгоритмами [14-16].

Швидкі напіваавтоматичні методи відновлення зображення. Недоліком більшості представлених вище методів є їх висока обчислювальна складність, тому в деяких працях застосовують алгоритми для прискорення обчислень. В роботі [17] було наведено метод відновлення зображення за допомогою виділеної структури. Метод Fast Marching Method (FMM), наведений у [18], розглядає невідому область зображення \bar{G} як набір рівнів та використовує їх для відновлення зображення.

1. Інтерстріпація між системою горизонтальних та вертикальних смуг

Детальніше зупинимось на інтерстріпації між системою вертикальних та горизонтальних смуг. Вважаємо, що зображення поверхні Σ відоме лише на системі m ($m \geq 2$) вертикальних смуг вигляду:

$$G_{1,k} = \{\alpha_k \leq x \leq \beta_k, y \in [\gamma_1, \delta_{m+1}]\}, k = \overline{1, m},$$

та на системі n ($n \geq 2$) горизонтальних смуг вигляду:

$$G_{2,l} = \{\gamma_l \leq y \leq \delta_l, x \in [\alpha_1, \beta_{m+1}]\}, l = \overline{1, n}.$$

Введемо позначення $\bar{G}_{1,k} = \mathbb{R}^2 \setminus G_{1,k}$, $k = \overline{1, m}$, $\bar{G}_{2,l} = \mathbb{R}^2 \setminus G_{2,l}$, $l = \overline{1, n}$.

Тоді об'єднання множин $G_{1,k}$, $k = \overline{1, m}$ та $G_{2,l}$, $l = \overline{1, n}$ дає область \bar{G} незаповнених ділянок зображення. В точках зображення G , які

не потрапили до \bar{G} зберігається вся наявна інформація про зображення.

Поверхня $\Sigma: z = f(x, y)$, $f(x, y) \in C^{N, N}(\mathbb{R}^2)$, яку ми хочемо відновити, вважається відомою лише на вказаних смугах, тобто

$$f(x, y)|_{\alpha_k \leq x \leq \beta_k} = f_{1,k}(x, y), \alpha_k \leq x \leq \beta_k, \gamma_l \leq y \leq \delta_{l+1},$$

$$f(x, y)|_{\gamma_l \leq y \leq \delta_l} = f_{2,l}(x, y), \gamma_l \leq y \leq \delta_l, \alpha_1 \leq x \leq \beta_{m+1}.$$

При цьому

$$\alpha_k < \beta_k < \alpha_{k+1} < \beta_{k+1}, k = \overline{1, m},$$

$$\gamma_l < \delta_l < \gamma_{l+1} < \delta_{l+1}, l = \overline{1, n}.$$

$C^{N, N}(\mathbb{R}^2)$ – клас функцій, які мають неперервні похідні $f^{(p, q)}(x, y)$ для $0 < p, q \leq N$.

Введемо до розгляду такі оператори [19]:

$$L_1 f(x, y) = \begin{cases} f_{1,k}(x, y) & \alpha_k \leq x \leq \beta_k, \gamma_1 \leq y \leq \delta_{n+1}; \\ E_{1,k,k+1} f(x, y) & \beta_k \leq x \leq \alpha_{k+1}; 1 \leq k \leq m-1. \end{cases}$$

$$L_2 f(x, y) = \begin{cases} f_{2,l}(x, y) & \gamma_l \leq y \leq \delta_l, \alpha_1 \leq x \leq \beta_{m+1}; \\ E_{2,l,l+1} f(x, y) & \delta_l \leq y \leq \gamma_{l+1}; 1 \leq l \leq n-1. \end{cases}$$

$$L_{12} f(x, y) = \begin{cases} f_{1,k}(x, y) & (x, y) \in \bar{G}_{1,k}, k = \overline{1, m}; \\ f_{2,l}(x, y) & (x, y) \in \bar{G}_{2,l}, l = \overline{1, n}; \\ E_{1,2,k,l} f(x, y) & (x, y) \in G. \end{cases}$$

$$E_{1,2,k,l} f(x, y) = [E_{1,k,k+1} + E_{2,l,l+1} - E_{1,k,k+1} E_{2,l,l+1}] f(x, y),$$

$$E_{1,k,k+1} f(x, y) = \sum_{s=0}^N [f^{(s,0)}(\beta_k, y) \ell_{1,k,s}(x) + f^{(s,0)}(\alpha_{k+1}, y) \ell_{2,k+1,s}(x)],$$

$$E_{2,l,l+1} f(x, y) = \sum_{p=0}^N [f^{(0,p)}(x, \delta_l) \ell_{1,l,p}(y) + f^{(0,p)}(x, \gamma_{l+1}) \ell_{2,l+1,p}(y)],$$

$$\ell_{1,k,s}(x) = \prod_{\substack{j=1 \\ j \neq k}}^m (x - x_j)^N \frac{(x - x_k)^s}{s!} \left\{ \frac{1}{\prod_{\substack{j=1 \\ j \neq k}}^m (x - x_j)^N} \right\}_{(x_k)}, \quad N-s-1$$

$$\ell_{2,l,p}(y) = \prod_{\substack{i=1 \\ i \neq l}}^n (y - y_i)^N \frac{(y - y_l)^p}{p!} \left\{ \frac{1}{\prod_{\substack{i=1 \\ i \neq l}}^n (y - y_i)^N} \right\}_{(y_l)}, \quad N-p-1$$

Тут оператори $E_{1,k,k+1} f(x, y)$, $E_{2,l,l+1} f(x, y)$ та $E_{1,2,k,l} f(x, y)$ – оператори двовимірної ермітової інтерполяції, $\ell_{1,k,s}(x)$ та $\ell_{2,l,p}(y)$ – поліноми Ерміта.

У випадку якщо відома інформація лише на системі горизонтальних смуг, то поверхня $z = L_2 f(x, y)$ є наближеною математичною моделлю поверхні Σ , яка на кожній із смуг $G_{2,l}$, $l = \overline{1, n}$ точно відновлює

поверхню, а між смугами зображує поверхню за допомогою оператора $E_{2,l,l+1} f(x, y)$, $l = \overline{1, n-1}$. Аналогічно для випадку вертикальних смуг, поверхня $z = L_1 f(x, y) \in$ наближеною математичною моделлю поверхні Σ , яка на кожній із смуг $G_{1,k}$, $k = \overline{1, m}$ точно відновлює поверхню, а між смугами зображує поверхню за допомогою оператора $E_{1,k,k+1} f(x, y)$, $k = \overline{1, m-1}$. У випадку коли інформація про поверхню відома на системі взаємоперпендикулярних смуг наближеною математичною моделлю поверхні Σ є поверхня $z = L_{12} f(x, y)$.

Наведені вище оператори інтерстріпації описані для функцій двох змінних, які мають неперервні похідні до порядку N включно. При обробці двовимірних сигналів застосовуються формули при $N = 0$ [19]:

$$\begin{aligned} E_{1,k,k+1} f(x, y) &= \frac{x - \beta_k}{\alpha_{k+1} - \beta_k} f(\alpha_{k+1}, y) + \\ &+ \frac{x - \alpha_{k+1}}{\beta_k - \alpha_{k+1}} f(\beta_k, y) \\ E_{2,l,l+1} f(x, y) &= \frac{y - \delta_l}{\gamma_{l+1} - \delta_l} f(x, \gamma_{l+1}) + \frac{y - \gamma_{l+1}}{\delta_l - \gamma_{l+1}} f(x, \delta_l) \\ E_{1,2,k,l} f(x, y) &= [E_{1,k,k+1} + E_{2,l,l+1} - \\ &- E_{1,k,k+1} E_{2,l,l+1}] f(x, y) = \\ &= \frac{x - \beta_k}{\alpha_{k+1} - \beta_k} f(\alpha_{k+1}, y) + \frac{x - \alpha_{k+1}}{\beta_k - \alpha_{k+1}} f(\beta_k, y) + \\ &+ \frac{y - \delta_l}{\gamma_{l+1} - \delta_l} f(x, \gamma_{l+1}) + \frac{y - \gamma_{l+1}}{\delta_l - \gamma_{l+1}} f(x, \delta_l) - \\ &- \frac{x - \beta_k}{\alpha_{k+1} - \beta_k} \frac{y - \delta_l}{\gamma_{l+1} - \delta_l} f(\alpha_{k+1}, \gamma_{l+1}) - \\ &- \frac{x - \beta_k}{\alpha_{k+1} - \beta_k} \frac{y - \gamma_{l+1}}{\delta_l - \gamma_{l+1}} f(\alpha_{k+1}, \delta_l) - \\ &- \frac{x - \alpha_{k+1}}{\beta_k - \alpha_{k+1}} \frac{y - \delta_l}{\gamma_{l+1} - \delta_l} f(\beta_k, \gamma_{l+1}) - \\ &- \frac{x - \alpha_{k+1}}{\beta_k - \alpha_{k+1}} \frac{y - \gamma_{l+1}}{\delta_l - \gamma_{l+1}} f(\beta_k, \delta_l). \end{aligned}$$

2. Узагальнений метод інтерстріпації.

Головним недоліком наведеного вище методу інтерстріпації є його неможливість застосування до більшості прикладних задач обробки даних. Інтерстріпація на даний момент може відновлювати зображення, якщо наявна інформація про нього задана лише на системах горизонтальних або вертикальних смуг. Нижче наведено алгоритм узагальненої інтерстріпації, який дозволяє відновлювати зображення із довільними смугами, що мають криволінійні границі.

Розглянемо задачу відновлення пошкодженого зображення деякої поверхні Σ . Вважаємо, що зображення поверхні відоме лише на системі m ($m \geq 2$) смуг, розташованих під довільним кутом вигляду:

$$G_k^* = \{(x, y) : \alpha_k \leq \omega_k(x, y) \leq \beta_k\}, \quad k = \overline{1, m},$$

Поверхня $\Sigma : z = f(x, y)$, $f(x, y) \in C^{N, N}(\mathbb{R}^2)$, яку ми хочемо відновити, вважається відомою лише на вказаних смугах, тобто

$$f(x, y)|_{G_k^*} = f_k(x, y), \quad (x, y) \in G_k^*, \quad k = \overline{1, m}.$$

Нехай $\mathfrak{R} = \{(k, l) : k \neq l; k, l = \overline{1, m}\}$ – множина всіх можливих комбінацій пар смуг.

Введемо до розгляду наступний оператор:

$$\Theta_m f(x, y) = \begin{cases} f_k(x, y) & (x, y) \in G_k^*, k = \overline{1, m}; \\ \Lambda_m f(x, y) & (x, y) \notin G_k^*, k = \overline{1, m}, \end{cases}$$

де

$$\Lambda_m f(x, y) = \frac{1}{m-1} \sum_{(k, l) \in \mathfrak{R}} \frac{\omega_k(x, y) + \omega_l(x, y)}{\sum_{i=1}^m \omega_i(x, y)} \Lambda_{k, l} f(x, y).$$

Оператор $\Lambda_{k, l} f(x, y)$ – оператор інтерстріпації між k -ю та l -ю смугами:

$$\Lambda_{k, l} f(x, y) = \frac{\rho_l(x, y)}{\rho_k(x, y) + \rho_l(x, y)} f(x_k^*(x, y), y_k^*(x, y)) + \frac{\rho_k(x, y)}{\rho_k(x, y) + \rho_l(x, y)} f(x_l^*(x, y), y_l^*(x, y)),$$

$$\rho_k(x, y) = \sqrt{(x_k^*(x, y) - x)^2 + (y_k^*(x, y) - y)^2};$$

$x_k^*(x, y)$ та $y_k^*(x, y)$ – це координати точки на k -тій смузі, яка знаходиться на найменшій відстані від точки (x, y) з невідомої області, а $\rho_k(x, y)$ – відстань від точки (x, y) до k -тої прямої.

Поверхня $z = \Theta_m f(x, y)$ є наближеною математичною моделлю освітленості поверхні Σ , яка на кожній із смуг G_k^* , $k = \overline{1, m}$ точно відновлює поверхню, а між смугами зображує поверхню за допомогою оператора $\Lambda_m f(x, y)$, при цьому функція $\Theta_m f(x, y) \in C^{N, N}(\mathbb{R}^2)$.

3. Застосування узагальненої інтерстріпації до відновлення двовимірних сигналів

Наведемо приклад відновлення пошкодженої фотографії (рис. 1).

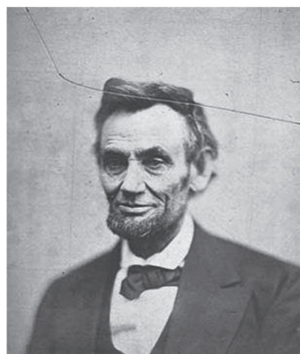


Рис. 1. Пошкоджена фотографія

На фотографії присутня подряпина від якої треба позбутися. Для цього вважаємо, що пікселі зображення, які розташовуються безпосередньо на подряпині невідомими. Ця область наведена на рис. 2.

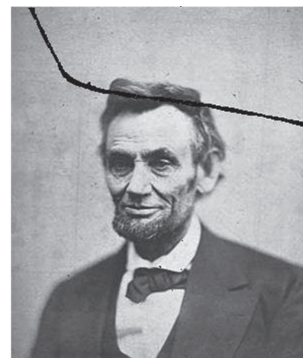


Рис. 2. Фотографія із видаленою областю замість подряпини

В результаті отримаємо розбиття на дві смуги (рис. 3).

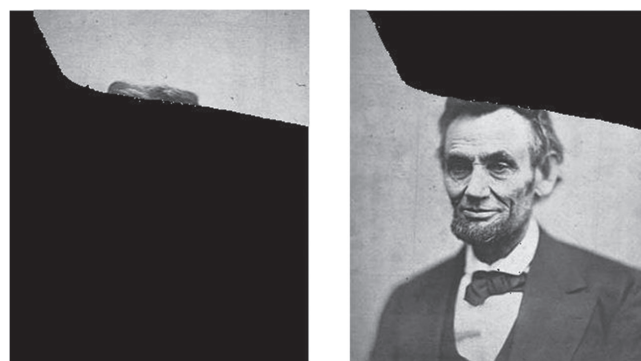


Рис. 3. Розбиття фотографії на смуги

Результат відновлення фотографії викладеним вище узагальненим методом інтерстріпації наведено на рис. 4.

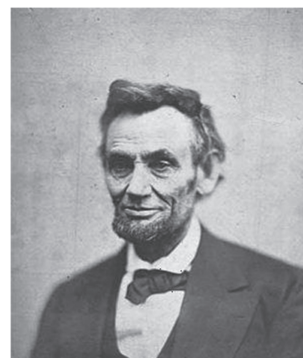


Рис. 4. Результат відновлення фотографії

Висновки

На даний момент у світі існує багато методів відновлення пошкоджених зображень. Їх можна об'єднати у такі класи: текстурні, шаблонні, основані на рівняннях з частинними похідними, гібридні та швидкі напівавтоматичні.

Опираючись на роботу Литвина О.М та Матвеевої С.В. було створено метод інтерстріпації, який дозволяє відновлювати функції двох змінних в випадку коли інформація про функцію відома лише на системі смуг паралельних осей координат. З того часу автори роботи модернізували метод інтерстріпації з метою розширення області його застосування на практиці.

Розглянуті методи можуть бути застосовані для відновлення уражених ділянок пошкоджених зображень. Аналіз і розробка методів відновлення зображень є актуальною задачею для різноманітних прикладних областей та потребує подальших досліджень.

Список літератури: 1. *Joshua J.*, Darsan G. Digital inpainting techniques – a survey // International journal of latest research in engineering and technology. – 2016. – vol. 2. – pp. 34-36. 2. *Efros A.*, Leung T.K.. Texture synthesis by non-parametric sampling // In IEEE International conference on Computer Vision (ICCV). – 1999. – pp 1033-1038. 3. *Efros A.*, Freeman W.T. Image quilting for texture synthesis and transfer // In Proceedings of ACM Conf. Comp. Graphics (SIGGRAPH). – 2001. – pp. 341-346. 4. *Heeger D.J.*, Bergen J.R. Pyramid-based texture analysis(synthesis) // In Proceedings of ACM Conf. Comp. Graphics (SIGGRAPH). – 1995. – vol. 29. – pp. 229-233. 5. *Yamauchi H.*, Haber J., Seidel H. Image restoration using multiresolution texture synthesis and image inpainting // In Computer Graphics International (CGI). – 2003. – pp. 120-125. 6. *Fang C.W.*, Lien J.J. Fast image replacement using multi-resolution approach // Lecture Notes in Computer Science. – 2006. – vol. 3852. – pp. 509-520. 7. *Criminisi A.*, Perez P., Toyama K. Region filling and object removal by exemplar-based inpainting // IEEE Transactions on Image Processing. – 2004. – vol. 13(9). – pp. 1200–1212. 8. *Drori I.*, Cohen-Or D., Yeshurun H. Fragment-based image completion // In Proceedings of ACM Conf. Comp. Graphics (SIGGRAPH). – 2003. – vol. 22. – pp. 303–312. 9. *Hays J.*, Efros A. Scene completion using millions of photographs // ACM Transactions on Graphics (SIGGRAPH). – 2007. – vol. 26(3). – pp. 87-94. 10. *Bertalmio M.*, Sapiro G., Caselles V., Ballester C. Image inpainting // In Proceedings of ACM Conf. Comp. Graphics (SIGGRAPH). – 2000. – pp. 417–424. 11. *Chan T.*, Shen J. Mathematical models for local deterministic inpaintings // SIAM Journal on Applied Mathematics. – 2002. – vol. 62(3). – pp. 1019-1043. 12. *Chan T.*, Shen J. Non-texture in-painting by curvature-driven diffusions (CDD) // Visual Comm. Image Rep. – 2001. – vol. 12. – pp. 436-449. 13. *Tschumperl D.*, Deriche R. Vector-valued image regularization with PDE's // Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. – 2005. – vol. 27(4). – pp. 506–517. 14. *Bertalmio M.*, Vese L., Sapiro G., Osher S. Simultaneous structure and texture image inpainting. // Transactions on Image Processing. – 2003. – vol. 12(8). – pp. 882– 889. 15. *Starck J.-L.*, Elad M., Donoho D.L. Image decomposition via the combination of sparse representation and a variational approach. // Transaction on Image Processing. – 2005. – vol. 14(10). – pp. 1570-1582. 16. *Elad M.*, Starck J.-L., Donoho D., Querre P. Simultaneous cartoon and texture image in-painting using morphological

component analysis (MCA) // Applied and Computational Harmonic Analysis. – 2005. – vol. 19(3). – pp. 340-358. 17. *Sun J.*, Yuan L., Jia J., Shum H. Image completion with structure propagation // In Proceedings of ACM Conf. Comp. Graphics (SIGGRAPH). – 2005. – vol. 24, pp 861–868. 18. *Telea A.* An image in-painting technique based on the fast marching method // Journal of Graphics Tools. – 2004. – vol. 9. – pp. 23-34. 19. *Матвеева С. Ю.* Математичне моделювання поверхні тіла методами інтерстріпації функцій заданими радіолокації: Дис. канд. фіз.-мат. наук / Матвеева Світлана Юріївна. – Харків, 2014. – 126 с.

Resume

Lytvyn O.M., Pasichnik V.O., Slavik O.V. APPLICATION OF THE METHOD OF INTERSTRIPATION FOR THE RESTORATION OF DAMAGED IMAGES.

Background: At now in the world there are a number of methods to restore damaged images (inpainting methods). Image recovery algorithms can be conditionally divided into the following classes: textured, exemplar-based, based on PDE, hybrid and fast semi-automatic. In the works of Lytvyn O.M. and Matveeva S.Yu. was proposed method of interstripation of functions of two variables (in the case when the function is given on a system of strips). This method was find the unknown values of the function between the strips. The disadvantage of the original method was that the strips should be parallel to the coordinate axes, which greatly limited the scope of its applicability to real problems.

Materials and methods: In given work, we propose a generalized method of interstripation of functions of two variables for the case of arbitrary arrangement of strips with curvilinear boundaries. The operator of a generalized interstripation of functions of two variables for calculating unknown values between m ($m \geq 2$) strips of arbitrary type is given.

Results: A computational experiment was carried out to reconstruct a damaged photography with a clearly pronounced fold line. To remove this line, a region was selected with which the image was divided into two strips, to which the generalized method of interstripation proposed in this paper was applied. The restoration result does not contain a fold line, and the new values obtained are a natural continuation of the existing image.

Conclusion: In given article presents a generalized method of interstripation of functions of two variables for the case of arbitrary strips with curvilinear boundaries. Unlike the original method of interstripation, the area of application of the generalized method is much wider, since there is no restriction on the form of the strips. This method can be used to restore lost or damaged image areas. Analysis and development of such methods is an urgent task for a variety of applied fields and requires further research.

Надійшла до редколегії 24.09.2017.

УДК 519.6



О.М. Литвин, І.С. Томанова

Українська Інженерно-Педагогічна Академія,
м. Харків, Україна, academ_mail@ukr.net
Українська Інженерно-Педагогічна Академія,
м. Харків, Україна, tomanova.iryana@gmail.com

ПОБУДОВА ЛОКАЛЬНИХ МАТРИЦЬ СИСТЕМИ РІТЦА З ВИКОРИСТАННЯМ СПЛАЙНІВ 5-ГО СТЕПЕНЯ НА ТРИКУТНИКУ ПРИ РОЗВ'ЯЗАННІ БІГАРМОНІЧНОЇ ЗАДАЧІ ПРО ЗГИН ПЛАСТИНИ

Сплайни п'ятого степеня на трикутній сітці дають точну оцінку, але їх складно обчислювати, за рахунок того, що для кожного трикутного елемента потрібно знаходити 21 коефіцієнт. У попередніх роботах авторів за допомогою явних формул, були побудовані сплайни 5-го степеня, які роблять обчислення значно простіше. У даній роботі запропонована схема розв'язання бігармонічної задачі з використанням системи Рітца у випадку граничних умов, що відповідають умовам жорсткого защемлення пластини у вигляді сплайна 5-го степеня. Зокрема розглянуто побудову системи Рітца для довільного трикутника з використанням явних формул для сплайнів п'ятого степеня.

СПЛАЙНИ П'ЯТОГО СТЕПЕНЯ, СИСТЕМА РІТЦА, ЛОКАЛЬНА МАТРИЦЯ, БІГАРМОНІЧНА ЗАДАЧА

Литвин О.Н., Томанова І.С. Построение локальных матриц системы Ритца с использованием сплайнов 5-й степени на треугольнике при решении бигармонической задачи об изгибе пластины. Сплайны пятого степеня на треугольной сетке дают точную оценку, но их сложно вычислять, за счет того, что для каждого треугольного элемента нужно находить 21 коэффициент. В предыдущих работах авторов с помощью явных формул, были построены сплайны 5-й степени, которые делают вычисления значительно проще. В данной работе предложена схема решения бигармонической задачи с использованием системы Ритца в случае граничных условий, которые соответствуют условиям жесткого защемления пластины в виде сплайна 5-й степени. В частности рассмотрено построение системы Ритца для произвольного треугольника с использованием явных формул для сплайнов пятой степени

СПЛАЙНЫ ПЯТОЙ СТЕПЕНИ, СИСТЕМА РИТЦА, ЛОКАЛЬНАЯ МАТРИЦА, БИГАРМОНИЧЕСКАЯ ЗАДАЧА

Lytvyn O.M., Tomanova I.S. Construction of local matrixes of the Ritz system using splines of the 5th degree on the triangle for solving the biharmonic problem of plate bending. Splines of the fifth degree on the triangular grid give an accurate estimate, but they are difficult to calculate, due to the fact that for every triangular element it is necessary to find 21 coefficient. In previous works of the authors using explicit formulas for splines of the 5th degree were constructed, which make calculations much simpler. In this paper we propose a scheme for solving a biharmonic problem using the Ritz system in the case of boundary conditions that correspond to the conditions of rigid clamped plate in the form of a spline of the 5th degree. In particular, we consider the construction of the Ritz system for an arbitrary triangle using explicit formulas for splines of the fifth degree.

SPLINES OF FIFTH DEGREE, RITZ SYSTEM, LOCAL MATRIXES, BIGARMONIC PROBLEM

Вступ

У роботах [1], [2] були отримані явні формули для сплайнів п'ятого степеня, які спрощують обчислення при розв'язанні багатьох задач прикладної математики. Сплайни мають численні застосування в різних галузях науки та техніки. Так, наприклад, авторами в роботі [3] за допомогою явних формул для сплайнів п'ятого степеня було наведено алгоритм побудови розв'язку бігармонічної задачі для жорстко защемленої прямокутної пластини.

В даній роботі досліджується задача знаходження явних формул для коефіцієнтів локальної матриці в методі Рітца для довільного прямокутного трикутника з катетами a і b . В роботах [1], [2] для полінома 5-го степеня

$$P_5(x, y) = \sum_{0 \leq |\beta| \leq 5} \alpha_\beta x^\beta y^\beta,$$

$$|\beta| = \beta_1 + \beta_2, \quad \beta = (\beta_1, \beta_2)$$

доведено, що вимоги

$$D^\alpha f(A_i) = D^\alpha P_5(A_i), \quad i = \overline{1, 3}, \quad 0 \leq |\alpha| \leq 2,$$

$$D^\alpha = \frac{\partial^{|\alpha|}}{\partial x^{\alpha_1} \partial y^{\alpha_2}}, \quad |\alpha| = \alpha_1 + \alpha_2, \quad \alpha = (\alpha_1, \alpha_2),$$

$$\left. \frac{\partial f}{\partial \nu_{ij}} \right|_{M_{ij}} = \left. \frac{\partial P_5}{\partial \nu_{ij}} \right|_{M_{ij}}, \quad (i, j) \in \{(1, 2), (2, 3), (3, 1)\},$$

де ν_{ij} – нормаль до сторони, що з'єднує вершини

A_i та A_j , точка $M_{ij} = \left(\frac{x_i + x_j}{2}, \frac{y_i + y_j}{2} \right) = (x_{ij}, y_{ij})$ –

середина цієї сторони, є достатніми умовами для знаходження вказаних 21 коефіцієнта α_β , $0 \leq |\beta| \leq 5$.

Похідна по внутрішній нормалі ν_{ij} визначається за формулою

$$\frac{\partial f}{\partial v_{ij}} = \frac{\text{sign}(\Delta_{kij})}{|A_i, A_j|} \left[(y_i - y_j) \frac{\partial f}{\partial x} - (x_i - x_j) \frac{\partial f}{\partial y} \right],$$

$$|A_i, A_j| = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}, \quad \Delta_{kij} = \begin{vmatrix} x_k & y_k & 1 \\ x_i & y_i & 1 \\ x_j & y_j & 1 \end{vmatrix}.$$

Введемо до розгляду оператор

$$h_{k\beta}(x, y) = \frac{(x - x_k)^{\beta_1} (y - y_k)^{\beta_2}}{\beta_1! \beta_2!} \omega_{ij}^3(x, y) \times \left\{ \frac{1}{\omega_{ij}^3(x, y)} \right\}_{(x_k, y_k)}^{(2-|\beta|)}$$

де

$$\omega_{ij}(x, y) = \begin{vmatrix} x & y & 1 \\ x_i & y_i & 1 \\ x_j & y_j & 1 \end{vmatrix},$$

$$\{g(x, y)\}_{(x_k, y_k)}^{(m)} = \sum_{0 \leq |\gamma| \leq m} (D^\gamma g)(x_k, y_k) \times \frac{(x - x_k)^{\gamma_1} (y - y_k)^{\gamma_2}}{\gamma_1! \gamma_2!},$$

$$i, j, k \in \{1, 2, 3\}, \quad i \neq j \neq k,$$

мають такі властивості

$$D^\alpha h_{k\beta} \Big|_{A_i} = \delta_{k,i} \delta_{\alpha,\beta}; \quad l, k \in \{1, 2, 3\}, \\ \delta_{\alpha,\beta} = \delta_{\alpha_1, \beta_1} \delta_{\alpha_2, \beta_2},$$

де $\delta_{i,j}$ – символ Кронекера.

Наступний оператор

$$H_{ij}(x, y) = \frac{\omega_{ik}^2(x, y) \omega_{jk}^2(x, y) \omega_{ij}(x, y) \text{sign}(\Delta_{kij})}{\omega_{ik}^2(x_{ij}, y_{ij}) \omega_{jk}^2(x_{ij}, y_{ij}) |A_i A_j|},$$

має властивості

$$D^\alpha H_{ij} \Big|_{A_k} = 0, \quad 0 \leq |\alpha| \leq 2, \quad k \in \{1, 2, 3\}, \quad k \neq i, j,$$

$$\frac{\partial H_{ij}}{\partial v_{ij}} = 1, \quad \frac{\partial H_{ij}}{\partial v_{ij}} \Big|_{M_{mn}} = 0, \quad (i, j) \neq (m, n), \quad (i, j), (m, n) \in Q,$$

$$\omega_{ik}(x_i, y_i) = 0, \quad \omega_{ik}(x_k, y_k) = 0$$

$$\omega_{ik}(x, y) = \begin{vmatrix} x - x_k & y - y_k & 0 \\ x_i - x_k & y_i - y_k & 0 \\ x_k & y_k & 1 \end{vmatrix}.$$

В роботі [1] для кожної функції $f(x, y) \in C^2(\overline{T_{ijk}})$ оператор

$$S_5 f(x, y) = w(x, y) + \sum_{(i,j) \in Q} \left[\frac{\partial f}{\partial v_{ij}} - \frac{\partial w}{\partial v_{ij}} \right] \Big|_{M_{ij}} H_{ij}(x, y)$$

$$w(x, y) = \sum_{i=0}^3 \sum_{0 \leq |\beta| \leq 2} D^\beta f(A_i) h_{i\beta}(x, y)$$

$$D^\alpha S_\beta f \Big|_{A_p} = D^\alpha f \Big|_{A_p}, \quad p \in \{1, 2, 3\}, \quad 0 \leq |\alpha| = \alpha_1 + \alpha_2 \leq 2$$

визначає поліном 5-го степеня з властивостями

$$\frac{\partial^\beta S_5 f}{\partial x^{\beta_1} \partial y^{\beta_2}}(A_{ij}) = \frac{\partial^\beta f}{\partial x^{\beta_1} \partial y^{\beta_2}}(A_{ij}).$$

1. Постановка задачі

Треба знайти розв'язок бігармонічної задачі на області G , яка складеться з об'єднання прямокутних трикутників з катетами a та b паралельними осі Ox та осі Oy відповідно.

Для початку оберемо довільний трикутник із вершинами (x_1, y_1) , $(x_1 + a, y_1)$, $(x_1, y_1 + b)$ наведено на рис. 1.

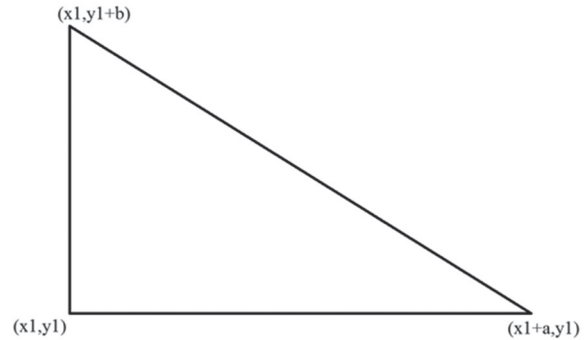


Рис. 1. Схематичний вигляд трикутника

Згідно із теорією [1],[2],[3] в вершинах цього трикутника вважаємо невідомими значення параметрів при функціях $h_{k\beta}(x, y)$, $k = \overline{1,3}$ у вершинах трикутника та значення параметрів при функціях $H_{12}(x, y)$, $H_{23}(x, y)$, $H_{13}(x, y)$ на середині відповідних сторін. Кожній із функцій ставиться у відповідність константа c_i , $i = \overline{1,21}$.

Для спрощення викладання наступного матеріалу введемо до розгляду наступні позначення:

$$\Phi(x, y) = \left\{ \frac{\partial S_5 f(x, y)}{\partial c_i}, \quad i = \overline{1,21} \right\},$$

$$\Phi^{(2,0)}(x, y) = \left\{ \frac{\partial^2 \Phi_i f(x, y)}{\partial x^2}, \quad i = \overline{1,21} \right\},$$

$$\Phi^{(0,2)}(x, y) = \left\{ \frac{\partial^2 \Phi_i f(x, y)}{\partial y^2}, \quad i = \overline{1,21} \right\}.$$

Кожна з введених функцій є 21-мірним вектором.

Використовуючи введені позначення опишемо побудову локальної матриці [4] системи Рітца для розв'язання бігармонічної задачі на трикутнику

$$D \left(\frac{\partial^4 u}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 u}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 u}{\partial y^4} \right) = q, \quad (x, y) \in G,$$

яка повинна задовольняти граничним умовам (умовам жорсткого защемлення)

$$u \Big|_{\partial G} = 0,$$

$$\frac{\partial u}{\partial x} \Big|_{\partial G} = 0, \quad \frac{\partial u}{\partial y} \Big|_{\partial G} = 0.$$

Згідно із [4-9] даній задачі відповідає варіаційна задача про мінімум функціоналу:

$$J(u) = \iint_G \left[\left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right)^2 - 2 \cdot q \cdot u \right] dx dy$$

або

В загальному випадку (рис. 2), якщо трикутник не належить границі області, то кількість параметрів в ньому сягатиме 21.

Якщо трикутник розбиття має одну, і тільки одну, спільну точку із границею, то кількість параметрів буде дорівнювати 16, оскільки параметри $h_{0,0}$, $h_{1,0}$, $h_{0,1}$, $h_{2,0}$ та $h_{0,2}$ для вершини, яка належить границі, прирівнюються нулю.

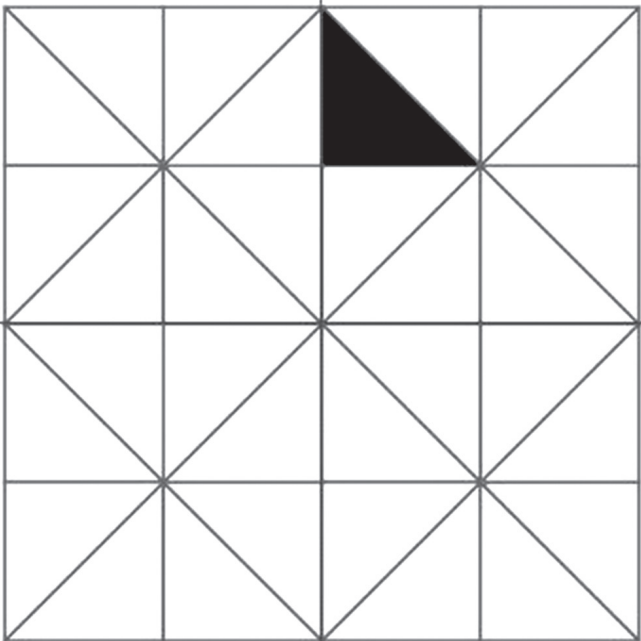


Рис. 3. Приклад розміщення трикутного елемента, що має одну спільну точку із границею області розбиття

У випадку коли дві з вершин (але не весь катет) трикутника належать границі області (рис. 4), кількість невідомих становитиме 11. Оскільки параметри, що відповідають базисним функціям $h_{0,0}$, $h_{1,0}$, $h_{0,1}$, $h_{2,0}$ та $h_{0,2}$ при цих двох вершинах прирівнюються нулю.

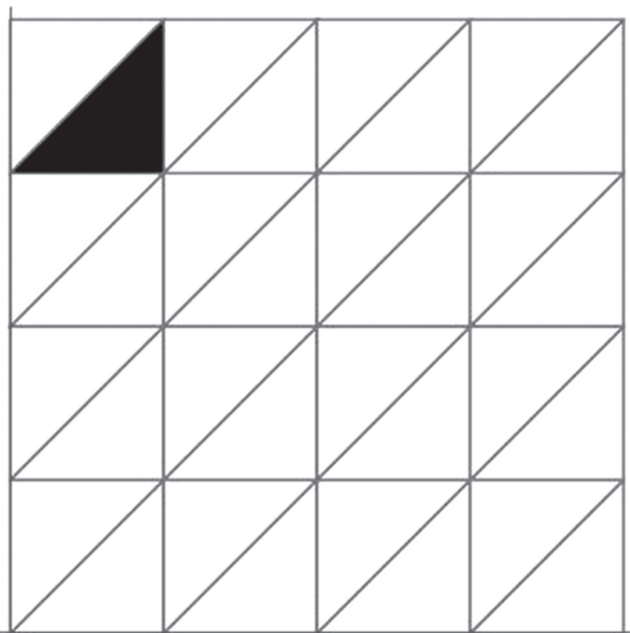


Рис. 4. Приклад розміщення трикутного елемента, що має дві спільні точки із границею області розбиття

Якщо трикутник розбиття має один, і тільки один, спільний катет із границею (рис. 5), то кількість параметрів буде дорівнювати 10, бо порівняно з попереднім випадком (рис. 4) до нуля прирівнюється ще параметр, що відповідає нормалі, розташованій на цьому катеті.

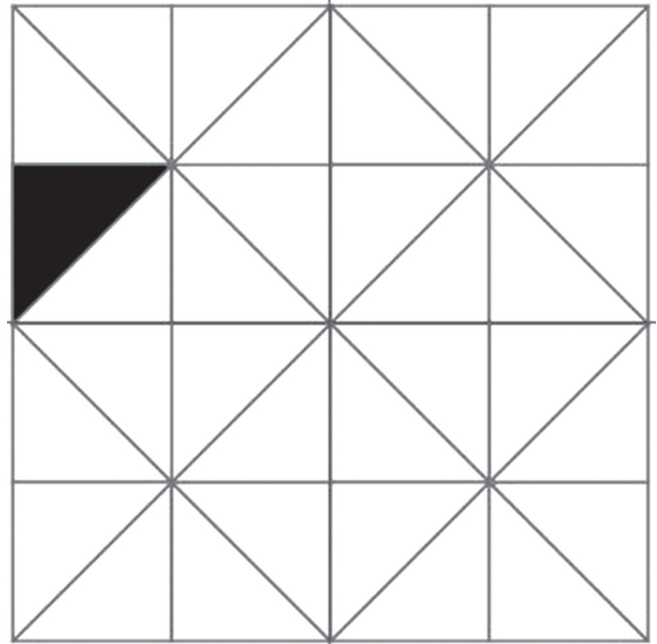


Рис. 5. Приклад розміщення трикутного елемента, один катет якого належить границі області розбиття

Аналогічно, у випадку коли елемент розбиття має два спільних катети із границею області (рис. 6), то невідомих параметрів залишиться лише 4.

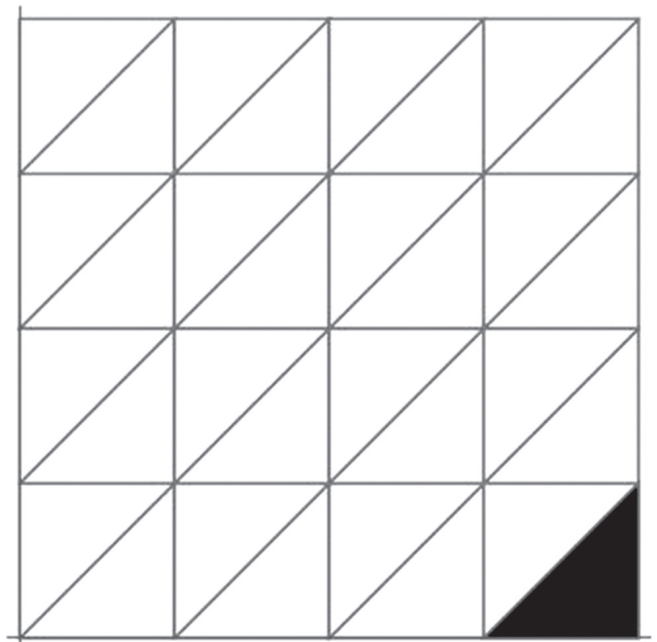


Рис. 6. Приклад розміщення трикутного елемента, два катети якого належать границі області розбиття

Висновки

Дана робота присвячена знаходженню локальних матриць для системи Рітца з використанням явних формул для сплайнів 5-го степеня на трикутній сітці вузлів, наведених в попередніх роботах авторів, для розв'язання бігармонічної задачі для жорсткого защемленої пластини.

В даній роботі наведено вирази для побудови сплайнів п'ятого степеня, які використовувались авторами для побудови розв'язку бігармонічної задачі для жорстко защемленої пластини у випадку розбиття області на прямокутні трикутники, катети яких паралельні осям координат.

Результати даної роботи авторами планується використати для побудови глобальних матриць згідно методу Рітца при розв'язанні бігармонічної задачі у випадку жорстко защемленої границі.

Список літератури: 1. *Сергиенко, И.В.* Явные формулы для интерполяционных сплайнов 5-й степени на треугольнике / И.В. Сергиенко, О.Н. Литвин, О.О. Литвин, О.И. Денисова. – Кибернетика и системный анализ. – 2014. – Том 50, № 5. – С. 17–33. 2. *Zlamal, M.* Mathematical aspect of the finite element method / M. Zlamal, A. Zenesek, V. Kolar, J. Kratochvil // Technical physical and mathematical principles of the finite element method. – 1971. – P.15–39. 3. *Литвин, О.М.* Розв'язання задачі про згин пластини методом скінченних елементів з використанням сплайнів п'ятого степеня на трикутній сітці / О.М. Литвин, І.С. Томанова – 2017. – Т. 20, №1, С. 52-61. 4. *Зенкевич, О.* Метод конечных элементов в технике — М.: Мир, 1975. — 541 с. 5. Тимошенко, С.П. Пластины и оболочки / С.П. Тимошенко, С. Войновский-Кригер — М.: Наука, 1966. — 635 с. 6. *Рвачев В.Л., Курпа Л.В., Склепус Н.Г., Учишвили Л.А.* Метод R-функций в задачах об изгибе и колебаниях пластин сложной формы — Киев: Наук. думка, 1973. — 121 с. 7. *Кантарович Л.В., Крылов В.И.* Приближенные методы высшего анализа — М.: Физматгиз. — 1962. — 708 с. 8. *Михлин С.Г., Смолицкий Х.Л.* Приближенные методы решения дифференциальных и интегральных уравнений. — М.: Наука. — 1965. — 384 с.

Resume

Lytvyn O.M., Tomanova I.S.

CONSTRUCTION OF LOCAL MATRIXES OF THE RITZ SYSTEM USING SPLINES OF THE FIFTH DEGREE ON THE TRIANGLE FOR SOLVING THE BIHARMONIC PROBLEM OF PLATE BENDING.

Background: Splines are involved in a large number of physical processes. The use of splines for the study of the biharmonic problem is widely used in practice, in particular when studying the deflection of plates. A number of exact solutions were developed for isotropic linear elastic thin plates; most of them can be found in Tymoshenko's monographs (Tymoshenko and Woinowsky-Krieger, 1959). In this paper we propose a scheme for solving the biharmonic problem for a rectangular plate in the case of rigidly clamped boundary conditions by the Ritz method. The Ritz method is used to solve problems in the calculus of variations. The Ritz method is based on the construction of a minimizing sequence of functions. Splines of the fifth degree on the triangular grid give an accurate estimate, but they are difficult to calculate, due to the fact that for each triangular element it is necessary to find twenty-one coefficients. In the previous works of the authors using explicit formulas, splines of the fifth degree were constructed, which make calculations much simpler.

Materials and methods: In this paper we consider the construction of local matrixes of the Ritz system for solving a biharmonic problem with a rigidly constrained boundary for an arbitrary right triangle which cathetus are parallel to the coordinate axes using explicit formulas for splines of the fifth degree.

Results: A scheme is given for constructing local matrixes of the Ritz system for solving a biharmonic problem with rigidly clamped boundaries. Depending on the location of the triangular element of the partition with respect to the boundary of the region, the principle of satisfying the boundary conditions of the problem is shown.

Conclusion: In given article present the method of constructing local matrixes of the Ritz system for solving the biharmonic problem of the bending of a rigidly clamped plate. The considered method can be used to construct a global Ritz matrix for finding the solution of the biharmonic problem in the case of partitioning a domain into rectangular triangles which cathetus are parallel to the coordinate axes.

Надійшла до редколегії 26.09.2017.

УДК 519.6



О.М. Литвин, О.О. Литвин, Є.Л. Хурдей

Українська Інженерно-Педагогічна Академія,
м. Харків, Україна, academ_mail@ukr.net;
Українська Інженерно-Педагогічна Академія,
м. Харків, Україна, olegolitvin55@gmail.com;
Українська Інженерно-Педагогічна Академія,
м. Харків, Україна, evgenia_hurdei@ukr.net

ПРО ВИБІР НЕВІДОМИХ ЗНАЧЕНЬ НАБЛИЖУВАНОЇ ФУНКЦІЇ В ОПЕРАТОРІ ІНТЕРПОЛЯЦІЇ ІЗ ЗАДАНИМИ ПРОЕКЦІЯМИ

В роботі досліджується метод побудови операторів інтерполяції із заданими проекціями вздовж вказаних ліній. В даній роботі вперше пропонується загальний підхід до вибору невідомих інтерполяційних значень наближуваної функції 2-х змінних в трикутнику за допомогою відомих проекцій. В методі побудови інтерполяційних операторів, невідомі інтерполяційні дані знаходяться з умови, щоб оператор наближення точно відновлював всі поліноми другого степеня.

ІНТЕРПОЛЯЦІЯ, ПОЛІНОМИ, ІНТЕРПОЛЯЦІЙНІ ДАНІ, ПОХИБКА НАБЛИЖЕННЯ

Литвин О. М., Литвин О. О., Хурдей Е. Л. О выборе неизвестных значений приближающей функции в операторе интерполяции с заданными проекциями. В работе исследуется метод построения операторов интерполяции с заданными проекциями вдоль указанных линий. В данной работе впервые предлагается общий подход к выбору неизвестных интерполяционных значений приближаемой функции 2-х переменных в треугольнике с помощью известных проекций. В методе построения интерполяционных операторов, неизвестные интерполяционные данные находят из условия, чтобы оператор приближения точно восстанавливал все полиномы второй степени.

ІНТЕРПОЛЯЦІЯ, ПОЛІНОМИ, ІНТЕРПОЛЯЦІЙНІ ДАНІ, ПОГРЕШНОСТЬ ПРИБЛИЖЕННЯ

Lytvyn O. M., Lytvyn O. O., Hurdei E. L. About the selection of unknown data of approximate function in the operator of interpolation with the set projections. The investigated subject in present work is the method of creation of operators of interpolation with the set projections along the specified lines. In the present work for the first time the general approach to the selection of unknown interpolation values of required function is offered of 2 variables in a triangle through known projections. It is offered to find unknown interpolation data in the method of creation of interpolation operators according to a condition that the operator of approximation restored all polynomials to the second power accurately.

INTERPOLATION, POLYNOMIALS, INTERPOLATION DATA, ACCURACY OF APPROXIMATION

Вступ

На сьогоднішній день методи комп'ютерної томографії використовуються при неруйнівному контролі об'єкта на митниці, при дослідженні стану внутрішніх органів людини на медичних томографах, в оптичній томографії тощо. Автори даної публікації вважають, що в біоніці інтелекта настав час використовувати при математичному моделюванні не тільки значення тої або іншої характеристики у внутрішніх точках об'єкта, які, доречі, можуть бути не відомими, але також і інтеграли від відповідної характеристики вздовж заданої системи ліній. Тому назва даної роботи може викликати, на думку авторів, природну зацікавленість при побудові математичних моделей на основі лише заданої системи проекцій – інтегралів, вздовж відповідної системи прямих.

В роботі розглянуто лише випадок, коли кількість прямих дорівнює трьом. Але метод, викладений в даній роботі, на даний час, узагальнений авторами на випадок, коли кількість проекцій задовольняє нерівності $M \geq 3$ і ці M прямих перетинаються

одна з одною, при чому в одній точці не перетинається більше ніж три прями.

У відомих авторам публікаціях присвячених комп'ютерній томографії [1–3] досліджуються методи оснований на використанні прямого та оберненого перетворення Радона в комп'ютерній томографії.

В працях [4] та [5] запропоновано конструктивний підхід до побудови операторів наближення функції двох змінних за допомогою відомих їх проекцій вздовж заданої системи прямих.

В роботах [4] та [5] зформульовано загальний підхід до побудови операторів інтерполяції функції двох змінних в системі точок перетину M прямих, які мають задані значення проекцій і задані значення наближуваної функції в точках перетину цих прямих.

В роботі [5] цей метод був досліджений для випадку, коли система прямих є взаємноперпендикулярна. В роботах [6] та [7] досліджено випадок трьох непаралельних перетинних прямих та випадок системи M перетинних прямих ніякі три з яких не перетинаються в одній точці.

1. Постановка задачі

В даній роботі досліджується метод побудови операторів інтерполяції із заданими проекціями вздовж вказаних ліній і вперше пропонується загальний підхід до вибору невідомих інтерполяційних значень наближуваної функції в точках інтерполяції. Критерій полягає в наступному: оператор наближення, побудований за допомогою даних у вершинах трикутника та проекцій вздовж сторін трикутника, повинен точно відновлювати довільні поліноми 2го степеня від двох змінних.

Розглянемо трикутник з вершинами

$$A_1(R,0), A_2\left(-\frac{R}{2}, \frac{\sqrt{3}R}{2}\right), A_3\left(-\frac{R}{2}, -\frac{\sqrt{3}R}{2}\right)$$

і рівняннями сторін:

$$\begin{aligned} \omega_{12}(x,y) &= (x - X_1)(Y_2 - Y_1) - (y - Y_1)(X_2 - X_1) \\ \omega_{23}(x,y) &= (x - X_2)(Y_3 - Y_2) - (y - Y_2)(X_3 - X_2) \\ \omega_{13}(x,y) &= (x - X_1)(Y_3 - Y_1) - (y - Y_1)(X_3 - X_1) \end{aligned}$$

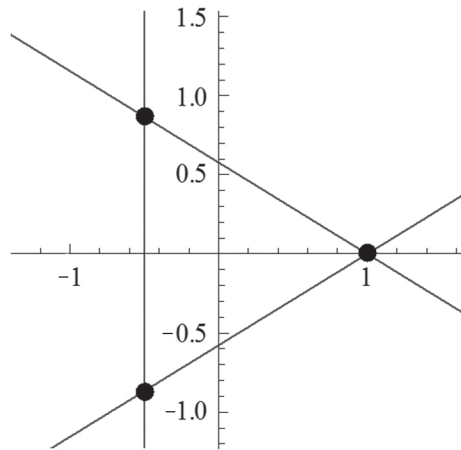


Рис. 1 Задана система прямих на трикутнику

2. Оператор інтерполяції функції $f(x,y)$ у вершинах трикутника

Будуємо оператор $L1f(x,y)$, який інтерполює $f(x,y)$ у вершинах трикутника $(X_k, Y_k), k = \overline{1,3}$ у вигляді:

$$\begin{aligned} L1f(x,y) &= f(X_1, Y_1) \cdot \frac{\omega_{23}(x,y)}{\omega_{23}(X_1, Y_1)} + \\ &+ f(X_2, Y_2) \cdot \frac{\omega_{13}(x,y)}{\omega_{13}(X_2, Y_2)} + f(X_3, Y_3) \cdot \frac{\omega_{12}(x,y)}{\omega_{12}(X_3, Y_3)} \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} L2f(x,y) &= \frac{\omega_{23}(x,y)\omega_{31}(x,y)}{\int_{12} \omega_{23}(x,y)\omega_{31}(x,y)ds_{12}} \cdot \int_{12} f(x,y)ds_{12} + \\ &+ \frac{\omega_{12}(x,y)\omega_{31}(x,y)}{\int_{23} \omega_{12}(x,y)\omega_{31}(x,y)ds_{23}} \cdot \int_{23} f(x,y)ds_{23} + \\ &+ \frac{\omega_{12}(x,y)\omega_{23}(x,y)}{\int_{31} \omega_{12}(x,y)\omega_{23}(x,y)ds_{31}} \cdot \int_{31} f(x,y)ds_{31} \end{aligned} \quad (2)$$

Введемо позначення:

$$Lf(x,y) = L1f(x,y) + L2(f(x,y) - L1f(x,y)) \quad (3)$$

Лема 1. Оператор $L1f(X,Y)$ інтерполює кожну неперервну функцію $f(x,y)$ у вершинах $(X_i, Y_i), i = \overline{1,3}$ довільного не виродженого трикутника:

$$L1f(X_i, Y_i) = f(X_i, Y_i), i = \overline{1,3}.$$

Доведення.

Підставимо у формулу (1) $x = X_1, y = Y_1$. В результаті отримаємо

$$\begin{aligned} L1f(X_1, Y_1) &= f(X_1, Y_1) \cdot \frac{\omega_{23}(X_1, Y_1)}{\omega_{23}(X_1, Y_1)} + f(X_2, Y_2) \cdot \\ &\cdot \frac{\omega_{13}(X_1, Y_1)}{\omega_{13}(X_2, Y_2)} + f(X_3, Y_3) \cdot \frac{\omega_{12}(X_1, Y_1)}{\omega_{12}(X_3, Y_3)} = \\ &= \left[\begin{array}{l} \omega_{13}(X_1, Y_1) = 0 \\ \omega_{12}(X_1, Y_1) = 0 \end{array} \right] = f(X_1, Y_1) \cdot \frac{\omega_{23}(X_1, Y_1)}{\omega_{23}(X_1, Y_1)} = f(X_1, Y_1) \end{aligned}$$

Підставимо у формулу (1) $x = X_2, y = Y_2$. В результаті отримаємо

$$\begin{aligned} L1f(X_2, Y_2) &= f(X_1, Y_1) \cdot \frac{\omega_{23}(X_2, Y_2)}{\omega_{23}(X_1, Y_1)} + f(X_2, Y_2) \cdot \\ &\cdot \frac{\omega_{13}(X_2, Y_2)}{\omega_{13}(X_2, Y_2)} + f(X_3, Y_3) \cdot \frac{\omega_{12}(X_2, Y_2)}{\omega_{12}(X_3, Y_3)} = \\ &= \left[\begin{array}{l} \omega_{23}(X_2, Y_2) = 0 \\ \omega_{12}(X_2, Y_2) = 0 \end{array} \right] = f(X_2, Y_2) \cdot \frac{\omega_{13}(X_2, Y_2)}{\omega_{13}(X_2, Y_2)} = f(X_2, Y_2) \end{aligned}$$

Підставимо у формулу (1) $x = X_3, y = Y_3$. В результаті отримаємо

$$\begin{aligned} L1f(X_3, Y_3) &= f(X_1, Y_1) \cdot \frac{\omega_{23}(X_3, Y_3)}{\omega_{23}(X_1, Y_1)} + f(X_2, Y_2) \cdot \\ &\cdot \frac{\omega_{13}(X_3, Y_3)}{\omega_{13}(X_2, Y_2)} + f(X_3, Y_3) \cdot \frac{\omega_{12}(X_3, Y_3)}{\omega_{12}(X_3, Y_3)} = \\ &= \left[\begin{array}{l} \omega_{23}(X_3, Y_3) = 0 \\ \omega_{13}(X_3, Y_3) = 0 \end{array} \right] = f(X_3, Y_3) \cdot \frac{\omega_{12}(X_3, Y_3)}{\omega_{12}(X_3, Y_3)} = f(X_3, Y_3) \end{aligned}$$

Отже, $L1f(X_i, Y_i) = f(X_i, Y_i), i = \overline{1,3}$. Лема 1 доведена.

Лема 2. Оператор $L2f(x,y)$ має такі властивості

$$L2f(X_i, Y_i) = 0, i = \overline{1,3}.$$

Доведення.

Підставимо у формулу (2) $x = X_1, y = Y_1$. В результаті отримаємо

$$\begin{aligned} L2f(X_1, Y_1) &= \frac{\omega_{23}(X_1, Y_1)\omega_{31}(X_1, Y_1)}{\int_{12} \omega_{23}(x,y)\omega_{31}(x,y)ds_{12}} \cdot \int_{12} f(x,y)ds_{12} + \\ &+ \frac{\omega_{12}(X_1, Y_1)\omega_{31}(X_1, Y_1)}{\int_{23} \omega_{12}(x,y)\omega_{31}(x,y)ds_{23}} \cdot \int_{23} f(x,y)ds_{23} + \\ &+ \frac{\omega_{12}(X_1, Y_1)\omega_{23}(X_1, Y_1)}{\int_{31} \omega_{12}(x,y)\omega_{23}(x,y)ds_{31}} \cdot \int_{31} f(x,y)ds_{31} = \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= \left[\begin{array}{l} \omega_{12}(X_1, Y_1) = 0 \\ \omega_{31}(X_1, Y_1) = 0 \end{array} \right] = \frac{\omega_{23}(X_1, Y_1) \cdot 0}{\int_{12} \omega_{23}(x, y) \omega_{31}(x, y) ds_{12}} \cdot \int_{12} f(x, y) ds_{12} + \\
&+ \frac{0 \cdot 0}{\int_{23} \omega_{12}(x, y) \omega_{31}(x, y) ds_{23}} \cdot \int_{23} f(x, y) ds_{23} + \\
&+ \frac{0 \cdot \omega_{23}(X_1, Y_1)}{\int_{31} \omega_{12}(x, y) \omega_{23}(x, y) ds_{31}} \cdot \int_{31} f(x, y) ds_{31} = 0
\end{aligned}$$

Підставимо у формулу (2) $x = X_2, y = Y_2$. В результаті отримаємо

$$\begin{aligned}
L2f(X_2, Y_2) &= \frac{\omega_{23}(X_2, Y_2) \omega_{31}(X_2, Y_2)}{\int_{12} \omega_{23}(x, y) \omega_{31}(x, y) ds_{12}} \cdot \int_{12} f(x, y) ds_{12} + \\
&+ \frac{\omega_{12}(X_2, Y_2) \omega_{31}(X_2, Y_2)}{\int_{23} \omega_{12}(x, y) \omega_{31}(x, y) ds_{23}} \cdot \int_{23} f(x, y) ds_{23} + \\
&+ \frac{\omega_{12}(X_2, Y_2) \omega_{23}(X_2, Y_2)}{\int_{31} \omega_{12}(x, y) \omega_{23}(x, y) ds_{31}} \cdot \int_{31} f(x, y) ds_{31} = \\
&= \left[\begin{array}{l} \omega_{12}(X_2, Y_2) = 0 \\ \omega_{23}(X_2, Y_2) = 0 \end{array} \right] = \frac{0 \cdot \omega_{31}(X_2, Y_2)}{\int_{12} \omega_{23}(x, y) \omega_{31}(x, y) ds_{12}} \cdot \int_{12} f(x, y) ds_{12} + \\
&+ \frac{0 \cdot \omega_{31}(X_2, Y_2)}{\int_{23} \omega_{12}(x, y) \omega_{31}(x, y) ds_{23}} \cdot \int_{23} f(x, y) ds_{23} + \\
&+ \frac{0 \cdot 0}{\int_{31} \omega_{12}(x, y) \omega_{23}(x, y) ds_{31}} \cdot \int_{31} f(x, y) ds_{31} = 0
\end{aligned}$$

Підставимо у формулу (2) $x = X_3, y = Y_3$. В результаті отримаємо

$$\begin{aligned}
L2f(X_3, Y_3) &= \frac{\omega_{23}(X_3, Y_3) \omega_{31}(X_3, Y_3)}{\int_{12} \omega_{23}(x, y) \omega_{31}(x, y) ds_{12}} \cdot \int_{12} f(x, y) ds_{12} + \\
&+ \frac{\omega_{12}(X_3, Y_3) \omega_{31}(X_3, Y_3)}{\int_{23} \omega_{12}(x, y) \omega_{31}(x, y) ds_{23}} \cdot \int_{23} f(x, y) ds_{23} + \\
&+ \frac{\omega_{12}(X_3, Y_3) \omega_{23}(X_3, Y_3)}{\int_{31} \omega_{12}(x, y) \omega_{23}(x, y) ds_{31}} \cdot \int_{31} f(x, y) ds_{31} = \\
&= \left[\begin{array}{l} \omega_{31}(X_3, Y_3) = 0 \\ \omega_{23}(X_3, Y_3) = 0 \end{array} \right] = \frac{0 \cdot 0}{\int_{12} \omega_{23}(x, y) \omega_{31}(x, y) ds_{12}} \cdot \int_{12} f(x, y) ds_{12} + \\
&+ \frac{\omega_{12}(X_3, Y_3) \cdot 0}{\int_{23} \omega_{12}(x, y) \omega_{31}(x, y) ds_{23}} \cdot \int_{23} f(x, y) ds_{23} + \\
&+ \frac{\omega_{12}(X_3, Y_3) \cdot 0}{\int_{31} \omega_{12}(x, y) \omega_{23}(x, y) ds_{31}} \cdot \int_{31} f(x, y) ds_{31} = 0
\end{aligned}$$

Отже, $L2f(X_i, Y_i) = 0, i = \overline{1, 3}$. Лема 2 доведена.

Лема 3. Функція $L2f(x, y)$ і інтегрована $f(x, y)$ мають однакові проекції, тобто криволінійні інтеграли першого роду, вздовж сторін трикутника,

$$\int_{ij} L2f(x, y) ds_{ij} = \int_{ij} f(x, y) ds_{ij}.$$

Доведення. Покладемо $(i, j) = (1, 2)$. В результаті отримаємо:

$$\begin{aligned}
\int_{12} L2f(x, y) ds_{12} &= \frac{\int_{12} \omega_{23}(x, y) \omega_{31}(x, y) ds_{12}}{\int_{12} \omega_{23}(x, y) \omega_{31}(x, y) ds_{12}} \cdot \int_{12} f(x, y) ds_{12} + \\
&+ \frac{\int_{23} \omega_{12}(x, y) \omega_{31}(x, y) ds_{23}}{\int_{23} \omega_{12}(x, y) \omega_{31}(x, y) ds_{23}} \cdot \int_{23} f(x, y) ds_{23} + \\
&+ \frac{\int_{31} \omega_{12}(x, y) \omega_{23}(x, y) ds_{31}}{\int_{31} \omega_{12}(x, y) \omega_{23}(x, y) ds_{31}} \cdot \int_{31} f(x, y) ds_{31} = \\
&= \left[\begin{array}{l} \int_{12} \omega_{12}(x, y) \omega_{31}(x, y) ds_{12} = 0 \\ \int_{12} \omega_{12}(x, y) \omega_{23}(x, y) ds_{12} = 0 \end{array} \right] = \frac{\int_{12} \omega_{23}(x, y) \omega_{31}(x, y) ds_{12}}{\int_{12} \omega_{23}(x, y) \omega_{31}(x, y) ds_{12}} \cdot \int_{12} f(x, y) ds_{12} = \int_{12} f(x, y) ds_{12}
\end{aligned}$$

Покладемо $(i, j) = (2, 3)$. В результаті отримаємо:

$$\begin{aligned}
\int_{23} L2f(x, y) ds_{23} &= \frac{\int_{23} \omega_{23}(x, y) \omega_{31}(x, y) ds_{23}}{\int_{23} \omega_{23}(x, y) \omega_{31}(x, y) ds_{23}} \cdot \int_{23} f(x, y) ds_{23} + \\
&+ \frac{\int_{31} \omega_{12}(x, y) \omega_{31}(x, y) ds_{31}}{\int_{31} \omega_{12}(x, y) \omega_{31}(x, y) ds_{31}} \cdot \int_{31} f(x, y) ds_{31} + \\
&+ \frac{\int_{12} \omega_{12}(x, y) \omega_{23}(x, y) ds_{12}}{\int_{12} \omega_{12}(x, y) \omega_{23}(x, y) ds_{12}} \cdot \int_{12} f(x, y) ds_{12} = \\
&= \left[\begin{array}{l} \int_{23} \omega_{23}(x, y) \omega_{31}(x, y) ds_{23} = 0 \\ \int_{23} \omega_{12}(x, y) \omega_{23}(x, y) ds_{23} = 0 \end{array} \right] = \frac{\int_{23} \omega_{23}(x, y) \omega_{31}(x, y) ds_{23}}{\int_{23} \omega_{23}(x, y) \omega_{31}(x, y) ds_{23}} \cdot \int_{23} f(x, y) ds_{23} = \int_{23} f(x, y) ds_{23}
\end{aligned}$$

Покладемо $(i, j) = (3, 1)$. В результаті отримаємо:

$$\int_{31} L2f(x, y) ds_{31} = \frac{\int_{31} \omega_{23}(x, y) \omega_{31}(x, y) ds_{31}}{\int_{31} \omega_{23}(x, y) \omega_{31}(x, y) ds_{31}} \cdot \int_{31} f(x, y) ds_{31} +$$

$$\begin{aligned}
 & \int \omega_{12}(x,y)\omega_{31}(x,y)ds_{31} \\
 & + \frac{\int_{23} \omega_{12}(x,y)\omega_{31}(x,y)ds_{23}}{\int_{23} \omega_{12}(x,y)\omega_{31}(x,y)ds_{23}} \cdot \int_{23} f(x,y)ds_{23} + \\
 & \int \omega_{12}(x,y)\omega_{23}(x,y)ds_{31} \\
 & + \frac{\int_{31} \omega_{12}(x,y)\omega_{23}(x,y)ds_{31}}{\int_{31} \omega_{12}(x,y)\omega_{23}(x,y)ds_{31}} \cdot \int_{31} f(x,y)ds_{31} = \\
 & = \left[\begin{array}{l} \int_{31} \omega_{23}(x,y)\omega_{31}(x,y)ds_{31} = 0 \\ \int_{31} \omega_{12}(x,y)\omega_{31}(x,y)ds_{31} = 0 \end{array} \right] = \frac{\int_{31} \omega_{12}(x,y)\omega_{23}(x,y)ds_{31}}{\int_{31} \omega_{12}(x,y)\omega_{23}(x,y)ds_{31}} \cdot \\
 & \cdot \int_{31} f(x,y)ds_{31} = \int_{31} f(x,y)ds_{31}
 \end{aligned}$$

Отже,

$$\int_{ij} L2f(x,y)ds_{ij} = \int_{ij} f(x,y)ds_{ij},$$

$$(i,j) = \{(1,2), (2,3), (3,1)\}.$$

Лема 3 доведена.

Теорема 1. Оператор $Lf(x,y)$ має такі властивості:

1. $Lf(X_i, Y_i) = f(X_i, Y_i), i = \overline{1,3}$,
2. $\int_{ij} Lf(x,y)ds_{ij} = \int_{ij} f(x,y)ds_{ij}$.

Доведення.

1. Підставимо у формулу $Lf(x,y)$ точку $(X_i, Y_i), i = \overline{1,3}$. Отримаємо

$$\begin{aligned}
 Lf(X_i, Y_i) &= L1f(X_i, Y_i) + L2(f(X_i, Y_i) - L1f(X_i, Y_i)) = \\
 &= L1f(X_i, Y_i) + L2f(X_i, Y_i) - L2L1f(X_i, Y_i) = \\
 &= f(X_i, Y_i) + L2f(X_i, Y_i) - L2f(X_i, Y_i) = f(X_i, Y_i), \\
 & i = \overline{1,3}.
 \end{aligned}$$

Таким чином, перше твердження теореми 2 доведене.

2. Розглянемо інтеграл

$$\begin{aligned}
 \int_{ij} Lf(x,y)ds_{ij} &= \int_{ij} (L1f(x,y) + L2(f(x,y) - L1f(x,y)))ds_{ij} = \\
 &= \int_{ij} L1f(x,y)ds_{ij} + \int_{ij} L2(f(x,y) - L1f(x,y))ds_{ij} = \\
 &= \int_{ij} L1f(x,y)ds_{ij} + \int_{ij} L2f(x,y)ds_{ij} - \int_{ij} L2L1f(x,y)ds_{ij} = \\
 &= \int_{ij} L1f(x,y)ds_{ij} + \int_{ij} L2f(x,y)ds_{ij} - \int_{ij} L1f(x,y)ds_{ij} = \\
 &= \int_{ij} L2f(x,y)ds_{ij} = \int_{ij} f(x,y)ds_{ij}, (i,j) = \\
 &= \{(1,2), (2,3), (3,1)\}.
 \end{aligned}$$

Теорема 1 доведена.

3. Операторі інтерполяції полінова від двох змінних 2-го степеня

Лема 4. Всякий поліном від двох змінних 2-го степеня з властивостями

$$P_2(X_k, Y_k) = 0 \quad (4),$$

може бути однозначно представлений в такому вигляді з використанням даних

$$\begin{aligned}
 \gamma_{ij} &= \int_{ij} L^* 2P_2(x,y)ds_{ij}, i, j \in \{(1,2), (2,3), (3,1)\} : \\
 L^* 2P_2(x,y) &= a_1\omega_{13}(x,y)\omega_{12}(x,y) + \\
 &+ a_2\omega_{23}(x,y)\omega_{12}(x,y) + a_3\omega_{23}(x,y)\omega_{31}(x,y)
 \end{aligned} \quad (5)$$

Доведення. Очевидно, що властивості (4) функція (5) задовольняє, оскільки кожний доданок дорівнює 0 в усіх трьох точках (вершинах трикутника), де $\omega_{ij}(x,y)$ – рівняння сторони трикутника, яка з'єднує вершини A_i, A_j .

Якщо $P_2(x,y) = \sum_{0 \leq i+j \leq 2} a_{ij}x_i y_j, a_{ij} \in \mathbb{R}$, тоді функція

$$P_2(x,y) - L1P_2(x,y) = L^* 2P_2(x,y)$$

є поліномом 2-го степеня вигляду:

$$\begin{aligned}
 L^* 2P_2(x,y) &= a_1\omega_{13}(x,y)\omega_{12}(x,y) + \\
 &+ a_2\omega_{23}(x,y)\omega_{12}(x,y) + a_3\omega_{23}(x,y)\omega_{31}(x,y)
 \end{aligned}$$

Для доведення того, що коефіцієнти a_1, a_2, a_3 у формулі $L^* 2P_2(x,y)$ можуть бути однозначно знайдені за допомогою відомих γ_{ij} , знайдемо їх з рівності

$$\int_{ij} L^* 2P_2(x,y)ds_{ij} = \gamma_{ij}, (i,j) = \{(1,2), (2,3), (3,1)\}$$

$$\int_{ij} L^* 2P_2(x,y)ds_{ij} = \int_{ij} (a_1\omega_{13}(x,y)\omega_{12}(x,y) + a_2\omega_{23}(x,y) \cdot \omega_{12}(x,y) + a_3\omega_{23}(x,y)\omega_{31}(x,y))ds_{ij} = \gamma_{ij}$$

Враховуючи, що $\omega_{ij}(x,y) = 0$, на лінії, яка з'єднує дві вершини A_i, A_j і функція $\omega_{ij}(x,y)$ входить множником у два різні доданки в $L^* 2P_2(x,y)$ отримаємо

$$\int_{23} L^* 2P_2(x,y)ds_{23} = a_1 \int_{23} \omega_{13}(x,y)\omega_{12}(x,y)ds_{23} = \gamma_{23}$$

Звідси для невідомого коефіцієнта a_1 отримаємо

$$a_1 = \frac{\gamma_{23}}{\int_{23} \omega_{13}(x,y)\omega_{12}(x,y)ds_{23}}$$

Аналогічно знаходимо a_2, a_3

$$\int_{31} L^* 2P_2(x,y)ds_{31} = a_2 \int_{31} \omega_{23}(x,y)\omega_{12}(x,y)ds_{31} = \gamma_{31}$$

$$a_2 = \frac{\gamma_{31}}{\int_{31} \omega_{23}(x,y)\omega_{12}(x,y)ds_{31}}$$

$$\int_{12} L^* 2P_2(x, y) ds_{12} = a_3 \int_{12} \omega_{23}(x, y) \omega_{31}(x, y) ds_{12} = \gamma_{12}$$

$$a_3 = \frac{\gamma_{12}}{\int_{12} \omega_{23}(x, y) \omega_{31}(x, y) ds_{12}}$$

Таким чином, лема буде доведена, якщо впевнимося в тому, що інтеграли, які стоять у знаменниках a_1, a_2, a_3 , не дорівнюють нулю. Для цього розглянемо пряму, що з'єднує A_1, A_2 . Рівняння цієї

прямої має вигляд $y = Y_2 + \frac{(x - X_2)(Y_1 - Y_2)}{X_1 - X_2}$. Тоді отримаємо

$$\begin{aligned} \int_{12} \omega_{23}(x, y) \omega_{31}(x, y) ds_{12} &= \int_{12} \omega_{23}(x, Y_2 + \frac{(x - X_2)(Y_1 - Y_2)}{X_1 - X_2}) \cdot \\ &\cdot \omega_{31}(x, Y_2 + \frac{(x - X_2)(Y_1 - Y_2)}{X_1 - X_2}) \sqrt{(X_1 - X_2)^2 + (Y_1 - Y_2)^2} ds_{12} = \\ &= \int_{X_2}^{X_1} (x - X_2) \left((x - X_3)(Y_1 - Y_3) - \left(Y_2 + \frac{(x - X_2)(Y_1 - Y_2)}{X_1 - X_2} - Y_3 \right) \right) \cdot \\ &\cdot (X_1 - X_3) \sqrt{(X_1 - X_2)^2 + (Y_1 - Y_2)^2} dx = \int_{X_2}^{X_1} (x - X_2) \cdot \left((x - \right. \\ &\left. - X_3)(Y_1 - Y_3) - Y_2(X_1 - X_3) - \frac{(x - X_2)(Y_1 - Y_2)(X_1 - X_3)}{X_1 - X_2} + \right. \\ &\left. + Y_3(X_1 - X_3) \right) \sqrt{(X_1 - X_2)^2 + (Y_1 - Y_2)^2} dx = \int_{X_2}^{X_1} (x - X_2) \cdot \\ &\cdot (x - X_1) \frac{X_1 Y_2 - X_2 Y_1 - X_1 Y_3 + X_3 Y_1 + X_2 Y_3 - X_3 Y_2}{X_1 - X_2} \cdot \\ &\cdot \sqrt{(X_1 - X_2)^2 + (Y_1 - Y_2)^2} dx \neq 0 \end{aligned}$$

Аналогічно доводимо, що

$$\begin{aligned} \int_{23} \omega_{12}(x, y) \omega_{13}(x, y) ds_{23} &\neq 0, \\ \int_{13} \omega_{12}(x, y) \omega_{23}(x, y) ds_{13} &\neq 0 \end{aligned}$$

Отже, коефіцієнти a_1, a_2, a_3 знаходяться однозначно. Лема 4 доведена.

Теорема 2. Оператор $Lf(x, y) \equiv f(x, y)$ для всіх $f(x, y) \in P_2$.

Доведення. Побудуємо оператор $L1f(x, y)$ у вигляді:

$$\begin{aligned} L1P_2(x, y) &= P_2(X_1, Y_1) \frac{\omega_{23}(x, y)}{\omega_{23}(X_1, Y_1)} + \\ &+ P_2(X_2, Y_2) \frac{\omega_{31}(x, y)}{\omega_{31}(X_2, Y_2)} + P_2(X_3, Y_3) \frac{\omega_{12}(x, y)}{\omega_{12}(X_3, Y_3)} \end{aligned}$$

Цей поліном має властивості:

$$L1P_2(X_k, Y_k) = P_2(X_k, Y_k), k = \overline{1, 3}$$

Поліном $P_2^*(x, y) = P_2(x, y) - L1P_2(x, y)$ є поліномом другого степеня з властивостями $P_2^*(X_k, Y_k) = 0, k = \overline{1, 3}$. Згідно з лемою 4, кожний такий поліном 2го степеня може бути однозначно виражений формулою

$$\begin{aligned} P_2(x, y) &= \frac{\omega_{13}(x, y) \omega_{12}(x, y)}{\int_{23} \omega_{13}(x, y) \omega_{12}(x, y) ds_{23}} \cdot \gamma_{23} + \\ &+ \frac{\omega_{12}(x, y) \omega_{23}(x, y)}{\int_{13} \omega_{12}(x, y) \omega_{23}(x, y) ds_{13}} \cdot \gamma_{13} + \\ &+ \frac{\omega_{23}(x, y) \omega_{13}(x, y)}{\int_{12} \omega_{23}(x, y) \omega_{13}(x, y) ds_{12}} \cdot \gamma_{12} \end{aligned}$$

Таким чином, оператор інтерполяції функції $f(x, y)$ в вершинах трикутника $(X_k, Y_k), k = \overline{1, 3}$ із заданими проекціями вздовж кожної сторони трикутника може бути представлений у вигляді:

$$\begin{aligned} L1f(x, y) &= f(X_1, Y_1) \frac{\omega_{23}(x, y)}{\omega_{23}(X_1, Y_1)} + f(X_2, Y_2) \frac{\omega_{13}(x, y)}{\omega_{13}(X_2, Y_2)} + \\ &+ f(X_3, Y_3) \frac{\omega_{12}(x, y)}{\omega_{12}(X_3, Y_3)} \end{aligned}$$

$$Lf(x, y) = L1f(x, y) + L2(f(x, y) - L1(x, y)).$$

Теорема 2 доведена.

4. Інтегральне представлення залишку наближення

Теорема 3. Якщо $f(x, y)$ належить до класу $\mathbb{C}^3(T)$, де

$$T = \{(x, y) : \omega_{12}(x, y) \geq 0, \omega_{23}(x, y) \geq 0, \omega_{13}(x, y) \geq 0\},$$

то похибка наближення $Rf(x, y) = f(x, y) - Lf(x, y)$ може бути представлена в інтегральній формі

$$\begin{aligned} Rf(x, y) &= (I - L) \int_0^1 \frac{\partial^3}{\partial t^3} f(\bar{x} + t(x - \bar{x}), \bar{y} + t(y - \bar{y})) \frac{(1-t)^2}{2!} dt, \\ \bar{x} &= \frac{X_1 + X_2 + X_3}{3}, \bar{y} = \frac{Y_1 + Y_2 + Y_3}{3} \end{aligned}$$

I - тотожний оператор.

Доведення. Кожну функцію можна представити у вигляді формули Тейлора

$$\begin{aligned} f(x, y) &= T_2 f(x, y) + \int_0^1 \frac{\partial^3}{\partial t^3} f(\bar{x} + t(x - \bar{x}), \bar{y} + t(y - \bar{y})) \cdot \\ &\cdot \frac{(1-t)^2}{2!} dt, \bar{x} = \frac{X_1 + X_2 + X_3}{3}, \bar{y} = \frac{Y_1 + Y_2 + Y_3}{3} \\ T_2 f(x, y) &= f(\bar{x}, \bar{y}) + f^{1,0}(\bar{x}, \bar{y})(x - \bar{x}) + f^{0,1}(\bar{x}, \bar{y})(y - \bar{y}) + \\ &+ \frac{f^{2,0}(\bar{x}, \bar{y})(x - \bar{x})^2}{2!} + f^{1,1}(\bar{x}, \bar{y})(x - \bar{x})(y - \bar{y}) + \\ &+ \frac{f^{0,2}(\bar{x}, \bar{y})(y - \bar{y})^2}{2!} + \dots \end{aligned}$$

Враховуючи, що $LT_2 f(x, y) = T_2 f(x, y)$, отримаємо

$$\begin{aligned} Rf(x, y) &= f(x, y) - Lf(x, y) = T_2 f(x, y) + \int_0^1 \frac{\partial^3}{\partial t^3} f(\bar{x} + \\ &+ t(x - \bar{x}), \bar{y} + t(y - \bar{y})) \frac{(1-t)^2}{2!} dt - L[T_2 f(x, y) + \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & + \int_0^1 \frac{\partial^3}{\partial t^3} f(\bar{x} + t(x - \bar{x}), \bar{y} + t(y - \bar{y})) \frac{(1-t)^2}{2!} dt = \\
 & = T_2 f(x, y) + \int_0^1 \frac{\partial^3}{\partial t^3} f(\bar{x} + t(x - \bar{x}), \bar{y} + t(y - \bar{y})) \frac{(1-t)^2}{2!} dt - \\
 & - L T_2 f(x, y) - L \int_0^1 \frac{\partial^3}{\partial t^3} f(\bar{x} + t(x - \bar{x}), \bar{y} + t(y - \bar{y})) \frac{(1-t)^2}{2!} dt = \\
 & T_2 f(x, y) + \int_0^1 \frac{\partial^3}{\partial t^3} f(\bar{x} + t(x - \bar{x}), \bar{y} + t(y - \bar{y})) \frac{(1-t)^2}{2!} dt - \\
 & - T_2 f(x, y) - L \int_0^1 \frac{\partial^3}{\partial t^3} f(\bar{x} + t(x - \bar{x}), \bar{y} + t(y - \bar{y})) \frac{(1-t)^2}{2!} dt = \\
 & \int_0^1 \frac{\partial^3}{\partial t^3} f(\bar{x} + t(x - \bar{x}), \bar{y} + t(y - \bar{y})) \frac{(1-t)^2}{2!} dt - \\
 & - L \int_0^1 \frac{\partial^3}{\partial t^3} f(\bar{x} + t(x - \bar{x}), \bar{y} + t(y - \bar{y})) \frac{(1-t)^2}{2!} dt = \\
 & = (I - L) \int_0^1 \frac{\partial^3}{\partial t^3} f(\bar{x} + t(x - \bar{x}), \bar{y} + t(y - \bar{y})) \frac{(1-t)^2}{2!} dt
 \end{aligned}$$

Теорема 3 доведена.

Зауваження. Замість (\bar{x}, \bar{y}) можна використовувати $(X_k, Y_k), k = \{1, 2, 3\}$.

Висновки

В запропонованому методі наближення функції двох змінних автори вперше рекомендують використовувати в теорії і практиці штучного інтелекта для випадку, коли для наближення функції використовуються інтеграли вздовж заданої системи прямих, що перетинають область дослідження [8, 9].

В даній статі для випадку наближення функції 2-х змінних в трикутнику за допомогою відомих проекцій – інтегралів вздовж сторін трикутника та інтерполяційних даних у вершинах трикутника запропоновано в методі побудови інтерполяційних операторів невідомі інтерполяційні дані знаходити з умови, щоб оператор наближення точно відновлював всі поліноми другого степеня. Всі результати сформульовані і доведені у вигляді лем та теорем. Знайдено інтегральне представлення залишку наближення тричі неперервно диференційованої функції 2-х змінних побудованими операторами. Результати дозволяють провести узагальнення на випадок операторів, які інтерполюють функція 2-х змінних в точках перетину $M (M > 3)$ непаралельних прямих ніякі три з яких не перетинаються в одній точці і мають задані проекції вздовж вказаних M прямих.

Автори вважають, що за такими методами майбутнє штучного інтелекта в теорії і практиці.

Список літератури. 1. Наттерер Ф. Математические аспекты компьютерной томографии: Пер. с англ./ Ф. Наттерер. – Москва: Мир, 1990. – 279 с. **2.** Хермен Г. Восстановление изображений по проекциям. – Москва: Мир, 1983, 352 с. **3.** Терновой К. С., Синьков М. В., Закидальский А. И. и др. Введение в современную томогра-

фию. – Київ: Наукова думка, 1983. – 231 с. **4.** Литвин О. М. Интерлиация функций та деякі її застосування. – Харків: Основа, 2002. – 544 с. **5.** Литвин О. О. Математичне моделювання в малоракурсній комп'ютерній томографії на основі інтерліації та мішаної апроксимації функцій: Автореф. дис... канд. фіз.-мат. наук. – Київ: 2009. – 20с. **6.** Литвин О. О., Хурдей Є. Л. Методи побудови операторів із заданими проекціями вздовж перетинних прямих, які інтерполюють $f(x, y)$ в точках перетину цих прямих. Проблемы машиностроения, № 3. – Харків: 2013 г., с. 60 – 67 **7.** Литвин О. О., Хурдей Є. Л. Поліноміальна інтерполяція з відомими проекціями на довільній системі N груп прямих, які складаються з M паралельних прямих. Проблемы машиностроения, № 3, – Харків: 2014 г., с. 60 – 66. **8.** Пуятін Є. П., Гороховатський В. О., Матат О. О. Методи та алгоритми комп'ютерного зору. Навч. посібник. – Харків: СМІТ, 2006. – 236с. **9.** Бондаренко М. Ф., Шабанов-Кушнарченко Ю. П. Теория интеллекта. Учебник. – Харьков: СМІТ, 2006. – 574с.

Resume

Lytvyn O. M., Lytvyn O. O., Hurdei E. L.

ABOUT THE SELECTION OF UNKNOWN DATA OF APPROXIMATE FUNCTION IN THE OPERATOR OF INTERPOLATION WITH THE SET PROJECTIONS

Background: Nowadays the methods of the computer tomography are used during the indestructible control of an object at the custom houses; during the research of human's internals, using medical tomographs; in an optical tomography, etc. Authors of this publication consider that it is time to use in bionics of intelligence during the mathematical modeling not only the value of this or that characteristics in the internal points of an object (which, by the way, can be unknown), but also the integrals from the corresponding characteristic along the specified system of lines.

Materials and methods: In the present work the method of creation of operators of interpolation with the set projections along the specified lines is investigated and for the first time the general approach to the selection of the unknown interpolation values of required function in the interpolation points is offered.

Results: In the present article it is offered for a case of the search of a function of 2 variables in a triangle by means of the known projections of integrals along the sides of a triangle and the interpolation data in the peaks of a triangle to find the unknown interpolation data in a method of creation of interpolation operators, using the condition that the operator of the search should sharply restore all polynomials of the second degree. All results are formulated and proved in the form of Lemmas and theorems. Integral representation of the residue of approximation of thrice continuously differentiable function of 2 variables by the created operators is found.

Conclusion: In the proposed method of the search of function of two variable the Authors for the first time recommend to use in the theory and practice of an artificial intelligence for a case when for the search of the function the integrals along the specified system of lines which cross the area of a research are used. In the present work it is considered only the case, when the number of lines is three. But the method, proposed in the present work, for this time is generalized by the Authors for the case, when the quantity of projections satisfies the inequality $M \geq 3$ and this M lines intersect each other, but at the same time in the one point not more, than three lines intersect one another.

Надійшла до редакції 29.09.2017

УДК537.2+519.632+681.7



Л. І. Мочурад

Національний університет «Львівська Політехніка»,
м. Львів, Україна lesiamochurad@gmail.com

РОЗПАРАЛЕЛЕННЯ РОЗРАХУНКУ ЕЛЕКТРОСТАТИЧНОГО ПОЛЯ ПЛОСКОГО КОНДЕНСАТОРА

Розглянуто задачу розрахунку електростатичного поля паралельного конденсатора. При її розв'язуванні продемонстровано переваги запропонованої методики. Здійснено розпаралелення процедури чисельного розв'язування задачі електростатики з абелевою групою симетрії восьмого порядку. Для підтвердження доречності розпаралелення означеної процедури проведено чисельні експерименти з використанням популярного програмного засобу *OpenMP*.

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ, ІНТЕГРАЛЬНІ РІВНЯННЯ, ТЕОРІЯ ПОТЕНЦІАЛУ, АБЕЛЕВА ГРУПА СИМЕТРІЇ, БАГАТОЯДЕРНІСТЬ ПРОЦЕСОРА, ПРОГРАМНИЙ ЗАСІБ *OPENMP*

Мочурад Л.І. Распараллеливания расчета электростатического поля плоского конденсатора. Рассмотрена задача расчета электростатического поля паралельного конденсатор. При ее решении продемонстрированы преимущества предлагаемой методики. Осуществлено распараллеливания процедуры численного решения задачи электростатики с абелевой группой симметрии восьмого порядка. Для подтверждения уместности распараллеливания обозначенной процедуры проведены многочисленные эксперименты с использованием популярного программного средства *OpenMP*.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, ИНТЕГРАЛЬНЫЕ УРАВНЕНИЯ, ТЕОРИЯ ПОТЕНЦИАЛА, АБЕЛЕВА ГРУППА СИММЕТРИИ, МНОГОЯДЕРНОСТЬ ПРОЦЕССОРОВ, ПРОГРАММНОЕ СРЕДСТВО *OPENMP*

Mochurad L.I. Parallelization of calculating of the electrostatic field of a plastic condenser. The problem of calculating the electrostatic field of a parallel capacitor is considered. When it was solved, the advantages of the proposed methodology were demonstrated. The parallelization of the numerical solution of the problem of electrostatics with the abelian symmetry group of the eighth order is carried out. To confirm the appropriateness of the parallelization of the specified procedure, numerous experiments were carried out using the popular *OpenMP* software.

MATHEMATICAL MODELING, INTEGRAL EQUATIONS, POTENTIAL THEORY, ABELIAN GROUP OF SYMMETRY, MULTICORER PROCESSORS, THE *OPENMP* SOFTWARE

Вступ

У сучасній техніці складно знайти галузь, де б широко й різноманітно не застосовувались конденсатори. Їх використовують практично у всіх електронних і радіотехнічних схемах. Вони разом з транзисторами і резисторами є основою радіотехніки. Енергія конденсаторів звичайно не дуже велика, проте вони здатні накопичувати її впродовж тривалого часу, а під час розрядження віддають її майже миттєво. Саме ці якості конденсаторів використовують найбільше на практиці. Конденсатори застосовують як згладжувачі пульсацій у випрямлячах змінного струму, в електромагнітних коливальних контурах, для накопичення великої кількості енергії, під час проведення експериментів у галузі ядерної техніки і керованого термоядерного синтезу.

У процесі проектування конденсаторів постає проблема визначення електростатичного поля, утвореного сукупністю заряджених електродів. Аналітичний розрахунок поля часто ускладнений через складну конфігурацію електродів, тому на практиці для визначення електростатичних полів у таких системах широко використовують методи математичного моделювання. У математичній моделі окремі електроди подають у вигляді

розімкнених поверхонь, на яких задають граничні значення потенціалу. Ефективні розв'язки такої задачі можна одержати на підставі методу інтегральних рівнянь, оскільки його застосування пов'язане із знаходженням невідомих величин лише на граничних поверхнях. Однак присутність значної кількості електродів та високі вимоги до точності обчислень суттєво ускладнюють традиційне застосування методу. У такій та подібних ситуаціях доцільно розбивати задачу на незалежні складові врахувавши наявні симетрії в геометрії розімкнених поверхонь та зменшувати складність розглядаючи лише плоскі перерізи просторових конструкцій. Очевидною перевагою розглядуваного підходу є створення передумов для розпаралелення процедури розв'язування задачі в цілому.

1. Постановка задачі

Плоским конденсатором називають систему з двох плоских пластин, розташованих паралельно одна одній на малій у порівнянні з розмірами відстані і розділених шаром діелектрика. Електричне поле плоского конденсатора, в основному, локалізовано між пластинами, однак, поблизу країв пластин і в навколишньому просторі також виникає

порівняно слабке електричне поле, яке називають полем розсіювання. У цілому ряді задач наближено можна нехтувати полем розсіювання і думати, що електричне поле плоского конденсатора цілком зосереджено між його обкладками. Але в інших завданнях нехтування полем розсіювання може призвести до грубих помилок, так як при цьому порушується потенційний характер електричного поля.

Не зменшуючи загальності, розглянемо задачу розрахунку електростатичного поля паралельного конденсатора, зображеного на рис. 1.

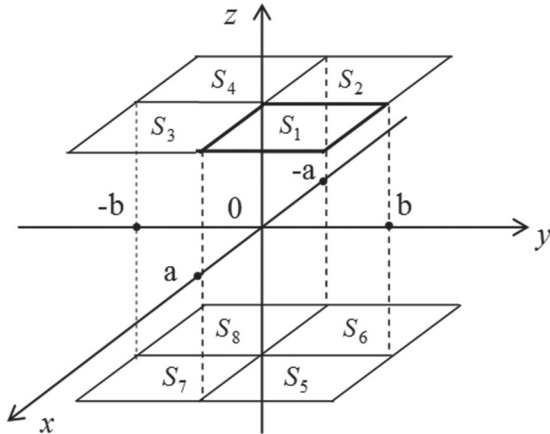


Рис. 1. Розміщення пластин паралельного конденсатора

Легко бачити, що при математичному моделюванні проблеми інформацію про геометрію заряджених електродів подають у вигляді деякої сукупності S двох паралельних прямокутних пластин. Вказані пластини будемо вважати безмежно тонкими, з математичної точки зору двосторонніми та обмеженими кусково-гладкими контурами скінченної довжини. Отже, необхідно знайти функцію $u(P) \in H^1(\Omega_s^-, \Delta)$, яка задовольняє умови

$$\Delta u(P) = 0, \quad P \in \Omega_s^- := \mathbf{R}^3 \setminus \bar{S} \quad (1)$$

$$\delta^\pm u(P) = g_\pm(P), \quad P \in S; \quad (2)$$

$$\lim_{|P| \rightarrow \infty} u(P) = 0, \quad P \in \Omega_s^-; \quad (3)$$

де $\delta^\pm: H^1(\Omega_s^-) \rightarrow H^{1/2}(S)$ – оператори сліду, $g_\pm \in H^{1/2}(S)$ – задані функції, причому g_\pm – відоме значення шуканої функції на S відповідно з додатної та від’ємної сторони, а

$$H^1(\Omega_s^-, \Delta) = \left\{ u \mid u \in H^1(\Omega_s^-), \Delta u \in L_2(\Omega_s^-) \right\}.$$

При електростатичній інтерпретації (1)-(3) (у нашому випадку) $g_+(P) = g_-(P) = f(P)$ ($P \in S$) є граничним значенням потенціалу, яке на кожному із двох електродів приймає постійні значення.

Відомо [1], що задача (1)-(3) еквівалентна інтегральному рівнянню

$$\iint_S K(P, M) \rho(M) dS_M = f(P), \quad P \in S, \quad (4)$$

де $K(P, M) := 1/\text{dist}(P, M)$ – фундаментальний розв’язок оператора Лапласа в \mathbf{R}^3 , а $\rho(M)$ – шукана

“густина розподілу зарядів” на S . Очевидно, що поверхню S можна представити у вигляді сукупності восьми конгруентних складових S_i ($i=1, 8$) (див. рис. 1).

Вказана задача грає роль модельної. При її розв’язуванні продемонструємо переваги запровадженої методики, оскільки відтворення електростатичного поля плоского конденсатора не є тривіальною проблемою за умов суттєвої відмінності потенціалів на відповідних пластинах і поступового зменшення відстані між ними.

2. Опис методики розв’язування задачі

У роботі [2], встановлено, що розглядувана задача володіє абелевою групою симетрії восьмого порядку. Це дає можливість перейти від сукупної системи інтегральних рівнянь до послідовності восьми незалежних інтегральних рівнянь, заданих лише по одній конгруентній складовій поверхонь-електродів — S_1 . Загальним результатом такого підходу є уникнення числової нестійкості, яка може виникати у процесі розв’язання систем лінійних алгебричних рівнянь, що апроксимують відповідні системи інтегральних при непомірному збільшенні їх розмірностей.

У процесі знаходження електростатичного поля, створюваного реальною системою, що прив’язана до певної ортогональної системи координат, за умови переважання одного із характерних розмірів сукупної поверхні-електрода, над іншими, для встановлення якісної картини розподілу потенціалу можна обмежитись дослідженням поля в центральному поперечному перерізі просторової конструкції [3]. У такому випадку відносно проста “плоска” модель стає в нагоді для підтвердження достовірності результатів розв’язання задачі в суттєво просторовій постановці. Деталі дослідження останньої висвітлені у роботі [4].

Відомо[5], що густина розподілу поверхневого заряду стрімко зростає поблизу краю зарядженої поверхні. Це пов’язано з наявністю потенціального бар’єра, розмір якого в радіальному напрямі практично співпадає з розміром поверхні. З математичного боку, густина розподілу поверхневого заряду є необмеженою на краю поверхні. Проте функція є неперервною, адже визначена на відкритій множині, і точки колокації на межу не потрапляють. Тому оператори звуження та продовження є обмеженими, і відповідний градієнт існуватиме. У такому випадку математичне моделювання розглядуваного електростатичного поля передбачає також врахування сингулярної поведінки шуканої густини розподілу зарядів $\rho(M)$ в околі кутової точки складової поверхні S_1 . Слід зауважити, що врахування специфіки розімкнених поверхонь, а саме, їх геометричної симетрії, дозволило зменшити кількість контрольованих особливих точок з восьми до однієї. У роботі [6] запроваджено апостеріорний метод оцінювання похибки, який допомагає надійно контролювати нерегулярність $\rho(M)$

в околі кутової точки складової S_1 поверхні S , відмовляючись таким чином від аналітичного врахування її поведінки.

Для графічного зображення поля ефективним виявляється використання еквіпотенціальних ліній. Останнє дає можливість легко побудувати силові лінії, використовуючи таку властивість як ортогональність. Це значно полегшує експериментальне і теоретичне дослідження електростатичного поля. Останній факт має особливо широке застосування в техніці, оскільки при конструюванні електронних ламп, конденсаторів, електронних лінз та інших приладів часто треба знайти розподіл електростатичного поля в просторі.

3. Розпаралелення процедури розв'язування задачі в цілому

Вказана вище процедура створює усі передумови до можливого розпаралелення процедури розв'язування задачі в цілому. Для реалізації паралельних алгоритмів можна використовувати паралельні комп'ютери або таку властивість як багатопотоковість. Перший спосіб дає можливість, вибираючи різну кількість процесорів, досягати або максимальної ефективності їх завантаження, або ж збільшувати швидкість обчислень. Другий спосіб дозволяє, використовуючи сучасні архітектури багатоядерних процесорів, провести експериментальні дослідження застосування найбільш популярного засобу *OpenMP* [7] для розпаралелення процедури чисельного розрахунку електростатичного поля паралельного конденсатора.

На сьогоднішній день більшості персональних комп'ютерів характерна наявність багатоядерних процесорів. Одним з найбільш популярних засобів паралельного програмування на багатоядерних комп'ютерах із загальною пам'яттю є програмний засіб *OpenMP*, за допомогою якого можна розпаралелити окремі частини програми, які будуть виконуватись на ядрах комп'ютера окремими потоками. При цьому не потрібно описувати обмін інформацією.

У нашому випадку, тобто при чисельному розв'язуванні крайової задачі теорії потенціалу з абелевою групою симетрії восьмого порядку, отримано вісім незалежних інтегральних рівнянь. Так, з метою більш ефективних затрат комп'ютерного часу доцільно використовувати розпаралелення програми чисельного розв'язування інтегральних рівнянь шляхом одночасного розв'язування їх на незалежних потоках. При цьому кількість ядер може не збігатись з кількістю потоків, на які розпаралелюється програма. На однопроцесорних комп'ютерах паралельна програма виконується одним потоком.

4. Чисельні експерименти

Чисельні експерименти проведені на комп'ютерах різної конфігурації з різною кількістю ядер. Час розв'язування подано в мікросекундах. При цьому,

використовуючи стандарт *OpenMP* програмування реалізовано на мові C++.

На рис. 2 представлений розподіл ліній рівного потенціалу у площині $x = 0$ при граничних значеннях потенціалу $f_1 = -1$, $f_2 = 1$, кількості точок колокації $N = 100$, при відсутності переважання однієї геометричної складової поверхні над іншими.

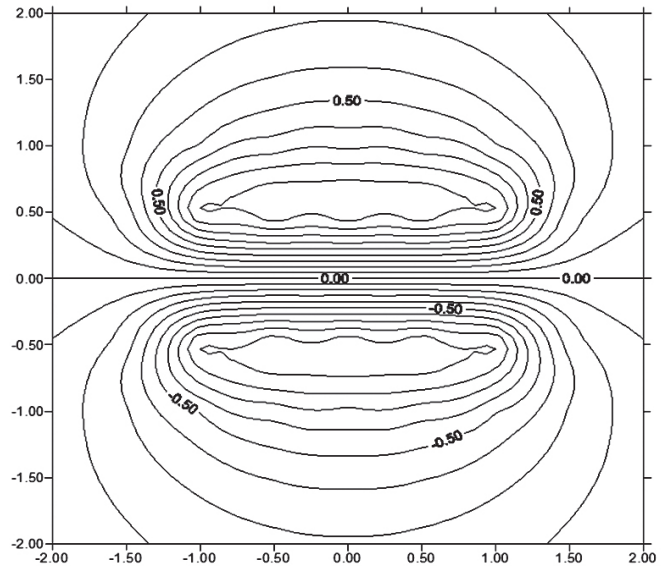


Рис. 2. Розподіл ліній рівня в площині $x = 0$ при $a/b = 1$.

На рис. 3 представлений розподіл ліній рівного потенціалу у площині $x = 0$ при граничних значеннях потенціалу $f_1 = 1$, $f_2 = -100$, кількості точок колокації $N = 100$, при переважанні однієї геометричної складової поверхні над іншими у шістнадцять разів.

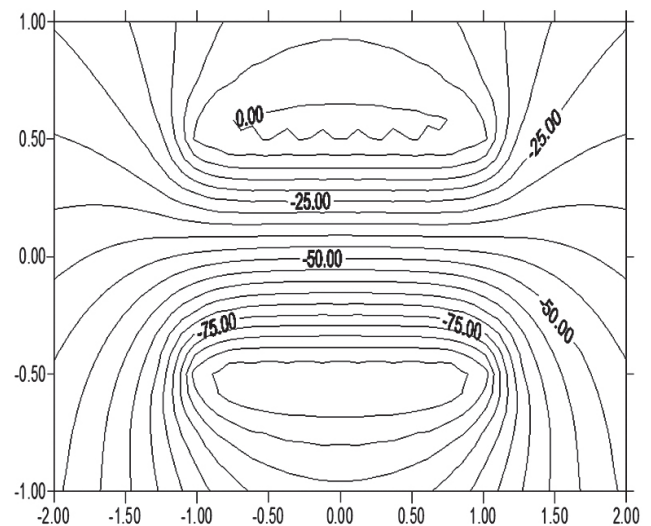


Рис. 3. Розподіл ліній рівного потенціалу у площині $x = 0$ при $a/b = 16$.

У табл. 1 наведено значення потенціалу U електростатичного поля плоского конденсатора в декількох контрольних точках площини $x = 0$ і значення потенціалу при розв'язуванні відповідної "плоскої" задачі електростатики, що дозволяє перевірити достовірність отриманих розв'язків.

Таблиця 1

Потенціал електростатичного поля в площині $x = 0$

(y, z)	$U (a/b=16)$	“плоске” наближення
(-1.00, -0.75)	-79.3731	-79.3729
(-1.00, -0.25)	-66.4593	-66.4594
(-1.00, 0.00)	-46.3909	-46.3910
(-1.00, 0.25)	-27.0001	-27.0004
(-1.00, 0.75)	-10.4086	-10.4082
(-0.75, -0.50)	-99.9925	-99.9930
(1.00, 0.75)	-10.4086	-10.4082
(2.00, -1.00)	-48.9304	-48.9307

У табл. 2 наведено час виконання програми, при розпаралеленні процедури розв’язування задачі з використанням програмного засобу *OpenMP*. r – кількість ядер, p – кількість потоків, t – час виконання програми.

Таблиця 2

Час виконання програми

N	r	p	t (мс)	N	r	p	t (мс)
100	1	1	1374	400	1	1	6045
		2	1368			2	5882
		4	1368			4	5882
		8	1374			8	6045
	2	1	389		2	1	1596
		2	196			2	797
		4	194			4	796
		8	196			8	797
	4	1	250		4	1	866
		2	148			2	571
		4	60			4	216
		8	60			8	216

На рис. 4 і рис. 5 представлені діаграми, які наочно відображають залежність часу обчислень від кількості ядер.

За результатами чисельних експериментів на комп’ютері з одноядерним процесором час розв’язування задачі за програмою із застосуванням *OpenMP* не суттєво відрізняється від часу розв’язування без його використання, оскільки тут програмно відтворюються два, чотири, вісім потоків, у той час як фізично комп’ютер має одне ядро.

За результатами чисельних експериментів на комп’ютері з одноядерним процесором час розв’язування задачі за програмою із застосуванням *OpenMP* не суттєво відрізняється від часу розв’язування без його використання, оскільки тут програмно відтворюються два, чотири, вісім потоків, у той час як фізично комп’ютер має одне ядро.

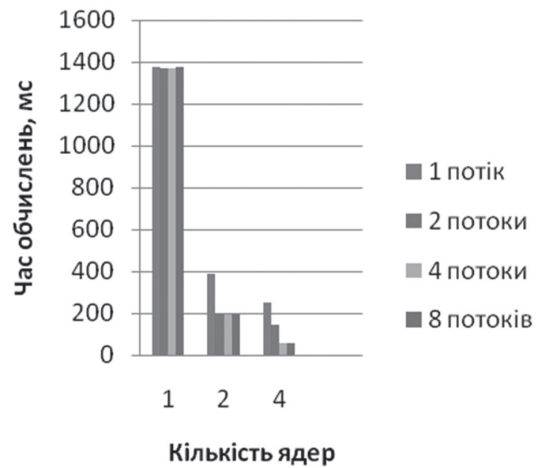


Рис. 4. Залежність часу обчислень від кількості ядер $N = 100$

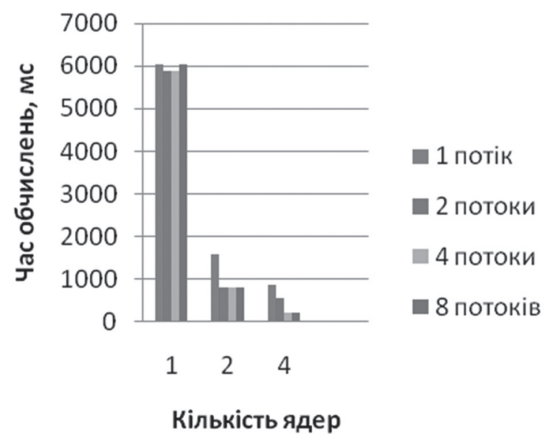


Рис. 5. Залежність часу обчислень від кількості ядер $N = 400$

При виконанні програми на комп’ютері з дво-ядерним процесором час розв’язування задачі за паралельною програмою приблизно в два рази зменшується порівняно з часом розв’язування за звичайною програмою. Часова оцінка у випадку співпадіння кількості потоків і кількості ядер мало відрізняється від часової оцінки, яку отримують збільшуючи кількість потоків за умов незмінної кількості розв’язуваних рівнянь. Це пояснюється тим, що фізично процесор лишається двоядерним.

Якщо програма виконується на комп’ютері з чотириядерним процесором, то час розв’язування задачі за паралельною програмою приблизно в чотири рази зменшується порівняно з часом розв’язування за звичайною програмою. Очевидно, що зі збільшенням кількості ядер ці показники будуть покращуватись. Отже, використання багато-ядерності персонального комп’ютера є доцільним при розв’язуванні задач великих розмірностей з метою більш ефективних затрат комп’ютерного часу на їх виконання.

Висновки

Розглянуто ефективну методику розрахунку електростатичного поля плоского конденсатора. Отримано ряд суттєвих переваг у порівнянні з

існуючими підходами. А саме: вдалось уникнути числової нестійкості внаслідок зменшення порядку матричних рівнянь, які апроксимують відповідні інтегральні; врахування специфіки розімкнених поверхонь (їх геометричної симетрії) дозволило значно зменшити кількість контрольованих особливих точок (в найкращому випадку мати справу лише з однією); отримано усі передумови до розпаралелення процедури розв'язування задачі в цілому та здійснено аналіз деяких аспектів цієї процедури. Проведені дослідження показують наскільки реальною і важливою стає можливість ефективного використання багатоядерності персонального комп'ютера для розв'язування задач великих об'ємів. При цьому час розв'язування задачі на багатоядерних персональних комп'ютерах значно скорочується при автоматичному розпаралелюванні програми за допомогою інтерфейсу *OpenMP*.

Список літератури: 1. Sybil Yu. M. Three dimensional elliptic boundary value problems for an open Lipschitz surface // Матем. студії. 1997. Т. 8. № 2. — С. 79-96. 2. Гарасим Я. Метод інтегральних рівнянь при числовому моделюванні граничних задач теорії потенціалу та можливості його ефективного використання / Я. Гарасим, Л. Мочурад, Б. Остудін // Вісн. Льв. ун-ту. Сер. прикл. матем. та інформ. — 2008. — Вип. 14 — С. 64-74. 3. Владимиров В. С. Уравнения математической физики. / В. С. Владимиров, В. В. Жаринов — М.: Физматлит, 2004. — 400 с. 4. Гарасим Я. С. Розпаралелення методу інтегральних рівнянь при розв'язуванні граничних задач теорії потенціалу за наявності симетричних елементів межі / Я. С. Гарасим, Л. І. Мочурад, Б. А. Остудін // Матеріали третьої міжнарод. наук.-техн. конф. «Комп'ютерні науки та інформаційні технології», 25-27 вересня 2008 р., м. Львів — Вид-во ПП «Вежа і Ко», 2008. — С. 342-346. 5. Morrison J. A. Charge singularity at the corner of a flat plate // J. A. Morrison, J. A. Lewis. // SIAM J. Appl. Math. Vol. 31. № 2. 1976. P. 233-249. 6. L. Mochurad. Maximal Using of Specifics of Some Boundary Problems in Potential Theory After Their Numerical Analysis / L. Mochurad, Y. Harasym, B. Ostudin. // International Journal of Computing. — 2009. — Volume 8, Issue 2. — С. 149-156. 7. Voss M. J. OpenMP share memory parallel programming / M. J. Voss. — Toronto, Canada, 2003. — 270 p.

RESUME

Lesya Mochurad

Parallelization of calculating of the electrostatic field of a plastic condenser

The electron-optical systems are basic components of the modern research complexes by the help of which complicated physical processes related to motion of the charged particles in the corresponding potential fields are studied. The problem of calculating the electrostatic field of a parallel capacitor is an important part in the mathematical modeling of the modern electron-optical systems.

Solution is realized via the construction and improvement of the numerical modeling methods in the case of the complicated electrostatic fields. An effective method based on the method of integral equations in combination with the apparatus of group theory is considered in this work.

The methodology which is described above provides stability of procedure of finding the approximate solution of the boundary integral equation. Firstly, this methodology allows us to use the main computer memory more effectively, diminishing it at forming every system of linear algebraic equations which approximate corresponding integral equations. Secondly, pre-conditions are created for separating the process of solving task in general. The parallelization of the numerical solution of the problem of electrostatics with the abelian symmetry group of the eighth order is carried out.

It is also noticed that under predominance of one geometrical component surface over the other ones the changes of the potential value in its transversal cuts close to central are not noticeable. To state the high-quality representation of the field in the central transversal cuts of the electron-optical systems, one can limit the research by the flat cuts of spatial constructions, since boundary surfaces satisfy the geometrical properties mentioned above. Taking into account the specific characters of initial boundary value problem in the mathematical model, describing so-called flat electrostatic field, is considered.

The problem of calculating the electrostatic field of a parallel capacitor is considered. When the problem of calculating the electrostatic field of a parallel capacitor was solved, the advantages of the proposed methodology were demonstrated. To confirm the appropriateness of the parallelization of the specified procedure, numerous experiments were carried out using the popular OpenMP software.

For the representation of the electrostatic field equipotential lines are used, thus, solutions are analysed by the help of distribution of lines of equal potential.

Поступила в редколлегию 02.10.2017



В.М. Леви́кін, О.В. Чала

ХНУРЕ, м. Харків, Україна, levykinvictor@gmail.com

ХНУРЕ, м. Харків, Україна, oksana.chala@nure.ua

КОНЦЕПЦІЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ ПОБУДОВИ БАЗИ ЗНАНЬ У СИСТЕМІ ПРОЦЕСНОГО УПРАВЛІННЯ

Запропоновано концепцію автоматизованої побудови бази знань у системі процесного управління на основі аналізу поведінки бізнес-процесів. Вхідними даними при побудові бази знань є набір послідовностей подій, що відповідають виконанню дій окремими екземплярами бізнес-процесу. Концепція містить у собі фази формування та доповнення, а також використання бази знань при управлінні гнучкими знання-ємними бізнес-процесами. При формуванні та доповненні бази знань виконується виявлення нестандартних змін у поведінці БП, які спричинені використанням неформалізованих знань та досвіду виконавців, у вигляді залежностей між об'єктами та діями процесу. На фазі застосування бази знань отримані залежності використовуються як для безпосереднього управління БП, так і для уточнення його моделі.

СИСТЕМА ПРОЦЕСНОГО УПРАВЛІННЯ, ЗНАННЯ, АВТОМАТИЗОВАНА ПОБУДОВА БАЗИ ЗНАНЬ, ЗНАННЯ-ЄМНИЙ БІЗНЕС-ПРОЦЕС

Левыкин В.М., Чала О.В. Концепция автоматизированного построения базы знаний в системе процессного управления. Предложена концепция автоматизированного построения базы знаний в системе процессного управления на основе анализа поведения бизнес-процессов. В качестве входных данных при построении базы знаний используется набор последовательностей событий, соответствующих выполнению действий отдельными экземплярами бизнес-процесса. Концепция включает в себя фазы формирования и дополнения, а также использования базы знаний при управлении гибкими знание-емкими бизнес-процессами. При формировании и дополнении базы знаний выполняется выявление нестандартных изменений в поведении БП, вызванных использованием неформализованных знаний и опыта исполнителей, в виде зависимостей между объектами и действиями процесса. На фазе применения базы знаний полученные зависимости используются как для непосредственного управления БП, так и для уточнения его модели.

СИСТЕМА ПРОЦЕСНОГО УПРАВЛІННЯ, ЗНАННЯ, АВТОМАТИЗОВАННЕ ПОСТРОЕННЯ БАЗИ ЗНАНИЙ, ЗНАНИЕ-ЕМКИЙ БІЗНЕС-ПРОЦЕС

Levykin V.M. Chala O.V. Concept of automated knowledge bases construction in business process management system. The concept of automated knowledge base construction in business process management system based on the analysis of the behavior of business processes is proposed. Input data is a set of event sequences that correspond to the execution of actions by individual instances of the business process. The concept includes the phases of formation, additions, and the use of knowledge base in the management of flexible knowledge-intensive business processes. When forming and supplementing the knowledge base, detection of non-standard changes in the behavior of the BP, which is caused by the use of informal knowledge and experience of performers in the form of dependencies between objects and actions of the process is performed. In the phase of application of the knowledge base, the dependencies obtained are used both for the direct control of the BC, and for the refinement of its model.

BUSINESS PROCESS MANAGEMENT SYSTEM, KNOWLEDGE, AUTOMATED KNOWLEDGE BASES CONSTRUCTION, KNOWLEDGE-INTENSIVE BUSINESS PROCESS

Вступ

Інформаційні системи процесного управління (ІСПУ) використовують опис діяльності підприємства у вигляді множини бізнес-процесів (БП). Кожен з бізнес-процесів описує послідовність дій з виробництва продукції та послуг, з урахуванням виконавців, ресурсів, клієнтів та постачальників, можливих зовнішніх впливів та без урахування організаційної структури підприємства [1].

Управління підприємством в ІСПУ реалізується через управління бізнес-процесами з використанням їх моделей, представлених у вигляді графів послідовностей робіт (workflow) [2]. Управління кожним БП реалізується за відхиленням, з урахуванням не лише параметрів процесу, але й параметрів

продукції та ступеню задоволеності клієнта. Необхідною умовою для реалізації управління БП є побудова адекватних моделей бізнес-процесів при змінах вимог клієнтів, складу виконавців та ресурсів процесу. Можливості підтримки адекватності моделей залежать від класу бізнес-процесів. Клас знання-ємних бізнес-процесів (ЗБП) характеризується можливостями зміни послідовності виконавцями на основі їх персональних знань та досвіду з урахуванням поточного контексту виконання таких дій [3–5]. Персональні знання зазвичай є неявними, оскільки містять у собі неформалізовані правила та шаблони дій. Практичне застосування таких неявних знань в роботі підприємства значною мірою залежить від досвіду, кваліфікації

та мотивації виконавців. В той же час виконавці у більшості випадків не мають мотивації формалізувати свої знання та ділитись ними [6]. Також, на сьогодні недостатньо розвинені методи та інформаційні технології, що забезпечили б виконавцям переваги від швидкого використання на практиці організаційних знань підприємства. Відповідно, такі знання можуть бути виявлені лише внаслідок моніторингу ходу виконання ЗБП і не можуть бути повністю включені в модель бізнес-процесу при її проектуванні. Тому підтримка адекватності моделі ЗБП з використанням традиційних підходів пов'язана зі значними труднощами.

Зазначене свідчить про актуальність проблеми автоматизованої побудови бази знань у ІСПУ з тим, щоб підвищити ефективність управління ЗБП шляхом побудови більш адекватних моделей процесів.

Існуючі підходи до побудови баз знань в системах процесного управління базуються переважно на використанні ідей Semantic Web та мікроблогінгу [7], тобто потребують додаткової інтерпретації та формалізації знань. З іншого боку, сучасні методи автоматизованої побудови баз знань орієнтовані переважно на інформаційно-пошукові та інформаційно-довідкові системи [8]. Задачам підтримки прийняття управлінських рішень приділяється недостатньо уваги.

Вирішення наведеної проблеми потребує розробки загальної концепції побудови бази знань, яка враховувала б аспект відокремлення знань виконавців на основі аналізу ходу виконання БП, а також аспект підтримки виконання ЗБП з урахуванням виявлених та формалізованих знань.

Постановка задачі

Метою статті є розробка концепції автоматизованої побудови бази знань інформаційної системи процесного управління на основі аналізу її поведінки, що представлена у вигляді записів про послідовність виконання дій бізнес-процесів.

Структура знання-орієнтованої системи процесного управління

Системи процесного управління виконують дві групи задач:

- управління життєвим циклом бізнес-процесів;
- процесне управління.

Перша група задач направлена на побудову, а також удосконалення процесних моделей за результатами аналізу їх виконання. Ці задачі реалізуються підсистемами виконання БП, взаємодії з виконавцями та програмними засобами.

Вирішення задач другої групи забезпечує управління бізнес-процесами підприємства і реалізується підсистемами визначення БП, адміністрування й моніторингу ІСПУ.

Нова парадигма знання-орієнтованого підприємства «Enterprise 2.0» охоплює підходи до

автоматизації управління знаннями, а також впровадження існуючих засобів організації колективної роботи, обміну ідеями та спілкування (соціальні мережі підприємства, месенджери, тощо) для обміну і використання неформальних знань в існуючих процесах на підприємстві [8].

Розробка та застосування бази знань в рамках системи процесного управління у відповідності до цієї парадигми дає можливість підвищити ефективність управління підприємством за рахунок вирішення двох задач з першої та другої груп відповідно:

- аналіз діяльності підприємства, зокрема бізнес-процесів, для виявлення нових знань у формі залежностей між виконавцями, користувачами, постачальниками, тощо;
- підтримка виконання бізнес-процесів та окремих задач (робіт) в конкретному контексті з урахуванням індивідуальних можливостей та ролей виконавців.

Таким чином, ІСПУ, що забезпечує інтеграцію переваг процесного та функціонального управління, повинна мати підсистему управління організаційними знаннями підприємства, що містить у своєму складі базу знань. Структуру такої знання-орієнтованої ІСПУ наведено на рис. 1.

Система процесного управління інтегрується в корпоративну архітектуру підприємства. Відповідно, підходи до вирішення задач управління життєвим циклом БП та процесного управління залежать від поточної архітектури.

Вперше поняття корпоративної архітектури було сформульовано Захманом як «логічної структури для класифікації та упорядкування діяльності підприємства, суттєво важливих для управління підприємством а також розробки корпоративних систем» [9]. Сьогодні використовуються методології побудови корпоративної архітектури TOGAF, FEA, та Gartner.

У відповідності до методології TOGAF, архітектура підприємства містить у собі архітектуру бізнесу, додатків, даних та технологічну архітектуру. Методологія FEA (архітектури федеральної організації) використовує сегментний підхід. Кожен сегмент відображає один із аспектів діяльності підприємства. Методологія Gartner розглядає архітектуру як засіб для досягнення цілей підприємства та передбачає і вертикальну і горизонтальну структуру підприємства. Тобто дана методологія передбачає використання переваг інших архітектур з урахуванням особливостей діяльності та цілей підприємства.

Наведені методології мають такі загальні властивості. По перше, підприємство використовує архітектуру як засіб управління своєю діяльністю. По-друге, архітектура підприємства має відображати ієрархію його функціонування та включати ті аспекти, які дозволяють досягти цілей підприємства.

При визначенні ієрархії рівнів архітектури для процесного управління необхідно враховувати

тренди розвитку бізнес-процесів та управління ними.



Рис. 1. Структура ІСПУ з підсистемою управління знаннями

Зміна принципів діяльності підприємства приводить до еволюції архітектури від функціональної спеціалізації до бізнес-процесів і потім до корпоративної архітектури. Корпоративна архітектура інтегрує можливості людей-виконавців, бізнес-процесів та інформаційних технологій, що

забезпечують виконання бізнес-процесів для досягнення цілей підприємства.

Ієрархія рівнів корпоративної архітектури з урахуванням трендів процесного управління має наступний вигляд:

- підприємство в цілому; на даному рівні формується модель бізнесу, що містить у собі знання про загальну мету та пріоритети у діяльності, а також стратегію, процесну архітектуру, метрики оцінки ефективності, тощо

- процесний рівень, на якому визначається логіка діяльності підприємства у вигляді бізнес-процесів, бізнес-правила, а також необхідної для їх виконання структурованої інформації;

- рівень функціональної спеціалізації, на якому визначаються виконавці, апаратні та програмні компоненти, технології, стандарти, тощо, що забезпечують діяльність на рівні бізнес-процесів.

Наведена структуризація корпоративної архітектури визначає місце підсистем знання-орієнтованої системи процесного управління у корпоративній архітектурі підприємства (рис. 2).

У відповідності до наведеної узагальненої корпоративної архітектури, на рівні підприємства в цілому формується стратегія діяльності. Стратегія базується на визначенні унікальних продуктів, які виробляє підприємство, існуючих зв'язків з клієнтами і партнерами, а також поточних і перспективних можливостей підприємства. Сукупність цих факторів визначає унікальні можливості підприємства, які і задають стратегію його діяльності.

На основі розробленої корпоративної стратегії виконується аналіз контексту діяльності підприємства як віртуального середовища його функціонування. Формується система організаційних знань про контекст діяльності підприємства. Для цього виконується класифікація клієнтів, власників, партнерів, виконавців, визначається схема взаємодії між ними.

Схема взаємодії містить у собі опис продуктів, сервісів, знань, які отримують або постачають клієнти, виконавці, партнери, тощо. На базі схеми взаємодії визначаються критичні фактори успіху та існуючі обмеження в діяльності підприємства.

Таким чином, знання про контекст діяльності підприємства як середовище виконання БП визначають можливості побудови процесної архітектури і моделей бізнес-процесів.

При побудові процесної архітектури формується ієрархія бізнес-процесів як ланцюжків отримання вартості. Для кожного БП визначаються входи і виходи, а також показники ефективності, та пріоритети цих процесів. Потім розробляються моделі процесів із зазначенням алгоритму дій, власника, виконавців, координаторів від керівництва підприємства, тощо. Побудова процесної архітектури виконується підсистемою визначення бізнес-процесів.



Рис. 2. Розподіл підсистем ІСПУ по рівням корпоративної архітектури підприємства

На рівні бізнес-процесів виконується безпосереднє управління БП за допомогою відповідної підсистеми. При управлінні використовуються бізнес-правила, які входять до системи організаційних знань підприємства та задають функціональні вимоги до бізнес-процесів, наприклад: *«Бізнес-процес А11 повинен бути виконаний кожно п'ятницю після 17-00»*. Такі правила можуть бути локально уточнені в рамках підсистеми менеджменту й моніторингу. При виконанні моніторингу фіксуються відхилення ходу процесу від заданого в його моделі. Також протоколюється виконання дій БП у файлі логу (журналі подій).

На рівні функціональної спеціалізації дії процесу виконуються людьми-виконавцями або

програмними додатками. Результати виконання цих дій фіксуються на рівні БП підсистемою моніторингу.

Концепція побудови й використання бази знань в рамках процесного управління підприємством

Записи в журналі подій, що створені системою моніторингу, можуть повністю відповідати апріорній моделі бізнес-процесу, що свідчить про стабільне функціонування підприємства. Однак внаслідок зміни стратегії, змін у контексті діяльності підприємства, а також в результаті застосування виконавцями своїх персональних знань записи у журналі подій можуть відрізнитись від існуючої процесної моделі. В такому випадку необхідно виконати аналіз причин виникнення відхилень у ході виконання БП і, за потреби, доповнити модель процесу. Для того, щоб виявити причини відхилень, необхідно проаналізувати лог процесу та знайти контекстні залежності, що обумовлюють виконання нестандартних послідовностей дій, тобто порівняти просторову і темпоральну складові відповідного бізнес-процесу. За результатами оцінки отриманих залежностей ОПР вони можуть бути внесені в базу знань та використані як для побудови й удосконалення моделей бізнес-процесів, так і для підтримки прийняття рішень при управлінні тими процесами, що виконуються в поточний час. Узагальнену схему запропонованого концептуального підходу наведено на рис. 3

Розроблений підхід складається з двох фаз:

- побудови й поповнення бази знань;
- застосування бази знань в задачах процесного управління.

Перша фаза містить у собі такі етапи:

- побудова прототипу («ядра») бази знань»
- автоматизоване поповнення бази знань на основі аналізу поведінки й результатів виконання бізнес-процесів.

Вхідними даними для першого етапу є явні організаційні знання підприємства, зазвичай у документарній формі. Побудова ядра БЗ виконується традиційними методами інженерії знань з використанням документації підприємства а також інтерв'ювання експертів. Додатково можуть бути використані методи автоматичної побудови БЗ на основі пошуку та аналізу необхідної інформації в web - орієнтованих базах в мережі Інтернет. Результатом даного етапу є БЗ про діяльність підприємства, яка містить у собі відомі підходи до вирішення функціональних задач.

Результати даного етапу дають можливість формалізувати апріорні знання про процесне управління і тим самим підвищити ефективність вирішення завдань побудови ієрархії БП та цільових моделей типових бізнес-процесів в ІСПУ. Однак на даному етапі не завжди враховуються досвід та персональні (як правило, неявні) знання виконавців.

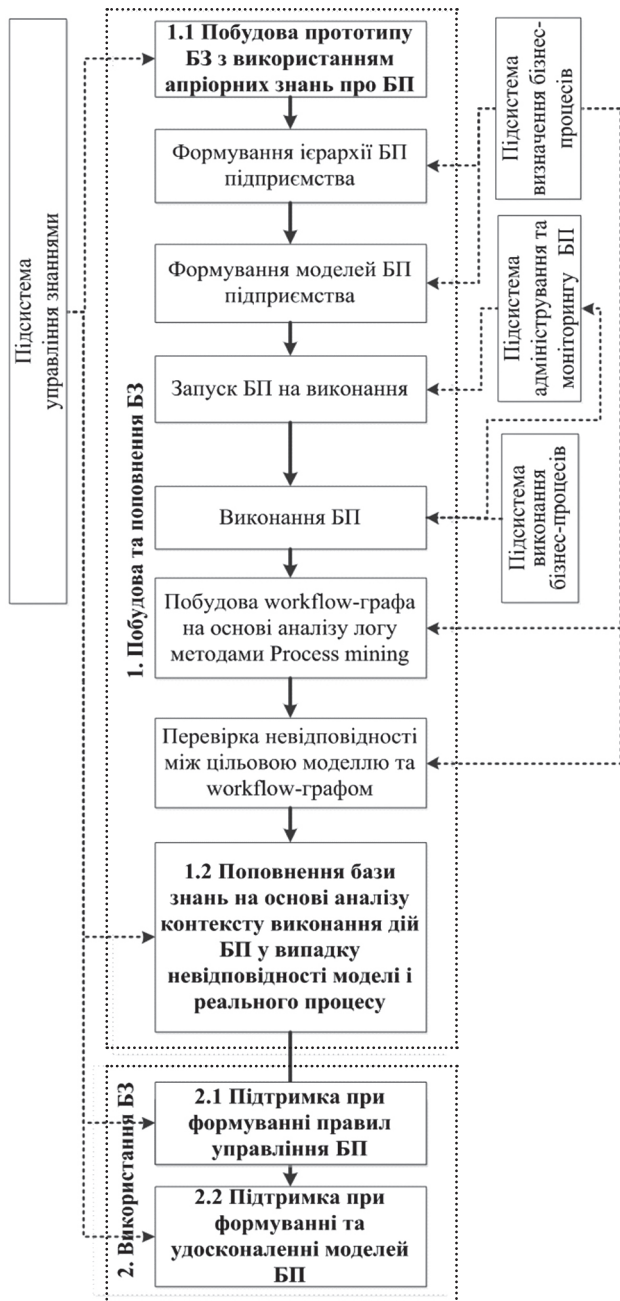


Рис. 3. Послідовність побудови та використання БЗ в циклі функціонування ІСПУ

Такий досвід має відношення до БП та під-процесів, які виникають в результаті колективної творчої роботи виконавців: «ad hoc» процесів для вирішення разових (унікальних) задач; послідовностей обробки непередбачених надзвичайних ситуацій; контекстної оптимізації дій процесу (як з точки зору витрат виконавців, так і з позицій кінцевої мети бізнес-процесу). Досвід кваліфікованих виконавців (knowledge workers, робітників розумової праці) є ключовим для знання-ємних процесів, тобто БП, при управлінні якими безпосередньо використовуються знання виконавців і результатом яких є не лише матеріальна продукція, але й інформація та знання.

Проблема використання персональних неявних знань полягає в тому, що їх дуже важко виявити та

формалізувати традиційними методами. Причина цих труднощів пов'язана з невербальною формою представлення неявних персональних знань. Вони звичайно передаються за принципом «роби за прикладом, роби як я», що створює можливість для їх отримання в результаті аналізу поведінки процесів на підприємстві.

Другий етап даної фази, автоматизоване поповнення бази знань, призначений для виявлення на основі аналізу поведінки БП залежностей, які виникли внаслідок колективного перерозподілу дій між виконавцями (чи окремими виконавцями) та не відповідають апріорній моделі процесу.

Вхідними даними етапу є лог (журнал реєстрації подій) бізнес-процесу. Журнал формується окремо для кожного БП та містить у собі множину шляхів (трас) виконання кожного запущеного екземпляру даного процесу. Кожна траса складається з послідовності подій. Кожна подія відображає виконання дій процесу та характеризується набором атрибутів, що відповідають виконавцям, ресурсам, тощо:

$$L = \{Tr_k\}, Tr_k = \{E_k, R\}, E_k = \{e_i\}, e_i = \{a_{ij}\}, \quad (1)$$

де L – лог БП; Tr_k – траса БП; E_k – множина подій одного екземпляру БП; R – відношення порядку на трасі БП; e_i – подія; a_{ij} – атрибут події БП.

Аналіз логу існуючими методами дає можливість відтворити workflow – граф виконання робіт Wf , який інтегрує у собі всі відомі траєкторії БП, однак не враховує додаткові атрибути подій, тобто не визначає умов виникнення дій процесу. Тому традиційний workflow – граф доцільно розглядати через відображення трас логу на послідовність подій:

$$Wf = \bigvee_{k=1}^K wf_k \mid \exists Tr_k \rightarrow wf_k, \quad (2)$$

де wf_k – послідовність дій одного екземпляру процесу, що відповідає трасі Tr_k з логу.

Порівняння отриманого графу процесу «як є» з існуючою моделлю БП дає можливість виявити невідповідності та усунути неадекватність цільової моделі. Однак традиційні підходи інтелектуального аналізу процесів [10] недостатньо уваги приділяють аналізу стану предметної області при побудові workflow – графа з алгоритмом дій БП, що не дає можливості знайти умови виконання нових дій процесу, а також обмеження на ці дії. Це потребує розробки нових підходів, які використовували б додаткову інформацію про стан предметної області з логу БП.

Друга фаза містить у собі такі етапи:

- підтримка процесного управління шляхом формування або уточнення бізнес-правил для тих процесів, що виконуються в даний час;
- підтримка реінжинірингу та удосконалення моделей бізнес-процесу.

Етап використання БЗ для формування бізнес-правил дозволяє підвищити адекватність поточного екземпляру БП без зміни його моделі. Бізнес-правила формалізують функціональні вимоги до БП і тому можуть бути використані в якості обмежень при виборі конкретної гілки в потоку робіт бізнес-процесу. У випадку виявлення та позитивної оцінки ОПР нових правил вони можуть бути впроваджені безпосередньо у функціонуючій підсистемі адміністрування й моніторингу ІСПУ.

Етап підтримки реінжинірингу та удосконалення моделей бізнес-процесів направлений на підвищення адекватності його цільової моделі після завершення виконання поточного екземпляру БП. Знайдені на основі аналізу поведінки та занесені в базу знань правила запуску дій процесу та обмеження безпосередньо включаються до моделі бізнес-процесу.

Таким чином, ключові задачі побудови й використання баз знань в системах процесного управління пов'язані за аналізом поточної поведінки БП та включають в себе:

- автоматизоване поповнення бази знань на основі аналізу логів БП;
- підтримка процесного управління шляхом формування або уточнення бізнес-правил;
- підтримка реінжинірингу та удосконалення моделей бізнес-процесу на основі виявлення обмежень та правил вибору дій.

Формально задача автоматизованого поповнення бази знань полягає в знаходженні відображення логів БП на відношення між об'єктами та діями, між діями, між об'єктами процесу при обмеженнях по відповідності атрибутів подій та об'єктів БП. Відношення між об'єктами та діями Rl з урахуванням (1) можуть бути представлені відношенням між підмножинами атрибуту подій:

$$Rl = \{a_{ij}\}r\{a_{lm}\}, r \in R \quad (3)$$

Тоді постановка задачі автоматизованого поповнення бази знань полягає в знаходженні відображення:

$$Kb: L \rightarrow Rl \mid a_{ij}, a_{lm} \in A, \quad (4)$$

де A – множина атрибутів об'єктів, які впливають на хід виконання конкретного БП.

Задача підтримки процесного управління полягає в знаходженні обмежень на виконання поточного екземпляру БП з урахуванням стану об'єктів предметної області. Задача підтримки реінжинірингу та модифікації цільової моделі БП включає в себе задачу підтримки процесного управління та полягає в знаходженні таких відношень між об'єктами БП, які забезпечують необхідні та достатні умови вибору дій процесу за умови перевищення заданого порогу повторюваності цих залежностей в журналі подій процесу.

Висновки

Запропоновано концепцію автоматизованої побудови бази знань у системі процесного управління на основі аналізу поведінки бізнес-процесів, що фіксується в форматі журналів подій. Концепція містить у собі фази формування та доповнення, а також використання бази знань при управлінні гнучкими знання-ємними бізнес-процесами. При побудові бази знань виявляються та формалізуються у вигляді залежностей між об'єктами і діями процесу нестандартні зміни його поведінки (послідовностей виконання дій), що спричинені використанням неформалізованих знань та досвіду виконавців БП. На фазі застосування бази знань отримані залежності використовуються як для безпосереднього управління БП, так і для уточнення його моделі. Подальша деталізація концепції пов'язана з визначенням критеріїв нестандартної поведінки, а також методів виявлення та використання знань на основі аналізу журналів подій.

Список літератури: 1. *Weske M.* Business Process Management: Concepts, Languages, Architectures. Second Edition/ M. Weske. – Springer, 2012. – 403 p. 2. *Vom Brocke, J.* Handbook on Business Process Management 1. Introduction, Methods, and Information Systems / J. vom Brocke, M. Rosemann. – Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2015. – 709 p. 3. *Gronau, N.* Modeling and Analyzing knowledge intensive business processes with KMDL: Comprehensive insights into theory and practice (English) / N. Gronau. – Gito, 2012. – 522 p. 4. *Gronau N.* KMDL-Capturing, Analysing and Improving Knowledge-Intensive Business Processes / N. Gronau, C. Müller, R. Korf // Journal of Universal Computer Science. - 2005. – №11(4). – pp. 452-472. 5. *Левикін В. М.* Модель знание-емкого бизнес-процесса для задач интеллектуального анализа процессов // В. М. Левыкин, О.В. Чалая // УСиМ, 2016, №6. – С. 59-66. 6. *Polanyi M.* Personal Knowledge: Towards a Post-Critical Philosophy/ M. Polanyi. – University of Chicago Press, 1958. – 493 p. 7. *Warren, P.* Improving knowledge worker productivity the active approach. / Warren, P., Kings, N., Thurlow, I., Davies, J., Brger, T., Simperl, E., Ruiz, C., Gomez-Perez, J., Ermolayev, V., Ghani, R., Tilly, M., Bsser, T., Intiaz, A. // BT Technology Journal - 2009. – №26, pp.165–176. 8. *Pan, J.Z.* Exploiting Linked Data and Knowledge Graphs in Large Organisations / J.Z. Pan, G. Vetere, J.M. Gomez-Perez, H. Wu. – Springer, 2017. – 266 p. 9. *J.A. Zachman* A framework for information systems architecture / J.A. Zachman // The IBM Systems Journal — 1987 — № 26(3), pp. 276–292. 10. *Van der Aalst, W. M. P.* Process Mining: Discovery, Conformance and Enhancement of Business Processes / W. M. P. Van der Aalst. – Springer Berlin Heidelberg, 2011. – 352 p.

Resume

V.M. Levykin O.V. Chala

CONCEPT OF AUTOMATED KNOWLEDGE BASE CONSTRUCTION IN BUSINESS PROCESS MANAGEMENT SYSTEM

Background: Process control systems implement the management of business processes of the enterprise. To do this, business process models are created. Those models contain a number of possible workflows to achieve process result. For a knowledge-intensive business process, knowledge workers

use personal (tacit) knowledge and experience that takes into account the current context of the process. However, this knowledge is usually not formalized and depends on specific performers and their motivation. Therefore, the personal knowledge are usually not used in the knowledge-intensive business process model, which leads to the inadequacy of such a model. Consequently, the problem of automated knowledge base building for process control systems is topical.

The required dependencies can be identified on the basis of analysis of the behavior of business processes using advanced methods of process mining. Such methods use information from business process event logs. The latter contain information in the form of sequences of events with timestamps, which allows you to restore the sequence of actions of the business process. Additionally, the logs contain information about the actions and objects that the business process uses. This information allows you to identify the relationships between objects, between actions and between objects and actions that affect the progress of the process. Among these dependencies there are typical ones that are already reflected in the process model and non-standard ones that reflect the application of experience and knowledge of the knowledge workers. After identifying these dependencies and incorporating them into the knowledge base, they can be used to manage flexible knowledge-intensive business processes with mutable action sequences.

Materials and methods: process mining techniques that are used to build workflow graph.

Results: The concept of automated knowledge base construction in the business process management system is proposed. The concept provides for the analysis of records about the behavior of business processes presented in the log format. The resulting knowledge base is intended for use in managing business processes.

Conclusion: The concept of automated knowledge base construction in business process management system based on the analysis of the behavior of business processes is proposed. The concept includes the phases of formation and addition, as well as the use of the knowledge base in managing flexible knowledge-intensive business processes. The sequence of building a knowledge base involves identifying and formalizing the informal knowledge and experience of business process executors, which led to its non-standard behavior (a non-standard sequence of actions). At the phase of application of the knowledge base, the obtained dependencies are used both for direct management of the business process and for specification of its model. Further elaboration of the concept is connected with the definition of criteria for non-standard behavior, as well as methods for identifying and using knowledge based on the analysis of event logs.

Надійшла до редакції 01.09.2017

УДК 681.518.5: 519.6: 616



В. А. Горячая, М. Л. Угрюмов, С. В. Черныш

Национальный аэрокосмический университет «ХАИ»,
г. Харьков, Украина, Splajna@gmail.com;Национальный аэрокосмический университет «ХАИ»,
г. Харьков, Украина, m.ugryumov@khai.edu;Национальный аэрокосмический университет «ХАИ»,
г. Харьков, Украина, 91sergey@gmail.com

ИНФОРМАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ СОСТОЯНИЯ ПАЦИЕНТОВ В СИСТЕМАХ МЕДИЦИНСКОГО МОНИТОРИНГА

Предложена прикладная информационная технология прогнозирования состояния пациентов с помощью компьютерной системы поддержки принятия решений (КСППР) в условиях параметрической неопределенности входных данных, которая позволяет повысить качество диагностирования состояния пациентов. КСППР реализует разработанную математическую модель синтеза рациональных решений нелинейной задачи прогнозирования на основе концепции тренд-анализа, метод оценивания информативности переменных многомерных диагностических моделей и моделей контроля состояния, а также статистический метод классификации состояния пациентов на основе аппарата вероятностных нейронных сетей. Представлен пример диагностирования состояния пациентов на основе разработанной КСППР. Высокая эффективность сформированной системной методологии решения задачи прогнозирования состояния пациентов в системах медицинского мониторинга и реализующей ее прикладной информационной технологии достигается за счет применения разработанных методов, а также процедуры ортогонализации и редукции размерности факторного пространства переменных состояния, которая обеспечивает вероятность распознавания классов контрольной выборки свыше 75%.

СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ, ПРОГНОЗИРОВАНИЕ, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ МЕТОДЫ, КЛИНИЧЕСКАЯ МЕДИЦИНА

Горячая В.О., Угрюмов М.Л., Черныш С.В. Інформаційна технологія діагностування стану елементів систем медичного моніторингу. Запропоновано прикладну інформаційну технологію прогнозування стану пацієнтів за допомогою комп'ютерних систем підтримки прийняття рішень (КСППР) в умовах параметричної невизначеності вхідних даних, яка дозволяє підвищити якість діагностування стану пацієнтів. КСППР реалізує розроблену математичну модель синтезу раціональних рішень нелінійної задачі прогнозування стану пацієнтів на основі концепції тренд-аналізу, метод оцінювання інформативності змінних багатовимірних діагностичних моделей і моделей контролю стану, а також статистичний метод класифікації стану пацієнтів в системах медичного моніторингу на основі апарату ймовірнісних нейронних мереж. Наведено приклад діагностування стану пацієнтів на основі розробленої КСППР. Висока ефективність сформованої системної методології вирішення задачі прогнозування стану пацієнтів в системах медичного моніторингу досягається за рахунок застосування розроблених методів, а також процедури ортогоналізації й редукції розмірності факторного простору змінних стану, яка забезпечує ймовірність розпізнавання класу контрольної вибірки понад 75%.

СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ, ПРОГНОЗУВАННЯ, ОБЧИСЛЮВАЛЬНІ МЕТОДИ, КЛІНІЧНА МЕДИЦИНА

Goriacha Veronika A., Ugryumov Mykhailo L., Chernysh Sergey V. Information technology for forecasting of elements condition of medical monitoring systems. This article propose applied information technology of prediction process of the patients' condition with the computer decision support system (CDSS) in the parametric uncertainty of input data, which allows to improve the diagnosing quality of the patients' condition. The CDSS implements developed a mathematical model for the synthesis of rational solutions of the nonlinear predicting problem of patients' condition, which based on the trend analysis concept, a method for evaluating variables informativeness of multidimensional diagnostic models and state control models, and a statistical method for classifying patients in medical monitoring systems based on the probabilistic neural networks. The paper present an example of the patients' condition diagnosing based on the developed CDSS. High efficiency of the developed methodology for solving predicting problems in medical monitoring systems is achieved through the application of the developed methods, as well as the orthogonalization and reduction procedure for the dimension of the factor space of state variables, which provides the probability of recognizing the control sample class in excess of 75%.

SOFTWARE DECISION SUPPORT SYSTEM, REASONING METHODS, COMPUTATIONAL METHODS, CLINICAL MEDICINE

Введение

Развитие дефектов в технических или медико-биологических системах (МБС) — сложный динамический процесс. Эксперты предметной области

не всегда могут прогнозировать насколько быстро эти дефекты будут развиваться. Не всегда удается прийти к единому мнению на какой стадии развития находятся дефекты и, как следствие, какие методы устранения дефектов применять.

Объектом данного исследования являются процессы прогнозирования состояния элементов (пациентов), как этап процессов принятия решений в системах медицинского мониторинга. Атрибутами этих процессов являются: переменные состояния элементов, диагностические модели, информативные переменные состояния модели, модели контроля состояния, классификация состояния элементов системы.

Проблемами объекта исследования являются:

– высокая вероятность ошибки (ошибки 3-его рода [1]) при распознавании состояния пациентов (принадлежности к одному из классов – возможных состояний) на основе данных мониторинга, ибо в зависимости от состояния пациента (стадии заболевания) назначается индивидуальная программа лечения;

– выбор контролируемых переменных состояния индивидуально для каждого пациента с целью последующего анализа эффективности назначенной программы лечения.

Предметом исследования в данной работе является прикладная информационная технология прогнозирования состояния пациентов с помощью компьютерной системы поддержки принятия решений (КСППР) в условиях параметрической неопределенности входных данных, направленная на автоматизацию процесса диагностирования.

Диагностические модели разрабатываются и используются для анализа значений критериев качества состояний элементов МБС в зависимости от значений переменных состояния. Поэтому важно с точки зрения практической деятельности лица принимающего решения (ЛПР) определить, какие из переменных в большей или меньшей степени влияют на критерии качества, характеризующие состояние элементов МБС.

При решении задачи прогнозирования требуется структурировать математическую модель контроля состояния (ММКС) – тренд – функциональную зависимость, отражающую связь между последующими и предыдущими значениями временного ряда, адекватно описывающую временной ряд. Временные ряды эволюционных процессов, являясь дискретной ММКС динамических систем, как правило, содержат параметрическую неопределенность, являются нестационарными и зашумлены.

При решении задач классификации (о выборе класса, которому принадлежит анализируемый элемент), возникают проблемы оценивания состояния элемента по нескольким контролируемым переменным и корректности этих оценок при их обобщении или совместном использовании на этапе принятия решения ЛПР.

К настоящему времени опубликовано множество работ, посвященных **описанию математических моделей и методов диагностирования** технических и МБС. В публикациях [2, 3] достаточно подробно описаны общие положения теории обучаемых

искусственных нейронных сетей (ИНС), которые широко применяются для построения диагностических моделей (формальных математических моделей) в форме уравнений регрессии.

Следует отметить, **в большинстве работ** посвященных решению задач построения диагностических моделей, оценивания информативности и прогнозирования переменных состояния динамических систем на базе ИНС, **отсутствует** анализ значимости переменных нелинейных моделей с учетом их коррелируемости (коинтегрированности «частных» временных рядов) и точности измерения.

Любая техническая система включает в себя программные средства, как составная часть процесса диагностирования. В состав технических систем медицинского мониторинга для автоматизации процесса диагностирования включают КСППР.

На сегодняшний день существует множество программных средств, предназначенных для решения задач управления элементами систем медицинского мониторинга, на основе данных. Эти программные средства могут выступать как в виде статистических пакетов обработки данных, так и в виде интеллектуальных компьютерных автоматизированных систем. В современной медицинской диагностике врачи пользуются: экспертными системами (ЭС), КСППР [4] и комбинированными ЭС [5, 6, 7, 8]. Целью использования этих систем является не замена врача или других медработников, а поддержка принятия решений ЛПР. В информационных технологиях принята классификация программных средств систем медицинского мониторинга на основе базы знаний и на основе данных мониторинга.

Применение на практике автоматизированных компьютерных систем контроля и диагностирования (АСКД) состояния может помочь ЛПР и/или пациентам (если рассматриваются МБС) принимать решения, которые обеспечат лучшие значения критериев качества работы систем или выживаемости и качества жизни пациентов. Однако разработанное на сегодняшний день информационное обеспечение не позволяют с достаточно высоким уровнем достоверности решать задачи прогнозирования состояния элементов МБС на основе данных мониторинга. Например, существующие подходы к построению ЭС [9, 10] не позволяют решать сложные динамические задачи со свойственной им противоречивостью и неполнотой информации. ЭС направлены на поиск ответа с помощью ограниченного количества правил (знаний) вносимых экспертом, тогда как любые другие системы обрабатывают данные с помощью математических моделей и методов, получая в результате информацию нового качества о состоянии объекта, процесса или явления.

Таким образом, возникает необходимость в повышении качества диагностирования пациентов

путем разработки математических моделей, вычислительных методов и прикладной информационной технологии поддержки принятия решений в системах медицинского мониторинга.

Данная работа посвящена разработке прикладной информационной технологии прогнозирования состояния пациентов с помощью КСППР в условиях параметрической неопределенности входных данных, с целью повышения качества процесса диагностирования.

1. Постановка задачи прогнозирования состояния

Задача прогнозирования состояния формулируется следующим образом: исходя из полученных в результате измерений значений контролируемых переменных \vec{X} , предсказать состояние подсистем (функциональных элементов), в которых возникли дефекты, в будущем. В результате декомпозиции общая методология прогнозирования состояния может быть представлена как последовательность методов решения взаимосвязанных задач:

- построение диагностической модели: выбор критериев качества, структуры модели (тип обучаемых ИНС) и метода обучения [11];
- оценивание информативности «частных» контролируемых переменных состояния, отражающих свойства элементов (редукция данных – оценка информативности переменных, когда некоторые входные переменные малоинформативные и являются избыточными) [12];
- приведение данных мониторинга к виду,

пригодному для регрессионного анализа (дополнительная обработка и формирование выборок с учетом информативных переменных для построения тренд-модели);

- построение математической модели контроля состояния (ММКС);
- вычисление прогнозируемых значений временного ряда в диапазоне, ограниченном горизонтами прогноза, с применением ММКС, а также соответствующих им доверительных интервалов [13];
- задача классификации – отнесение текущего состояния прецедента к одному из выделенных классов: на основе ММКС и полученных результатов решения задачи прогнозирования, решается задача классификации состояния элементов МБС – соотнесение прогнозных значений к одному из сформированных диагностических классов [14].

2. Разработка средств прикладной информационной технологии поддержки принятия решений при прогнозировании состояния элементов МБС

На рис. 1 представлена IDEF-модель прикладной информационной технологии поддержки принятия решений при прогнозировании состояния пациентов в системах медицинского мониторинга на основе наблюдаемых значений переменных состояния с известной точностью измерения приборами, разработанная на основе предложенной методологии.

Предлагаемая прикладная информационная технология включает ряд следующих процедур, соответствующих последовательности

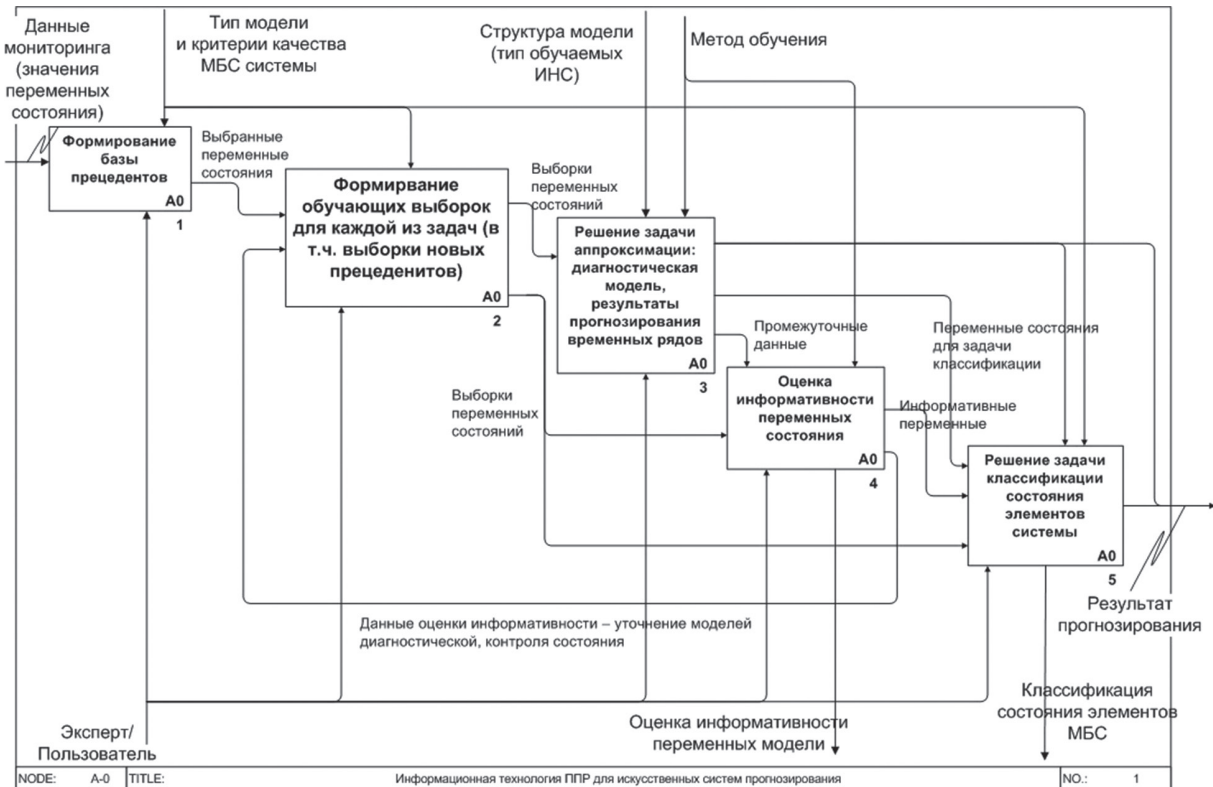


Рис. 1. IDEF – функциональная модель прикладной информационной технологии поддержки принятия решений при прогнозировании состояния элементов МБС

взаимосвязанных задач, описанных в п.1. Разработана реализующая предложенную методологию компьютерная интерактивная КСППР при прогнозировании состояния сложных динамических систем «RMICP®» в условиях неопределенности входных данных [15]. Предложена информационная технология расчетов в среде разработанной КСППР.

Таким образом, на основе полученной информации – прогнозируемых значений переменных состояния с учетом оценок границ их доверительных интервалов, лечащий врач проверяет тенденцию отклонения переменных от их допустимых значений и при необходимости принимает решение о корректировке программы лечения.

3. Пример реализации предложенной методологии с помощью разработанной КСППР «RMICP®»

На основе системного анализа процесса диагностирования элементов МБС была выявлена иерархия этапов диагностирования: лабораторная, визуальная диагностика и соответствующие каждому этапу контролируемые переменные состояния пациентов. Первоначальная размерность множества переменных состояния была равна 24. Сформирована экспериментальная обучающая выборка контролируемых переменных, характеризующих состояния наблюдаемых пациентов для выбранного заболевания. Выборка была разбита на

4 класса: 50, 45, 51 и 33 человека. В качестве классификационного признака при делении общей выборки на классы был выбран уровень прогрессирования заболевания.

На основе множества приведенных переменных, куда вошли все перечисленные данные, с использованием обобщенного метода наименьших квадратов (МНК) и методов обучения ИНС были получены диагностические модели (ДМ) в форме уравнения линейной множественной регрессии (ЛМР), обучаемых ИНС однонаправленной многослойной и радиально-базисной сетей (ОМС и РБС). Качество ДМ оценивалась по критериям: средняя относительная погрешность, коэффициент множественной корреляции и изменение дисперсии сигнала. По результатам оценивания качества аппроксимации различных типов ДМ, выбрана лучшая – в форме РБС. Для ДМ в форме РБС получены: средняя относительная погрешность 0,026; коэффициент множественной корреляции 0,983; изменение дисперсии сигнала: -9,995 децибел.

На рис. 2 представлена экранная форма КСППР «RMICP®» результатов расчета оценки информативности. В качестве примера, на рис. 3, приведены диаграммы оценок информативности контролируемых переменных состояния (24 переменных состояния), полученных на основе анализа ЛМР и РБС для элементов, соответствующих

	Linear	Оценка информативности 1	Оценка информативности 2	Оценка информативности 3	Оц
Age	0.000536607197959735	0.0014855847198052	0.00207274548228072	0.00140793189673128	0.00
VASScale	0.231381425531633	0.00572426883316732	0.0683656832426406	0.0390810880851771	0.00
UrinationCount	0.00186495666539531	0.00262298746480961	0.00368988811923013	0.000342900388083867	0.00
NumberOfUrgency	0.00219258976194714	0.0031796233247795	0.00564229498725507	0.000368410173050869	0.00
NightUrination	0.000667292095032697	0.00244103706030727	0.001736714982976	0.00212215029250711	0.00
Strangury	0.000714969633349452	0.0392387851449814	0.0134317915707714	0.0798441391507982	0.08
OZM	0.023258570136789	0.332728618490956	0.119681297691156	0.463156574552408	0.00
HZM	0.00123072411352938	0.031600457191703	0.0328198649149307	0.010953286207247	0.18
ResidualUrine	0.00409706024701685	0.0103595086662125	0.00155470022177132	0.00687811234840891	0.00
LvSided	0.00251710247146642	0.0264706908870387	0.0105728739292025	0.0248021511694913	0.32
ProstateVolume	7.16833638751422E-05	0.00339647387396174	7.82760593277788E-05	0.00159590912779215	0.00
PSA	0.002822589777664	0.000240930293039803	0.00173239367485886	2.78811144337639E-11	0.00
Hemoglobin	0.000662558884915236	0.00212461763983545	0.00139510122425319	0.00107526354202426	0.00
ESR	0.00108879506049932	0.00021564612865727	1.22845775249899E-05	0.000576952763952038	0.00
Leukocytes	6.3459253693808E-05	0.000900510646923147	0.000404036954088907	0.00137339307431489	0.00
Lymphocytes	0.000287458794191398	0.00285699697866491	0.000370857348291729	0.000494341146841416	0.00
SpecificGravity	2.29757261833952E-05	2.81905654379814E-06	0.000425671391676978	8.33852883511531E-05	0.00
Eritrotsyty	0.0049038831506826	0.00357137131156379	0.00509054093017012	0.0132107218800914	0.05
LeukocytesInUrine	0.0019978651390442	0.00957583882599939	0.000473155277945612	0.00556403697454717	0.00

Рис. 2. Результаты расчета оценки информативности

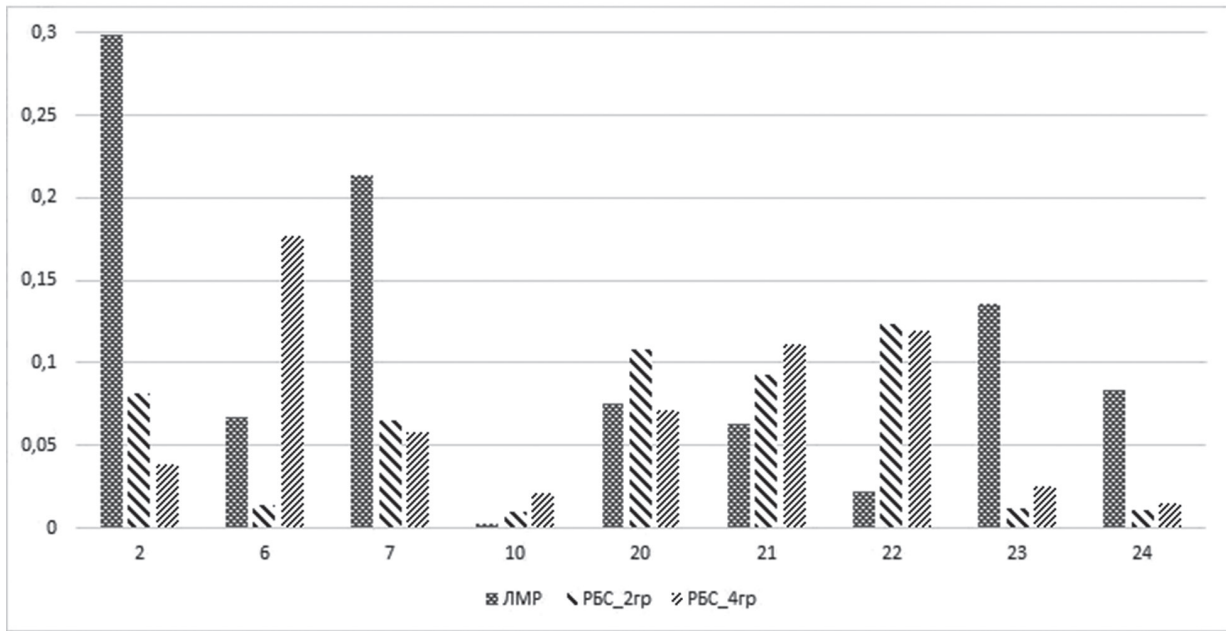


Рис. 3. Результаты оценивания информативности переменных ЛМР и РБС для элементов разных классов (24 контролируемых переменных состояния)

математическим ожиданиям значений переменных состояния для разных классов. Вдоль оси абсцисс отложены номера наиболее информативных переменных состояния, вдоль оси ординат – значения коэффициентов информативности, полученные на основе анализа ЛМР и РБС для элементов разных классов. Эти результаты были получены при заданной относительной точности измерения непрерывных переменных – 1%, булевых – 25%, перечислимого типа – 10% или 15%, соответственно. Корреляционная матрица определялась для выборки, содержащей данные по четырем классам. Далее аналогичные результаты были получены для 17 (исключили булевые переменные) и 14 (исключили булевы и перечислимого типа переменные) контролируемых переменных состояния.

Анализ результатов, показывает, что наиболее информативными (значимыми) в рассматриваемом случае являются 6 булевых, 3 перечислимого типа и 7 непрерывных переменных – всего 16 контролируемых переменных состояния. Очевидно, что оценки информативности (значимости) переменных ЛМР не зависят от состояния (принадлежности к определенному классу) элемента МБС. Подмножества информативных (значимых) переменных, выявленных на основе анализа РБС для элементов медико-биологической системы, принадлежащих различным классам, не равны.

Далее был проведен мониторинг состояния элементов МБС, относящихся к четвертому классу. Сформирована экспериментальная контрольная выборка переменных состояния элементов МБС: $D_Q = \{q_p^o(t+l)\}$, $l = -K \dots L$, $q_p^o(t+l) = \{q_{pi}^o(t+l)\}$, $i = 1 \dots I$, $p = 1 \dots P$. В рассмотренном случае мы имели: количество наблюдаемых элементов – $P = 17$, количество контролируемых непрерывных

переменных состояния – $I = 7$, горизонты прогноза – $K = 4$ и $L = 1$. В данной работе было выполнено приведение входных данных к нормальному виду. Таким образом, предложенные рекуррентные ММКС с применением нейросетевых моделей с задержкой во времени, имели количество входов $H_0 = 21$, количество выходов $H_2 = 7$, количество нейронов в скрытом слое принималось равным количеству наблюдаемых пациентов $H_1 = P$.

В дальнейшем, на основе полученной информации: прогнозируемых значений переменных состояния с учетом оценок границ их доверительных интервалов – лечащий врач переходит к проверке гипотезы о наличии тенденции изменения во времени отклонений переменных от их допустимых значений. Если проверяемая гипотеза окажется истиной, то принимается решение о необходимости корректировки программы лечения.

С целью оценивания ранга коинтеграции $rang(Q)$ проведен анализ влияния информативности предыдущих значений временных рядов на последующие (в качестве примера, для второй и седьмой переменных – см. рис. 4) с использованием РБС ММКС для выбранного элемента МБС. Выявлено, что в рассматриваемом случае $rang(Q) = 5$ при $I = 7$, т.е. $rang(Q) < I$. В частности, видно, что наибольший вклад в ошибку прогнозирования второй и седьмой переменных вносят ошибки измерения второй, четвертой и пятой переменных на предыдущих шагах контроля состояния.

Результаты оценивания влияния информативности предыдущих значений всех временных рядов на последующие для выбранного элемента МБС, в качестве примера, для второй и седьмой переменных, представлены на рис. 5.

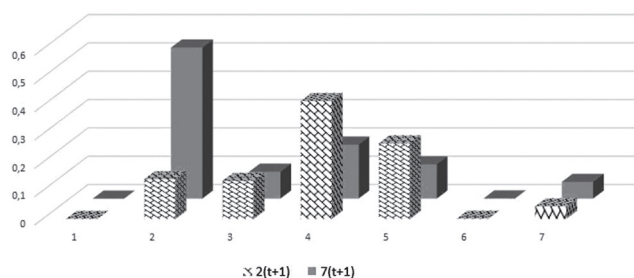


Рис. 4. Результаты оценки влияния информативности предыдущих значений временных рядов на последующие для выбранного элемента МБС

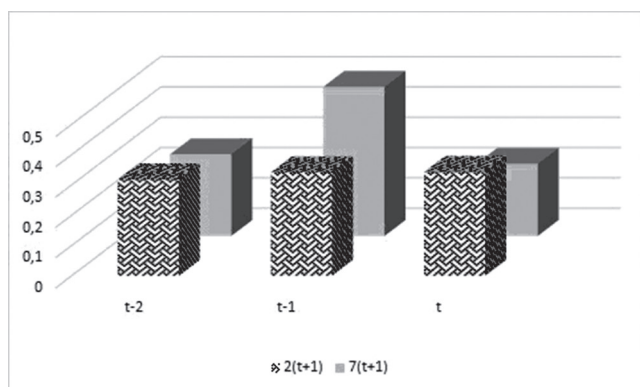


Рис. 5. Результаты оценивания влияния информативности предыдущих значений всех временных рядов на последующие для выбранного элемента МБС

По этим результатам можно судить о ценности информации от времени. Очевидно с точки зрения лечащего врача, что контроль состояния пациента, на каждом шаге после назначенного лечения является важным моментом для проверки эффективности лечения.

Для верификации результатов диагностирования решалась задача классификации состояния элементов МБС. Получены результаты решения задачи классификации состояния элементов МБС на основе данных мониторинга для выбранного типа заболевания. На этапе факторного анализа для обучающих выборок с 24 контролируемыми переменными состояния (КПС) была проведена редукция размерности пространства ГК на основе критерия Кайзера с 24 ГК до 16 ГК. На рис. 6 представлено расположение классов: '1', '2', '3' и '4' в выбранном базисном пространстве.

На основе анализа информативности переменных ДМ выполнена редукция размерности пространства КПС для обучающих выборок с 24 до 15 переменных. Далее были сформированы две контрольные выборки с 15-тью переменными, одна из которых состояла из 17 пациентов 4-го класса, а другая – из 10 пациентов: 4 пациента 2-го и 6 пациентов 3-го классов. На этапе факторного анализа для обучающих и контрольных выборок с 15 КПС была проведена редукция размерности пространства ГК на основе критерия Кайзера с 15 ГК до 13 ГК.

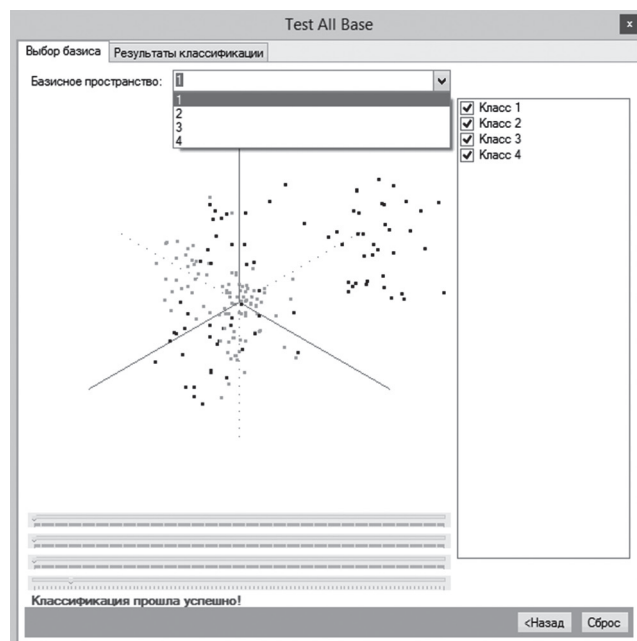


Рис. 6. Результат идентификации прецедента

Результаты решения задачи классификации о принадлежности пациентов к обучающим и контрольным выборкам представлены в таблице. Получено, что с использованием разработанного метода и реализующей его интерактивной КСППР «RMICP®» вероятность распознавания классов превышает 75%.

Таблица 1

Результаты решения задачи классификации

Выборки	Класс «1»	Класс «2»	Класс «3»	Класс «4»
Обучающая выборка (24 КПС)	98	84,4	82,2	100
Обучающая выборка (15 КПС)	100	88	80	96
Контрольная выборка_1 (15 КПС)	—	—	—	100
Контрольная выборка_2 (15 КПС)	—	75	83	—

Выводы

В работе предложены системная математическая модель, методология и реализующая их прикладная информационная технология прогнозирования состояния пациентов в системах медицинского мониторинга в условиях неопределенности входных данных на основе концепции тренд анализа, которые доведены до уровня инженерных методик.

В качестве примера, получены результаты решения задач прогнозирования состояния пациентов в системах медицинского мониторинга для конкретного типа заболевания.

Получены оценки информативности контролируемых переменных состояния элементов медико-биологической системы с учетом точности их измерения с использованием линейных и нелинейных

диагностических моделей. Показано, что подмножества информативных (значимых) переменных, выявленных на основе анализа нелинейных моделей, для различных состояний элементов медико-биологической системы могут быть не равны.

Проведено сравнение качества прогнозирования с помощью предложенных нейросетевых моделей. Показано, что в рассматриваемом случае ранг коинтеграции меньше размерности исходного пространства временных рядов.

На основе анализа информативности и агрегирования переменных выполнена редукция размерности пространства переменных состояния.

Разработана реализующая предложенную методологию интерактивная КСППР при прогнозировании состояния сложных динамических систем «RMICP®» в условиях неопределенности входных данных. Разработана методика работы конечного пользователя с интерактивной КСППР «RMICP®».

Получено, что с использованием разработанной методологии и реализующей его КСППР вероятность распознавания классов превышает 75%.

Предложенные методология и реализующая их прикладная информационная технология могут быть применены для прогнозирования состояния как элементов МБС, так и технических систем.

Применение на практике разработанной интерактивной КСППР позволит сократить материальные затраты и сроки прогнозирования состояния пациентов в системах медицинского мониторинга, которая обеспечит лучшие значения показателей выживаемости и критериев качества жизни пациентов, а также повысит конкурентоспособность отечественных медицинских учреждений и предприятий.

Список литературы: 1. Adams Mac G. K. Accounting for Errors when using Systems Approaches / K. MacG. Adams, P. T. Hester // *Procedia Computer Science*. – 2013. – Vol. 20. – P. 318-324. 2. Blanke M., Kinnaert M., Lunze J., Staroswiecki M., Schroder J. Diagnosis and Fault-Tolerant Control. – Berlin, New-York: Springer, 2006. – 672 p. 3. Стрелец В. Е. Системное совершенствование элементов сложных технических систем на основе концепции обратных задач: монография / В. Е. Стрелец, А.А.Трончук, Е.М. Угрюмова и др.; под общ. ред. М. Л. Угрюмова. – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т им. Н. Е. Жуковского «Харьк. авиац. ин-т», 2013. – 148 с. – ISBN 978-966-662-312-9. 4. Waghlikar Kavishwar B. Modeling Paradigms for Medical Diagnostic Decision Support: A Survey and Future Directions / B. Kavishwar Waghlikar; V. Sundararajan; W. Ashok Deshpande // *Journal of Medical Systems*. – 2012. – Vol. 36, Issue 5. – P. 3029–3049. 5. Andersson B. Prediction of severe acute pancreatitis at admission to hospital using artificial neural networks / B. Andersson // *Pancreatology*. – 2011. – Vol. 11, № 3. – P. 328-335. 6. Жернаков С.В. Система медицинского мониторинга и коррекции функционального состояния организма человека / С.В. Жернаков, М.А. Шулакова // *Вестник УГАТУ*. – 2011. – Т. 15. – №2 (42). – С. 196-203. 7. Милова К.А. Разработка нейросетевой системы прогнозирования риска гнойновоспалительных осложнений в хирургии / К.А. Милова // *Известия ПГПУ им. В. Г. Белинского*. –

2011. – № 26. – С. 405–411. 8. Кычкин А.В. Интеллектуальная информационно-диагностическая система для исследований кровеносных сосудов / А.В. Кычкин // *Известия российской академии наук. Теория и системы управления*. – 2013. – № 3. – С. 114-123. 9. Knowledge Management in ESM DA: Expert System for Medical Diagnostic Assistance / S. Abu Naser, R. Al-Dahdooh, A. Mushtaha, M. El-Naffar // *ICGST-AIML Journal*, 2010. – Vol. 10, Issue 1. – P. 31-40. 10. Интеллектуальные системы в клинической медицине. Синтез плана лечения на основе прецедентов / Г.И. Назаренко, Г.С. Осипов, А.Г. Назаренко, А.И. Молодченков // *Информационные технологии и вычислительные системы*, 2010. – №1. – С. 24-35. 11. Diagnostic model and information technology of classification states in the differential diagnosis nsclc (nonsmall cell lung cancer) patients with different methods of radiotherapy and chemotherapy / V. Starenkyi, V. Goryachaya, O. Sokolov, E. Ugruyomova // *Journal of Health Sciences*. – Radom University in Radom (Poland). – 2013. – № 3 (8). – P. 7-26. 12. Метод оценивания информативности переменных нейросетевых моделей систем и процессов при неопределенности данных / И. М. Антонян, В. А. Горячая, А. И. Зеленский, Е. М. Угрюмова // *Вісник Харківського національного університету : зб. наук. пр. Серія: Математичне моделювання. Інформаційні технології. Автоматизовані системи управління*. – 2015. – Випуск 26 (№ 1156). – С. 5-16. 13. Краткосрочное прогнозирование многомерных временных рядов с использованием робастных нейросетевых моделей / И. М. Антонян, В. А. Горячая, А. И. Зеленский, Е. М. Угрюмова // *Вісник Харківського національного університету : зб. наук. пр. Серія: Математичне моделювання. Інформаційні технології. Автоматизовані системи управління*. – 2015. – Випуск 28. – С. 5-17. 14. Усовершенствованный метод и информационная технология решения задачи классификации состояния элементов сложных систем / И.М. Антонян, В.А. Горячая, А.И. Зеленский, Е. М. Угрюмова // *Вісник Харківського національного університету : зб. наук. пр. Серія: Математичне моделювання. Інформаційні технології. Автоматизовані системи управління*. – 2013. – Випуск 22 (№1063). – С. 5-16. 15. Горяча В.О. Компьютерная программа «Компьютерная интерактивная система поддержки принятия решений при прогнозировании состояния сложных динамических систем “RMICP” в условиях неопределенности входных данных»: свидетельство про регистрацию авторского права на твор № 62180 / В.О. Горячая, М.Л. Угрюмов, С.В. Черныш, Е.М. Угрюмова, (Украина). – Дата регистрации 20.10.2015.

Resume

V. A. Goriacha, M. L. Ugruyomov., S. V. Chernysh INFORMATION TECHNOLOGY FOR FORECASTING OF ELEMENTS CONDITION OF MEDICAL MONITORING SYSTEMS

Background: The defects development in technical or biomedical systems (BMS) is complex dynamic process. Subject field experts can't always to forecast how quickly they will be developed. They are not always manage to reach a consensus on what the developmental stage defects are and as a consequence what methods for defects eliminating should be applied. There are problems in decision-making process in health monitoring systems at the diagnosis stage:

– a high error probability (3-rd type) in the condition recognizing (belonging to one of the classes, where classes are mean the possible states) of the BMS elements monitoring data based;

– a choice of the monitored condition variables individually for each patient in order to analyze the effectiveness of the prescribed treatment program.

At present, these problems are weakly-structured and decisions about choosing a treatment program for each patient taken subjectively, based on the personal experience of the physician. Information technology for diagnosing patients in the medical monitoring systems with the help of computerized decision support systems (CDSS) in parametric uncertainty conditions of input data, which allows you to improve the diagnosis quality of patients. Methodology and the software that implements it aimed at improving the quality of patient care using targeted therapies optimizing interference for each individual patient thereby achieving greater success in treating or curing a patient.

Materials and methods: The study based on the system analysis principles when structuring mathematical models, computational methods and implementing applied information technology for decision support in the medical monitoring system for condition forecasting. For diagnostic models and mathematical models of condition monitoring (MMCM), methods of mathematical modeling (artificial intelligence methods — artificial neural networks (ANN)) were used. In developing method of the informativeness assessing of controlled variables and classification method the approaches to information theory and methods of mathematical statistics (factor analysis) were used. The theory of formal and algorithmic systems, modern technologies for creating CDSS

were used in the synthesis of the composition and structure of software and tools, the formation of intelligent information technology for decision support.

Results: The system mathematical model, methodology and implementing them applied information technology of the patients' condition forecasting in monitoring medical system in condition of uncertainty input data trend-analysis concept based that are brought to the level of engineering techniques were proposed. The technique allows improving the diagnosing quality of patients' condition. CDSS embodies a mathematical method for solutions synthesis to the forecasting problem of patients' condition based on trend-analysis concept, methods of informativeness (significance) variables estimation and statistical method of the patients' condition classification based on artificial neural networks theory.

Conclusion: The article proposes a system methodology for solving the forecasting problem of patients' condition in medical monitoring systems and implementing its applied information technology. Important indicators are the reduction of material costs, timing and risk of errors in forecasting of the patients' condition in medical monitoring systems. Forecasting accuracy of the patients' condition based on the proposed methodology follows from the probability minimizing of the condition forecasting error taking into account the accuracy of the measured state variables. Error risk in condition determining does not exceed 15%.

Поступила в редакцию 05.09.2017.

УДК 004.853



А.В. Погорелов¹, В.Е. Саваневич², А. Б. Брюховецкий³, С.Г. Удовенко⁴

¹ХНУРЭ, г. Харьков, Украина, pogartem@rambler.ru;

²УжНУ, г. Ужгород, Украина, vadym@savanevych.com;

³НЦУИК, г. Киев, Украина, izumsasha@gmail.com;

⁴ХНЭУ, г. Харьков, Украина, serhiy.udovenko@hneu.net

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ МЕТОД СЕГМЕНТАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ КОМПАКТНЫХ ГРУПП ОБЪЕКТОВ НА ЦИФРОВЫХ АСТРОНОМИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЯХ

В статье предложен метод сегментации компактных групп статистически зависимых изображений близких астрономических объектов. В методе используется надпиксельная гауссова модель. Для сокращения вычислительных затрат осуществляется предварительный анализ изображений локальных объектов на общем астрономическом изображении. Вычислительный алгоритм метода используется в программном комплексе автоматизированного обнаружения астероидов и комет CoLiTec. Предложенный метод сегментации позволяет повысить точность оценки положения астрономических объектов.

ЦИФРОВОЙ КАДР, АСТРОНОМИЧЕСКОЕ ЦИФРОВОЕ ИЗОБРАЖЕНИЕ, КОМПАКТНАЯ ГРУППА, СЕГМЕНТАЦИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ, ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС

Погорелов А.В., Саваневич В.Е., Брюховецкий А.Б., Удовенко С.Г. Обчислювальний метод сегментації зображень компактних груп об'єктів на цифрових астрономічних зображеннях. У статті запропоновано метод сегментації компактних груп статистично залежних зображень близьких астрономічних об'єктів. У методі використовується надпиксельна гаусова модель. Для скорочення обчислювальних витрат здійснюється попередній аналіз зображень локальних об'єктів на загальному астрономічному зображенні. Обчислювальний алгоритм методу використовується в програмному комплексі автоматизованого виявлення астероїдів та комет CoLiTec. Запропонований метод сегментації дозволяє підвищити точність оцінки положення астрономічних об'єктів.

ЦИФРОВИЙ КАДР, АСТРОНОМІЧНЕ ЦИФРОВЕ ЗОБРАЖЕННЯ, КОМПАКТНА ГРУПА, СЕГМЕНТАЦІЯ ЗОБРАЖЕНЬ, ПРОГРАМНИЙ КОМПЛЕКС

Pohorelov A.V., Savanevych V. E., Briukhovetskyi O. B., Udovenko S.G. Computational method for segmenting images of compact groups of objects on digital astronomical images. The method of segmentation of compact groups of statistically dependent images of close astronomical objects is proposed in the article. The method uses an over-the-pixel Gaussian model. To reduce computational costs, a preliminary analysis of images of local objects on a common astronomical image is carried out. The computational algorithm of the method is used in the software package for automated detection of asteroids and comets CoLiTec. The proposed method of segmentation makes it possible to improve the accuracy of estimating the position of astronomical objects.

DIGITAL PICTURE, ASTRONOMICAL DIGITAL IMAGE, COMPACT GROUP, IMAGE SEGMENTATION, SOFTWARE COMPLEX

Введение

Значительная часть астрономических изображений формируется обзорными астрономическими телескопами [1, 2]. Данный класс телескопов, как правило, характеризуется широким полем зрения и малой апертурой при высокой проникающей способности [3]. Указанные особенности оптических систем и удаленность наблюдаемых небесных объектов (в частности, звезд и астероидов) зачастую приводят к пересечению изображений нескольких близких объектов на цифровом кадре. В то же время большинство методов определения положений объектов на цифровом астрономическом изображении позволяют оценивать положение только изображений одиночных объектов [4], а не изображений компактных групп [5]. Для оценки положения изображений компактных групп объектов целесообразно осуществлять их предварительное разделение на совокупность изображений одиночных объектов. Цифровые астрономические изображения являются полутоновыми

[6, 7]. Для сегментации изображений объектов, пересекающих изображения соседних объектов, на полутоновых изображениях чаще всего применяются статистические методы [7, 8] и методы сегментации областей [9].

Статистические методы основываются на использовании различных статистических моделей изображения [10]. В работах [11–13] предложены методы для выделения фрагментов полутоновых изображений. По сравнению с пороговыми методами [6, 7] методы статистической сегментации обеспечивают более устойчивые результаты в условиях наличия неполных данных (например, при отсутствии данных о части параметров статистической модели) [14].

В то же время астрономические изображения зачастую содержат изображения объектов, различающиеся по форме и размеру (от изображений астероидов размером в 2–3 пикселя до изображений ярких звезд размером в сотни пикселей) [1, 15]. Существенные девиации формы и размеров

изображений объектов приводят к сложности создания практически значимой статистической модели, общей для всех сегментируемых изображений [11].

Для сегментации изображений небесных объектов на цифровых кадрах также часто применяются методы, принадлежащие к классу методов сегментации областей [16–18]. Их существенным недостатком является сложность выбора оптимального порога значимости водоразделов. При обработке астрономических изображений это может привести к пропуску изображений объектов со слабым блеском и к выделению большого количества сегментов с изображениями ложных объектов.

Указанные недостатки учтены в методе сегментации изображений одиночных объектов на цифровых астрономических изображениях [19]. В качестве маркерных точек в данном методе используются пики предварительно обнаруженных изображений объектов. Сегментация изображений объектов на цифровом кадре производится последовательно для каждого стартового пикселя. Для минимизации вычислительных затрат в окрестности стартовых пикселей формируется область сегментирования с заданным размером и возможностью ее адаптивного увеличения. Для уменьшения количества обрабатываемых данных и повышения показателей качества сегментации проводится модификация исходного изображения, которая включает в себя яркостное выравнивание, масштабирование, бинаризацию. При этом сегменты, выделяемые с использованием модифицированного метода сегментации, не анализируются на возможность наличия в них изображения более одного объекта [19]. В то же время, устойчивость данного метода сегментации к особенностям астрономических изображений (размытость границ выделяемых изображений, неравномерность фоновой подложки) делают целесообразным его использование для выделения сегментов, в которых возможно наличие изображений компактных групп объектов.

Целью настоящей работы является разработка метода сегментации статистически зависимых изображений компактных групп объектов на цифровых астрономических изображениях с применением надпиксельной Гауссовой модели, позволяющей сократить вычислительные затраты.

1. Постановка задачи

В ходе астрономических наблюдений могут быть получены цифровые астрономические кадры (CCD-кадры), которые определяются набором яркостей пикселей в определенном диапазоне возможных значений. Изображение цифрового кадра включает в себя фоновую подложку и изображения объектов (звезд, астероидов). Изображение объекта на CCD-кадре формируется за счет попадания фотонов от этого объекта в пиксели CCD-матрицы [3, 20]. Каждый пиксель кадра содержит потенциал, пропорциональный количеству упавших на

него фотонов. При этом наблюдению доступны только группированные (объединенные) события, связанные с падением фотонов на пиксель во время экспозиции кадра. Таким образом, все события попадания фотонов в точки, принадлежащие пикселю, сливаются в событие попадания фотонов в данный пиксель. Каждый отдельный фотон не может быть отнесён к конкретному объекту или фону. На цифровом кадре возможно пересечение изображений нескольких близких объектов (объектов с близкими угловыми координатами) (рис. 1, 2). Другими словами, изображения близких объектов на цифровом кадре представляют собой статически зависимую группированную выборку событий, заключающихся в попадании фотонов в пиксели CCD-матрицы [21].

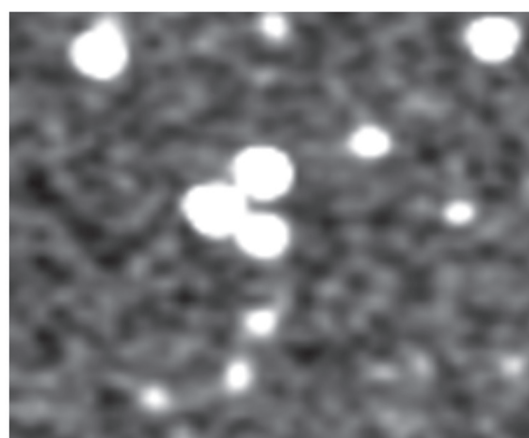


Рис. 1. Пример пересечения изображений близких объектов на цифровом кадре

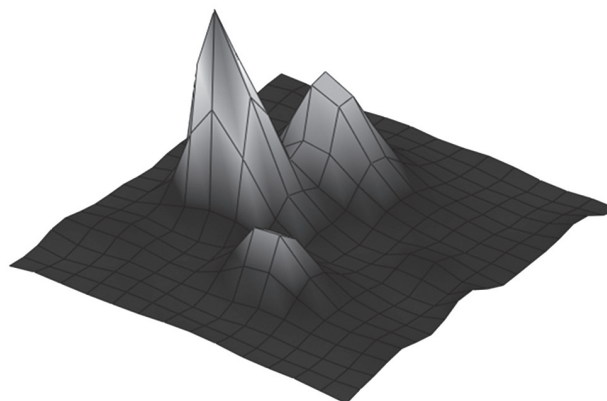


Рис. 2. Пример пересечения изображений близких объектов в 3D-представлении

Решение о разделении потенциалов (яркостей) пикселей статистически зависимых изображений между объектами (источниками излучения) принимается на этапе оценки параметров местоположения объектов на CCD-кадре [5, 21]. При этом предполагается, что принятие предварительного решения о принадлежности пикселя к одному из изображений объектов возможно уже на этапе сегментации. Будем считать, что на цифровом кадре проводится предварительное обнаружение множества изображений объектов Ω_{detimg} с использованием известных методов обнаружения

изображений на цифровых астрономических кадрах [22]. Обнаруженным изображениям могут быть поставлены в соответствие координаты их пиков (например, пику j -го обнаруженного изображения объекта соответствуют его координаты (x_{pj}, y_{pj}) в системе координат CCD-кадра).

Для каждого j -го обнаруженного изображения объекта из множества $\Omega_{det\,img}$ может быть проведена сегментация изображений объектов на цифровых астрономических изображениях с использованием вычислительного метода сегментации изображений одиночных объектов [19]. При такой сегментации пиксели относятся либо к фону, либо к изображению сегментируемого объекта.

В результате может быть сформировано множество сегментов Ξ_{sobj} , каждый из которых характеризуется координатами (x_{pj}, y_{pj}) пика, как стартового пикселя сегмента, и содержит совокупность Ω_{sobij} пикселей, выделенных в процессе сегментации изображения объекта или компактной группы объектов.

Поставим задачу разработки такого метода сегментации астрономических цифровых изображений, который позволяет сегментировать компактную группу статистически зависимых изображений близких объектов. При этом разрабатываемый метод сегментации реализуется на полутоновом изображении в рамках множества пикселей Ω_{sobij} , а по результатам сегментации компактная группа должна быть разделена на изображения одиночных объектов.

На рис. 3 приведен пример области, содержащей изображение компактной группы из двух объектов. Пунктирной линией ограничены пиксели, выделенные с использованием метода сегментации изображений одиночных объектов [19], а белой и черной линиями – предлагаемое разделение пикселей между изображениями объектов компактной группы.

2. Метод сегментации астрономических цифровых изображений

В разрабатываемом методе сегментации будем использовать надпиксельную Гауссову модель изображений объектов [5]. Форма изображения объекта задается в виде двумерной гауссианы.

В рамках такой надпиксельной модели яркость пикселя изображения объекта определяется значением гауссианы в точке с координатами центра пикселя. Максимум гауссианы определяется координатами пика (x_{pj}, y_{pj}) . Известно, что пик изображения j -го сегментируемого объекта (x_{pj}, y_{pj}) находится в окрестности максимума гауссианы, а значения гауссианы убывают от её максимума к краям. Это позволяет считать, что яркость любого пикселя изображения исследуемого объекта может только уменьшаться при движении от центра гауссианы.

В предварительно выделенном сегменте Ω_{sobij} может присутствовать связанное, статистически зависимое изображение компактной группы объектов, требующее разделения на изображения отдельных объектов. В изображение выделенного сегмента Ω_{sobij} входят пиксели, принадлежащие всем изображениям объектов, составляющих компактную группу объектов со статистически зависимыми изображениями. В разрабатываемом методе пик изображения j -го сегментируемого объекта используется как стартовый пиксель для разделения изображений компактной группы. Особенности используемой модели позволяют утверждать, что при спуске от максимума гауссианы, входящей в совокупность двумерных гауссиан, наступит момент, когда значения яркости начнут возрастать, переходя от изображения одного объекта к изображению другого. Учитывая свойство монотонного убывания гауссианы при движении от центра j -го сегментируемого изображения объекта (максимума гауссианы) к его краям, возрастание яркости пикселя можно использовать как условие разделения изображений объектов компактной группы.

В связи с наличием шумов на цифровом кадре и невозможностью отнесения смежных пикселей только к одному изображению объекта допускается, что часть пикселей, значение яркости которых при движении от центра j -го сегментируемого изображения объекта возрастает, целесообразно отнести к сегментируемому изображению. Для этого введем критическое значение приращенной яркости μ_{fbr} .

При движении от пика сегментируемого изображения указанное критическое значение



Рис. 3. Пример изображения компактной группы, состоящей из двух объектов

определяет допустимое возрастание яркости, при котором пиксель по-прежнему будет отнесен к j -му выделяемому изображению (рис. 4).

Предлагаемый вычислительный метод сегментации компактных групп статистически зависимых изображений близких объектов на цифровых изображениях основан на реализации следующей последовательности операций.

1. С использованием вычислительного метода сегментации изображений одиночных объектов [19] формируется множество сегментов Ξ_{sobj} , каждый из которых характеризуется координатами (x_{pj}, y_{pj}) пика, как стартового пикселя сегмента, и содержит совокупность Ω_{sobij} пикселей выделенного в процессе сегментации изображения объекта или компактной группы объектов.

2. Формируется множество пиков, как стартовых пикселей сегментов, координаты которых входят в j -й сегмент Ω_{sobij} [22].

3. В каждом сегменте изображения определяется количество пиков, как стартовых пикселей сегмента.

4. Если для j -го сегмента Ω_{sobij} количество пиков, как стартовых пикселей сегментов, более 1 ($N(\Omega_{sobij}) > 1$), то принимается решение, что j -й сегмент является изображением компактной группы объектов и проводится разделение изображения компактной группы на совокупность изображений одиночных объектов (блоки 5–6). В противном случае, осуществляется переход к следующему сегменту кадра (блок 2).

5. Для всех стартовых пикселей $N(\Omega_{sobij})$, принадлежащих j -му сегменту Ω_{sobij} , будет сформирован сегмент Ω_{sobij} . При этом $N(\Omega_{sobij})$ сегментов будут дублироваться во множестве Ξ_{sobj} . Для уменьшения вычислительных затрат дубликаты сегмента Ω_{sobij} исключаются из рассмотрения, а вместо указанных $N(\Omega_{sobij})$ сегментов используется один и тот же сегмент Ω_{sobij} , имеющий множество стартовых пикселей (пиков) θ_{peaksj} .

6. Для каждого l -го стартового пикселя j -го сегмента Ω_{sobij} анализируются пиксели для разделения изображения компактной группы на совокупность изображений одиночных объектов (пункт 6.1).

6.1. Осуществляется выбор очередного ik -го пикселя полутонового изображения j -го сегмента Ω_{sobij} . Выбираемый пиксель должен соседствовать с пикселем предыдущей $(n-1)$ -й итерации и обладать меньшим значением яркости на полутоновом изображении Ω_{sobij} . При отсутствии данного пикселя процесс выбора завершается. Для первой итерации $(n=1)$ в качестве ik -го пикселя выбирается l -й стартовый пиксель j -го сегмента Ω_{sobij} .

6.1.1. Для ik -го пикселя принимается решение об отнесении его к изображению l -го объекта, если значение его яркости на полутоновом изображении Ω_{sobij} меньше значения яркости соседнего пикселя с предыдущей $(n-1)$ -й итерации:

$$A_{ikjn} < A_{ikjn-1}. \quad (1)$$

6.1.2. В противном случае проверяется, возрастает ли значение его яркости относительно соседнего пикселя с предыдущей $(n-1)$ -й итерации в пределах заданного критического значения:

$$\frac{A_{ikjn-1} - A_{ikjn}}{A_{ikjn-1}} < \mu_{fbr}. \quad (2)$$

Если условие (2) выполняется, принимается решение об отнесении ik -го пикселя к l -му изображению объекта.

После рассмотрения всех пикселей (пункт 6.1) всех сегментов Ξ_{sobj} вычислительные операции алгоритма, реализующего предложенный метод сегментации компактных групп статистически зависимых изображений близких объектов, считаются выполненными.

Сегментация изображений объектов на цифровом кадре проводится для каждого пика предварительно обнаруженного изображения объекта. На этапе выделения одиночного объекта возможность наличия в области сегментирования изображения более одного объекта не учитывается. Следовательно, изображения выделенных сегментов, полученные при сегментации со стартовым пикселем любого изображения компактной группы объектов, на этапе выделения одиночного объекта будут совпадать (рис. 5, а).

В результате работы предлагаемого метода сегментации компактных групп статистически зависимых изображений близких объектов из изображения сегмента выделяются изображения одиночных объектов (рис. 5, б, в).

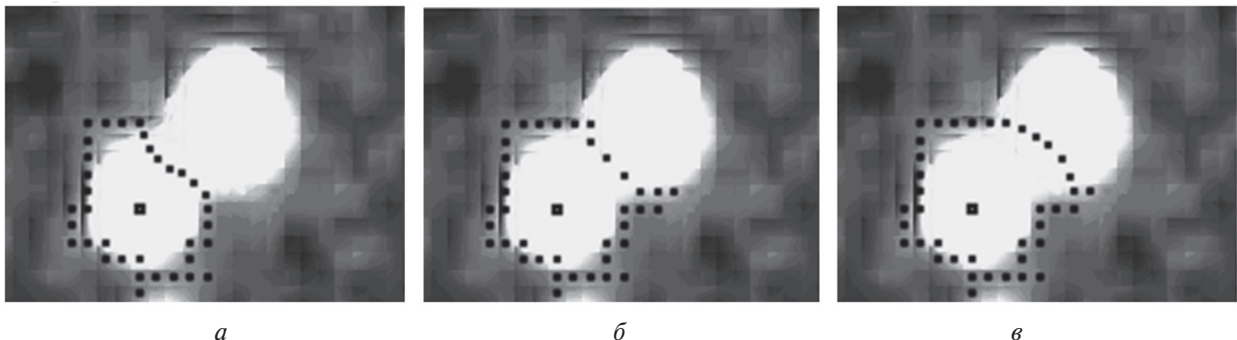


Рис. 4. Пример сегментации изображения компактной группы при различных значениях μ_{fbr} :
 $a - \mu_{fbr} = 0$; $б - \mu_{fbr} = 0.15$; $в - \mu_{fbr} = 0.4$

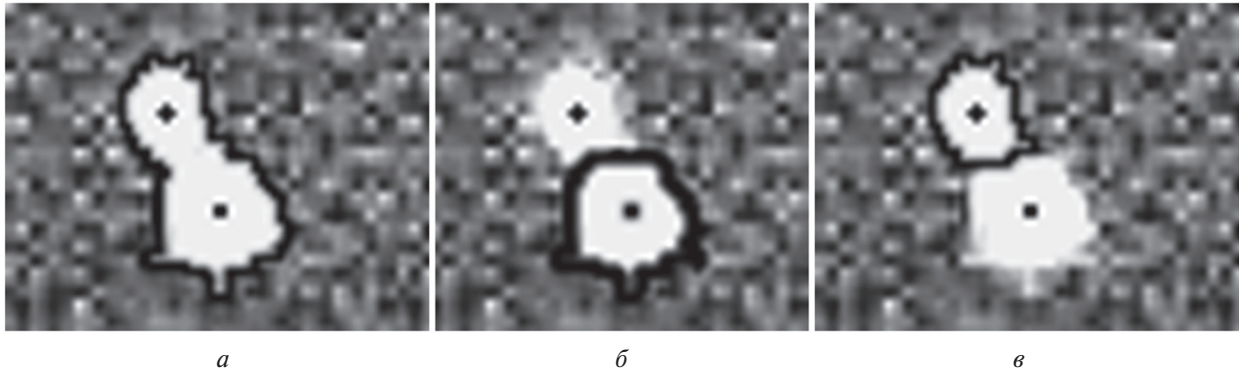


Рис. 5. Изображение компактной группы объектов:
a — изображение, выделенное как изображение одиночного объекта;
б — результат сегментации изображения *j*-го объекта;
в — результат сегментации изображения близкого объекта

3. Результаты тестирования и внедрения метода сегментации

Тестирование работы предложенного метода проводилось для сегментации изображений компактных групп объектов на цифровых астрономических изображениях. В частности, разработанный метод используется для сегментации изображений компактных групп объектов на цифровых кадрах в программном комплексе автоматизированного обнаружения астероидов и комет CoLiTec [23]. Исследование разработанного метода сегментации изображений компактных групп объектов на цифровых астрономических изображениях проводилось на цифровых кадрах, полученных с использованием 7-ми телескопов из 8-ми астрономических обсерваторий (табл. 1).

Эффективность разработанного метода подтверждена высокой точностью измерения положения объектов Солнечной системы [24, 25] и

результативностью работы программного обеспечения CoLiTec. Отметим, что с помощью CoLiTec в Центр малых планет (MPC) были переданы результаты обработки более 700 000 измерений, позволившие открыть 4 кометы и более чем 1560 астероидов (в частности, 21 Троянский астероид Юпитера, 5 НЕО и 1 кентавр).

Выделение изображений компактных групп только в предварительно выделенных сегментах (блок 1) и определение количества объектов в выделенных сегментах (блоки 3,4) позволило снизить количество анализируемых пикселей в 16 – 1000 раз (для кадров, полученных с использованием телескопов OMT-800 и Genon соответственно) (табл. 2). В случае же отсутствия (блоки 3,4) на цифровом кадре изображений компактных групп объектов (цифровые кадры телескопа VNT), попытка их сегментации не проводилась.

Таблица 1

Технические характеристики используемых телескопов

Observatory	ISON-Uzhgorod Observatory		Cerro Tololo Inter-American Observatory (CTIO)	ISON-NM Observatory	Станция Маяки	Частная обсерватория Ananjev	Vihorlatská hvězdáreň Observatory	КрАО
MPC code	K99		—	H15	583	L33	—	095
Telescope	ChV-400	BRC-250M	PlaneWave-CDK24 (Promt8)	Centurion 18	OMT-800	ARTEMIS	VNT	Genon
Aperture, sm	40	25	61	45.5	80	25.4	100	30
CCD-camera	FLI PL09000	Apogee Alta U9	Apogee F42	FLI ML09000-65	MicroLine 9000	ATIK-314L	FLI	FLI PL 16803
Resolution, pix	3056 x 3056	3072 x 2048	2048 x 2048	3056 x 3056	3056 x 3056	1391 x 1039	512 x 512	4096 x 4096
Pixel size, μm	12	9	13.5	12	12	6.45	48	9
Scale, “	1.42	1.46	0.66	1.94	1.15	1.11	1.10	4.17
Focus	1732	1269	4201	1270	2139	1193	8923	444
Проницающая	16.6	17.8	18.7	19.7	18.8	18.2	17.8	16.5

Таблица 2

Количество пиков и пикселей в изображениях объектов на цифровых кадрах

Телескоп	Promt8	Centurion 18	ChV-400	BRC-250M	OMT-800	ARTEMIS	VNT	Genon
Размер кадра	2048x 2048	3056x 3056	3056x 3056	3073x 2048	3056x 3056	1391x 1039	512x 512	4096x 4096
Всего сегментов	14707	33664	21212	15479	14607	7265	509	59499
Всего пикселей во всех сегментах	169552 (4%)	564461 (6%)	740252 (8%)	191631 (0.3%)	1671053 (17%)	172956 (12%)	7354 (2.8%)	838123 (0.3%)
Всего сегментов более 2-х пиков	255 (1.7%)	364 (1%)	170 (0.8%)	171 (1.1%)	2573 (17.6%)	91 (1.2%)	0 (0%)	238 (0.4%)
Всего пикселей в сегментах с более 2-мя пиками	38747 (0.9%)	76432 (0.8%)	135823 (1.4%)	41921 (0.6%)	561956 (6%)	4992 (0.3%)	0 (0%)	27800 (0.1%)

Предложенный вычислительный метод сегментации компактных групп статистически зависимых изображений близких объектов позволяет повысить точность оценки положения астрономических объектов. Практическое применение этого метода сегментации обеспечило в среднем для 7% объектов, выделенных на кадре, среднее снижение СКО оценки положения на 30%.

Выводы

В статье разработан вычислительный метод сегментации компактных групп статистически зависимых изображений близких объектов на цифровых изображениях. Основу этого метода составляет надпиксельная Гауссова модель изображений объектов. В рамках данной модели компактная группа объектов со статистически зависимыми изображениями рассматривается как объединение совокупности двумерных гауссиан. Для минимизации вычислительных затрат сегментация изображений компактных групп проводится в сегментах, выделенных предварительно с использованием сегментации изображений одиночных объектов.

Для разделения изображения компактной группы на совокупность изображений одиночных объектов проводится анализ пикселей каждого выделенного сегмента. Одним из параметров предложенного метода сегментации изображений рассматриваемого типа является критическое значение приращения яркости. При движении от пика сегментируемого изображения указанное критическое значение определяет допустимое возрастание яркости, при котором пиксель целесообразно отнести к рассматриваемому сегменту изображения объекта.

Научной новизной разработанного метода является:

- выделение изображений компактных групп только в сегментах, предварительно определенных с использованием сегментации одиночных объектов, что позволило провести сегментацию изображений компактных групп объектов с вычислительными затратами, близкими к минимальным;

- предварительное определение количества изображений объектов, входящих в изображение компактной группы, что позволило решать задачу разделения исходного изображения на изображения конкретных объектов (при известном числе объектов);

- использование свойств надпиксельной гауссовой модели, что позволило провести разделение изображения компактной группы на изображения конкретных объектов.

Разработанный метод сегментации изображений компактных групп астрономических объектов применяется в программном комплексе автоматизированного обнаружения астероидов и комет CoLiTec [23].

Список литературы: 1. Злобин В. К. Обработка аэрокосмических изображений / В. К. Злобин, В. В. Еремеев. – М.: Физматлит, 2006. – 288 с. 2. Pankaj J. An introduction to astronomy and astrophysics/Pankaj Jain. – Boca Raton: CRC Press, 2015. – 341 p. 3. Киселев А.А. Теоретические основания фотографической астрометрии / А.А Киселев. – М.: Наука, Гл. ред. физ-мат. лит, 1989. – 264 с. 4. Mighell K.J. Algorithms for CCD Stellar Photometry. Astronomical Data Analysis Software and Systems / K.J. Mighell; ed. D. V. Mehringer, R. L. Plante, D.A. Roberts // VIII ASP Conference Series. – 1999. – P. 317 – 328. 5. Соковикова Н.С. Оценка координат близких астероидов на ПЗС-изображении / Н.С. Соковикова, В.Е. Саваневич, М.М. Безкровный, С.В. Хламов // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2013. – Т. 4/4(64). – С. 41 – 45. 6. Burger W. Principles of Digital Image Processing / W. Burger, M.J. Burge. – Berlin: Springer-Verlag, 2009 – 253p. 7. Gonzalez R.C. Digital Image Processing / R.C Gonzalez, R.E.Woods Prentice Hall. – 2008 – 954p. 8. Melih S. A. Probabilistic and Geometric Shape Based Segmentation Methods, University of Louisville. – 2012. – 304 p. 9. Fu K. A survey on image segmentation / K. Fu, J. Mui // Pattern Recognition. – Vol. 13, Iss.1, – 1981. – P. 3-16. 10. Rosenfeld A. Image pattern recognition / A. Rosenfeld // Proceedings of IEEE, 69(5). – 1981. – P. 596-605. 11. Ren X. Probabilistic Multi-scale Model for Contour Completion Based on Image Statistics / X. Ren, J. A. Malik // ECCV'02, Copenhagen. – Vol.1, 2002. – P. 312-327. 12. Kang C. A novel edge detection method based on the max-imizing objective function / C. Kang, W. Wang // Pattern. Recog, – Vol. 40, – 2007. – P. 609-618. 13. Rebordao J. V. Lookup table loadings for image processing with controlled

knots / J.V. Rebordao // Computer vision, graphics and image processing. – 1989. – v. 47, №2. – P. 189 – 202. **14.** Бочаров П.П. Теория вероятностей. Математическая статистика / П.П. Бочаров, А.В. Печинкин – М: Физматлит. – 2005. – 296 с. **15.** Howell S.B. Handbook of CCD Astronomy / S. J. Howell // Cambridge University Press. – 2000. – P. 164. **16.** Lahouaoui L. A comparative study of Image Region-Based Segmentation Algorithms / Т.Мохамеди, L. Lahouaoui // IJACSA – Vol. 4(6) – 2013. P. 119 – 127. **17.** Krishnan G. Region Based Segmentation Algorithm for Remote Sensing Image Based on Heterogeneity of Objects / G. Krishnan, A. Tholkappia // MEJSR - Vol. 23 (7) – 2015 – P. 1375-1378. **18.** Manohar K. Review on Techniques of Image Segmentation / K. Manohar, A. S Patil // International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering // IJARCC - Vol. 5(3) – 2016. – P. 201 – 209. **19.** Погорелов А. В. Сегментация изображений одиночных объектов на цифровых астрономических изображениях / А. В. Погорелов, В. Е. Саваневич, А.Б. Брюховецкий // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии, – Харьков: ХАИ . – 2017. – № 76. – С. 170-191. **20.** Piprek J. CCD Astronomy: Optoelectronic Devices: Advanced Simulation and Analysis / J. Piprek // Springer Science & Business Media, – 2005. – P 452. **21.** Саваневич В.Е. Определение координат статистически зависимых объектов на дискретном изображении // Радиоэлектроника и информатика. – 1999. – № 1. – С. 4–8. **22.** Саваневич В. Е. Метод предварительного обнаружения сигналов от небесных объектов на цифровом изображении / В.Е. Саваневич, А.М. Кожухов, А.Б. Брюховецкий // Системи озброєння та військова техніка. – Харків: ХУПС, – 2011. – Вип. 2(26). – С. 169 – 173. **23.** Саваневич В.Е. Программа CoLiTec автоматизированного обнаружения небесных тел со слабым блеском / В. Е. Саваневич, А. Б. Брюховецкий, А. М. Кожухов, Е. Н. Диков, В. П. Власенко // Космічна наука і технологія. – 2012. – т.18. – №1. – С. 39 – 46. **24.** Savanevych V. E A new method based on the subpixel Gaussian model for accurate estimation of asteroid coordinates / V. E. Savanevych, O. B. Briukhovetskiy, N. S. Sokovikova, M. M. Bezukrovny, I. B. Vavilova, Yu. M. Ivashchenko, L. V. Elenin, S. V. Khlamov, Ia. S. Movsesian, A. M. Dashkova, A. V. Pogorelov // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. – 2015. – Т. 451 (3). – С. 3287-3298. **25.** Savanevych V. E. Comparative analysis of the positional accuracy of CCD measurements of small bodies in the solar system software CoLiTec and Astrometrica / V. E. Savanevych, A. B. Briukhovetskiy, Yu. N. Ivashchenko, I. B. Vavilova, M. M. Bezukrovny, E. N. Dikov, V. P. Vlasenko, N. S. Sokovikova, Ia. S. Movsesian, N. Yu. Dikhtyar, L. V. Elenin, A. V. Pohorelov, S. V. Khlamov // Kinematics and Physics of Celestial Bodies – 2015. – Т. 31 (6). – P. 302-313.

Resume

A.V. Pohorelov, V. E. Savanevych, O. B. Briukhovetskiy, S.G. Udovenko

COMPUTATIONAL METHOD FOR SEGMENTING IMAGES OF COMPACT GROUPS OF OBJECTS ON DIGITAL ASTRONOMICAL IMAGES

Background: Most methods for determining the positions of objects on a digital astronomical image allow one to evaluate the position of only images of single objects, rather than images of compact groups. To assess the position of images of compact groups of objects, it is expedient to carry out their preliminary division into a set of images of single objects.

Materials and methods: In this work, we use an over-pixel Gaussian model of image objects. Within the framework of this model, a compact group of objects with statistically dependent images is considered as a union of a set of two-dimensional Gaussians. To minimize computational costs, the segmentation of images of compact groups is carried out in segments selected in advance using image segmentation of single objects. In the method being developed, the peak of the image of the segmented object is used as the starting pixel for dividing the images of a compact group.

Results: In accordance with the proposed method, the segmentation of images of objects on a digital frame is performed for each peak of the previously detected image of the object. At the stage of isolating a single object, the possibility of having more than one object in the segmentation area of the image is not taken into account. Therefore, the images of the selected segments, obtained when segmenting with the start pixel of any image of a compact group of objects, will coincide at the stage of selecting a single object. One of the parameters of the proposed method of segmentation of images of the type under consideration is the critical value of the brightness increment. When moving from the peak of the segmented image, the specified critical value determines the permissible increase in brightness, at which the pixel is expediently attributed to the considered image segment of the object.

As a result of the proposed method of segmentation of compact groups of statistically dependent images of close objects, images of single objects are extracted from the image of the segment. Testing of the method was carried out for segmentation of images of compact groups of objects on digital astronomical images. In particular, the developed method is used for segmenting images of compact groups of objects on digital frames in the software package for automated detection of asteroids and comets CoLiTec.

Conclusion: The paper proposes a computational method for segmenting compact groups of statistically dependent local images of close objects on digital images. It is essentially new in the work to isolate images of compact groups only in segments preliminarily determined using segmentation of single objects. This allows us to segment images of compact groups of objects with computational costs close to minimal.

Поступила в редколлегию 13.09.2017

УДК 004.89: 614.446.3

Д.И. Чумаченко¹, А.С. Гончаренко²

¹Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского
«Харьковский авиационный институт»,
г. Харьков, Украина, dichumachenko@gmail.com;

²Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского
«Харьковский авиационный институт», Харьков, Украина, anthonygoncharenko@gmail.com;

ПРИМЕНЕНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО МУЛЬТИАГЕНТНОГО ПОДХОДА К МОДЕЛИРОВАНИЮ ЭПИДЕМИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ВИЧ-ИНФЕКЦИИ

В статье рассмотрены проблемы прогнозирования эпидемического процесса ВИЧ-инфекции. Для решения данной проблемы разработана интеллектуальная мультиагентная модель, позволяющая учесть факторы, влияющие на заболеваемость, распределение по возрастным категориям и группам риска. Модель использует статистические данные о реальной заболеваемости ВИЧ-инфекцией в Харьковской области с 2010 по 2016 года. Интеллектуальная мультиагентная модель реализована программно в среде разработки Visual Studio 2013 на языке программирования C#. Разработанный программный комплекс показывает высокую точность построенного прогноза.

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ МУЛЬТИАГЕНТНАЯ МОДЕЛЬ, ВИЧ-ИНФЕКЦИЯ, ЭПИДЕМИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС, ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЭПИДЕМИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА.

Д.І. Чумаченко, А.С. Гончаренко Застосування інтелектуального мультиагентного підходу до моделювання епідемічного процесу ВІЛ-інфекції. У статті розглянуті проблеми прогнозування епідемічного процесу ВІЛ-інфекції. Для вирішення даної проблеми розроблена інтелектуальна мультиагентна модель, що дозволяє врахувати чинники, що впливають на захворюваність, розподіл за віковими категоріями та групами ризику. Модель використовує статистичні дані про реальну захворюваність на ВІЛ-інфекцію в Харківській області з 2010 по 2016 роки. Інтелектуальна мультиагентна модель реалізована програмно в середовищі розробки Visual Studio 2013 на мові програмування C#. Розроблений програмний комплекс показує високу точність побудованого прогнозу.

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНА МУЛЬТИАГЕНТНА МОДЕЛЬ, ВІЛ-ИНФЕКЦІЯ, ЕПІДЕМІЧНИЙ ПРОЦЕС, ПРОГНОЗУВАННЯ ЕПІДЕМІЧНОГО ПРОЦЕСУ.

D.I. Chumachenko, A.S. Goncharenko Application of intelligent multiagent approach to HIV-infection epidemic process simulation. The article considers the problems of forecasting the epidemic process of HIV infection. To solve this problem, an intelligent multiagent model has been developed. It allows taking into account the factors influencing morbidity, distribution by age categories and risk groups. The model uses statistical data on the real incidence of HIV infection in the Kharkiv region from 2010 to 2016. The intelligent multiagent model is implemented programmatically in the Visual Studio 2013 development environment in the C # programming language. The developed program complex shows high accuracy of the constructed forecast.

INTELLIGENT MULTIAGENT MODEL, HIV-INFECTION, EPIDEMIC PROCESS, FORECASTING OF EPIDEMIC PROCESS

Введение

Проблема распространения инфекционных заболеваний во все времена являлась чрезвычайно важной. Урбанизация, постоянный рост численности населения Земли, уменьшение общего количества и загрязнение пресной воды на планете — все это факторы, которые в той или иной степени вносят свой «вклад» в появлении все новых, более устойчивых к известным, методам лечения инфекций. Причем темп роста только увеличивается со временем. Данная ситуация приводит к тому, что современная эпидемиология инфекционных заболеваний является одной из самых быстроразвивающихся и наиболее важных наук современности, в масштабах всего человечества.

Эпидемиология инфекционных заболеваний как наука о закономерностях развития и прекращения эпидемического процесса, способах его ограничения и ликвидации накопила огромный

теоретический, практический и экспериментальный материал, который является основой для разработки и внедрения научно обоснованных эффективных мер предупреждения и борьбы с инфекционными заболеваниями.

ВИЧ-инфекция представляет собой глобальную угрозу для общественного здоровья и социального развития человечества. По данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) на конец 2016 г. в мире насчитывалось примерно 36,7 миллиона человек с ВИЧ-инфекцией, а 1,8 миллиона человек приобрели ВИЧ-инфекцию в 2016 году. В 2016 г. от причин, связанных с ВИЧ, во всем мире умерло 1,0 миллиона человек [1].

Ключевыми группами населения являются группы лиц, подвергающихся повышенному риску инфицирования ВИЧ, независимо от типа эпидемии или местных условий. К таким группам относятся: мужчины, имеющие секс с мужчинами,

лица, употребляющие инъекционные наркотики, лица, находящиеся в местах лишения свободы и других условиях изолированного пребывания, секс-работники и их клиенты, а также трансгендерные лица.

Особенности поведения делают уязвимыми к ВИЧ эти группы населения и затрудняют доступ к программам тестирования и лечения. Использование антиретровирусных препаратов для лечения ВИЧ-инфицированных позволяет увеличить продолжительность жизни, улучшить ее качество и снизить риски передачи инфекции при рискованном поведении.

По данным ВОЗ за период с 2000 по 2016 г. благодаря антиретровирусной терапии (АРТ) в мире было спасено 13,1 миллиона человеческих жизней. Однако, несмотря на эффективность АРТ для длительного сохранения жизни ВИЧ-инфицированных, это заболевание по-прежнему остается пожизненно неизлечимым, что диктует необходимость совершенствования профилактических мер [2].

Для разработки эффективных профилактических программ необходимо выявить ведущие факторы риска, в первую очередь поведенческие, способствующие распространению заболевания. При этом в разных регионах мира и на разных территориях могут превалировать те или иные факторы, что зависит от социально-экономических, культурных, религиозных и других исторически сложившихся особенностей поведения населения конкретного региона или страны. Прогнозирование динамики распространения заболеваемости позволит выявить ведущие факторы риска распространения ВИЧ-инфекции в конкретных условиях. Наиболее эффективным инструментом является имитационная математическая модель, исходными данными для построения которой должны быть данные о заболеваемости и особенностях поведения групп риска той территории, для которой разрабатывается профилактическая программа [3].

1. Постановка задачи исследования

Таким образом в данном исследовании предлагается интеллектуальная мультиагентная модель распространения ВИЧ-инфекции, результатом которой является прогноз динамики заболеваемости. В исследовании использованы данные статистики о заболеваемости ВИЧ-инфекцией в Харьковской области и результаты анкетирования лиц из групп риска за период с 2010 по 2016 года.

2. Интеллектуальное мультиагентное моделирование как подход к прогнозированию эпидемических процессов

Говоря о математическом моделировании, нельзя не обратить внимания на эволюционный процесс смены парадигм моделирования, который характерен для многих дисциплинарных областей, в которых применяются методы теории

управления. Этот процесс начал рассматриваться в современных научных исследованиях, как «смена поколений» математических моделей, совсем недавно. Тем не менее, сейчас можно говорить уже о трех таких поколениях. На первых этапах речь чаще всего идет о математической записи отдельных фрагментов наблюдений над реальными объектами. Для них характерна простота описаний, типична линейность уравнений и малая размерность (часто воспроизводится всего одна или две переменных). Методы анализа связаны, в основном, с получением аналитических решений и графическим рассмотрением на фазовой плоскости. Следующим этапом являются модели, описывающие объект во всей его полноте – в них объект представлен в виде системы – модель отражает его структуру и законы, по которым он функционирует. Модели становятся существенно нелинейными, чисто математический аппарат дополняется логико-семантическим. Возрастает размерность, достигая нескольких десятков. Такие модели называются «сложными», «большими», а рабочим инструментом на этом этапе становится вычислительный эксперимент. В настоящее время актуальным предметом исследования является переход к третьему поколению математических моделей – моделям виртуального мира. Виртуальное моделирование можно определить, как воспроизведение трехмерного мира компьютерными средствами. Резко возрастает объем обрабатываемой и воспроизводимой информации (например, количество визуализируемых «деталей» достигает нескольких тысяч). В задаче математического моделирования кроме объекта моделирования и модели, обязательно присутствует субъект моделирования, лицо, усилиями и в интересах которого осуществляется модель [4]. Роль субъекта моделирования оказывается решающей, ибо именно его цели, интересы и предпочтения формируют модель.

Именно специфические потребности субъекта моделирования и привели к тому, что от математического моделирования отделилась такая область исследования объектов и построения моделей, как имитационное моделирование. В вышеупомянутых «сложных» моделях виртуальных процессов зачастую присутствуют множество компонентов, которые схожи по своей природе, но различны по поведению. Схожесть означает, что компоненты имеют ряд свойств, которые в моделировании играют роль управляющих параметров. Различие означает же индивидуальность в поведении, то есть в зависимости от значений тех или иных характеристик объектов, каждый компонент которых имеет свою уникальную линию поведения. В таких моделях, как правило, субъектом моделирования является задача прогнозирования поведения группы таких объектов при различных наборах входных (управляющих) параметров.

Описанный выше вид моделирования называется агентным моделированием. Дадим же этому понятию определение. Агентное моделирование

– это метод имитационного моделирования, исследующий поведение всей системы в целом. В отличие от системной динамики аналитик определяет поведение агентов на индивидуальном уровне, а глобальное поведение возникает в результате деятельности множества агентов.

Агент – это некоторая сущность, которая обладает активностью, автономным поведением, может поступать в соответствии с некоторым набором правил, взаимодействовать с окружением и другими агентами, и, в процессе функционирования, может менять свое поведение и учитывать изменение внешней среды [5].

В основе агент-ориентированных моделей лежат следующие основные идеи:

1. Объектная ориентированность.
2. Обучаемость агентов (так называемая эволюция).
3. Сложность вычислений.

Главным объектом, рассматриваемым в агентном подходе, является, понятие агента. Основными свойствами агентов будем считать:

1. Интеллектуальность. Это свойство должно быть умеренным для того, чтобы агенты не могли познать нечто большее, выходящее за рамки правил исследуемой системы.

2. Наличие жизненной цели. Расположение во времени и пространстве. Имеется в виду некоторая «среда обитания», которая может быть представлена как в виде решетки, так и в виде гораздо более сложной структуры. Иногда, результат взаимодействия агентов в «среде обитания» – равновесие, иногда – непрерывающийся процесс эволюции, а иногда – бесконечный цикл без определённого решения.

3. Децентрализация. Агенты не зависят друг от друга, их поведения задается на индивидуальном уровне.

Считается, что агентно-ориентированные модели (АОМ) дополняют традиционные аналитические методы. Последние позволяют нам охарактеризовать равновесие системы, а АОМ позволяют исследовать возможность получения такого состояния. АОМ могут объяснить причину возникновения таких явлений как: террористические организации, войны, обрушения рынка акций и т.д.

Агентная модель, обеспечивающая взаимодействие большого количества частиц, и содержащая в своей основе дискретно-событийную модель, называется мультиагентной моделью. Мультиагентное имитационное моделирование активных систем – это новая концепция интеллектуальных информационных технологий. Она ориентирована на совместное использование моделей и методов естественного и искусственного интеллекта для виртуального исследования, идентификации и прогнозирования состояния и поведения активных систем в заданной среде. Принципиальным отличием новой концепции моделирования является введение и формализация

сенсорных связей (переменных) между взаимодействующими активными элементами динамической системы. На раннем этапе исполнения, мультиагентная модель представляет собой некоторое множество переменных состояний, характеризующее модель, а также список запланированных событий, которые должны произойти в будущем.

3. Интеллектуальная мультиагентная модель распространения ВИЧ-инфекции

Для моделирования динамики распространения инфекции был разработан алгоритм, содержащий все принципы агентного моделирования. В качестве болезни была выбрана ВИЧ-инфекция, основным механизмом передачи которой является контактный (половой контакт, контакт с кровью и биологическими жидкостями человека, переливание крови и др.). Это антропонозная инфекция, т.е. передача вируса осуществляется от одного человека другому. [6] Основной идеей метода, является принцип децентрализации агентных моделей. Поведение агентов задается на индивидуальном уровне, а динамика системы определяется как результат взаимодействия множества агентов. На основе агентного подхода разработана имитационная модель распространения инфекции и определены правила взаимодействия агентов [7]. В модели приняты следующие основные допущения: существует вероятность взаимодействия любого агента с любым другим из системы; единицей времени является одна итерация, отсчет времени начинается с нуля итераций, шаг времени равен единице; все агенты разбиваются на типы, для каждого типа объектов определяется система правил [8].

Свойства агента:

- тип агента (благоразумный и неблагоразумный);
- время ближайшего события: t ;
- возраст агента: t_old ;
- локация в которой находится агент: $current_location$;
- тип ближайшего события (смерть, переход в зараженную зону, переход в безопасную зону или рождение);
- позиция агента в локации;
- статус агента относительно болезни (0 – здоров, 1 – болен, 2 – иммунитет).

Агенты в системе – объекты с общим набором свойств, но индивидуальными числовыми значениями. Они отличаются по типу, каждый из которых имеет свою линию поведения. Правила поведения задаются начальными вероятностями, которые остаются неизменными до окончания работы программы.

Локации представляют собой одномерные динамические массивы, размер каждой задается и максимально может равняться общему количеству агентов в системе. Зоны содержат количество агентов, которые пребывают в них в данный период времени, их номера, ячейки (индексы массива)

с зараженными полями, а также идентификатор «занятости» ячейки. В одном месте локации может находиться не более одного агента.

Система представляет собой динамический массив агентов. В ней задаются все числовые характеристики локаций, такие как геометрические размеры (длина массива), также происходит создание каждого из агентов со своими уникальными наборами свойств.

Свойства системы:

- средний возраст агента: MaxAge;
- количество агентов, обрабатываемое за одну итерацию;
- вероятности (различные для каждого из типов агентов);
- глобальное время системы.

Входные данные делятся на два типа: начальные данные для управления системой и данные описывающие индивидуальные свойства агентов.

Параметры для работы системы: общее количество агентов в системе, количество агентов, обрабатываемое за одну итерацию, количество зараженных зон, максимальный возраст агента.

В данном случае, на уникальные свойства агентов влияют вероятности перехода с одной локации в другую, согласно своему типу:

- HealthyInRisk – будучи здоровым перейти в зону риска;
- SickInRisk – будучи больным перейти в зону риска;
- SickInHosp – согласие на госпитализацию;
- HealthOnHosp – благоприятный исход лечения.

Предлагаемая система относится к категории биоморфных мультиагентных систем и представляет собой наборы агентов с архитектурой

$$Ag_i = (shmP_i, M_i), \quad (1)$$

где $shm P_i$ – схема агента, определяющая его внутреннюю структуру; M_i – метод агента, определяющий его поведение.

Начальное положение агента $current_location$ равно 0, то есть все агенты находятся в безопасной зоне. При старте работы системы, происходит случайное присвоение типа ближайшего события каждому из агентов, согласно введенным вероятностям, и его времени, в интервале от 0 до MaxAge (в итерациях). Основной идеей, реализовывающей агентный подход, является аппарат событийного моделирования. Это достигается за счет реализации турнирного алгоритма или алгоритма построения хипа (имплицитной кучи). В нем находятся номера (индексы массива) агентов – ind_treat . После рандомизации времени и типа ближайшего события, ведется начальное построение кучи. Хип может быть построен только для 2^m объектов. В случае если же общее количество агентов не составляет никакой степени двойки, массив (хип) дополняется фиктивными элементами, время которых заведомо большое. Событийная структура,

в данном случае, служит лишь для слежения за глобальным временем. На вершине хипа оказывается агент с минимальным (т.е. с ближайшим) временем события. Далее осуществляется обработка данного события для агента ind_treat , т. е. переход из текущей локации в ту, которая предусмотрена рассматриваемым событием. В свою очередь текущей локацией ($current_location$), становится локация, в которую перешел агент. Данному агенту присваивается новый тип ближайшего события и новое, случайное время. Затем хип перестраивается заново. Указанная обработка осуществляется при помощи блока $switch ()$ и условных операторов. Вероятности реализованы применением генерации случайных чисел $Random ()$. Так как рандомизация имеет равномерное распределение, то требуемая вероятность достигается за счет генерации случайного числа в пределах от 0 до $1/P_i$, где P_i – конкретная введенная вероятность.

Данные переходы могут повлечь за собой изменение статуса агента. Например, если агент перешел в небезопасную зону на зараженный ее участок, то его статус изменится с 0 на 1, конечно, если он не был болен до этого или не имеет иммунитета.

Зараженные агенты, в зависимости от типа, могут попасть в больницу. Если это условие выполнилось, то с определенной вероятностью пациент может выздороветь, соответственно его состояние перейдет из 2 в 3.

Алгоритм реализует возможность взаимодействия агентов между собой. Каждый раз, когда агент ind_treat попадает в новую $current_location$, он будет помещен случайно выбранный индекс в пределах размерности массива, представляющего локацию. Здесь пока не идет речь о незанятости этой ячейки массива. Если же индекс массива оказался свободным, то просто вставляем туда номер текущего агента. В противном случае же происходит взаимодействие агента ind_treat с агентом, находящимся по полученному индексу в $current_location$, назовем его $find_agent$. Примеры взаимодействий двух агентов, в зависимости от их статуса отражены в табл. 1.

Таблица 1

Пример взаимодействия агентов

Статус агентов до взаимодействия		Статус агентов после взаимодействия	
ind_treat	$find_agent$	ind_treat	$find_agent$
1	0	1	1
1	2	1	2
0	2	0	2
1	1	1	1
0	0	0	0

После взаимодействия агентов, агент ind_treat , получает новый индекс для помещения, и обработка перехода в указанную локацию начинается заново.

Программа моделирует взаимодействия агентов между собой и внешней средой, до тех пор, пока не будет подана внешняя команда, означающая остановку процесса.

4. Программная реализация интеллектуальной мультиагентной модели распространения ВИЧ-инфекции

Программная реализация задания выполнена в среде разработки Visual Studio 2013 на языке программирования C#. Разработанный программный продукт, дает возможность спрогнозировать динамику распространения инфекционного заболевания на кратковременный срок, по введенным пользователем начальным данным.

При запуске программы будет открыто окно ввода начальных данных. На верхней панели расположено меню навигации по программе, которое имеет три вкладки: «Начальные данные», «Работа системы» и «График». Пользователь может самостоятельно в любое время переходить из одной вкладки меню на другую, но работать с системой станет возможным только после корректного ввода начальных параметров. При неправильном вводе данных появится соответствующая пиктограмма, при наведении курсора на которую, можно узнать причину и тип ошибки. Некоторые элементы управления могут быть недоступны в тот или иной момент – это значит, что пользователь не произвел необходимых подготовительных действий, о виде которых будет сообщено в поле вывода числовой статистики работы системы, во вкладке «Работа системы». Каждый элемент программного интерфейса имеет подпись, обозначающую назначение конкретного компонента управления. Вкладка меню навигации «Начальные данные» содержит поля для ввода числовых значений начальных параметров. «Работа системы» – вкладка для отображения в реальном времени протекания заболевания. Также там размещены компоненты ручного управления процессом моделирования. Наконец в последней опции меню расположено поле вывода результата моделирования в виде графика функции количества агентов относительно их состояния, зависимой от времени.

На рисунках 1–3 показаны окна данного программного продукта и общее устройство интерфейса с детальными пояснениями к основным элементам управления.

Блоки ввода 3 и 4 на рисунке 1 задают соответствующие числовые параметры для работы модели, согласно введенным пользователем данным. Элемент управления 1 – сохраняет все предварительно введенные параметры, если же в каком-либо поле была допущена ошибка, то рядом появится пиктограмма, предупреждающая об ошибке. Элемент управления 2 – задает параметры по умолчанию, после нажатия можно сразу же увидеть их значения в соответствующих полях. Значения числовых параметров по умолчанию, нельзя

редактировать. Эти данные были специально подобраны для наиболее быстрого и наглядного демонстрация работы программы.



Рис. 1. Окно ввода начальных данных:

- 1 – кнопка сохранения введенных начальных данных;
- 2 – кнопка задать все начальные данные по умолчанию;
- 3 – поля для ввода параметров системы; 4 – поля для ввода управляющих данных агентов

На рисунке 2 показано основное окно работы системы.

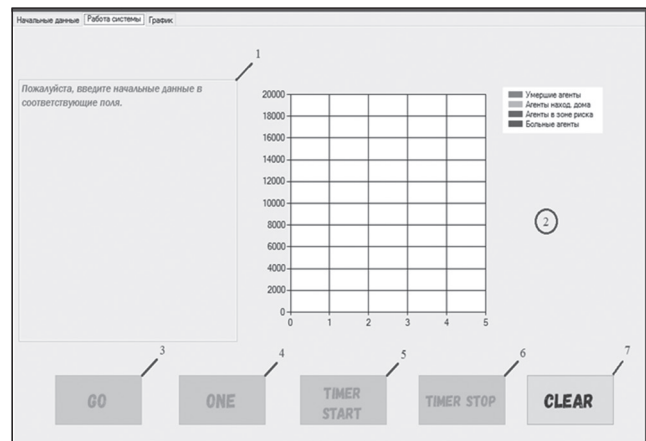


Рис. 2. Окно работы моделируемой системы:

- 1 – поле вывода всей информации о количестве агентов в каждой из локаций; 2 – диаграмма, показывающая в реальном времени числовые результаты работы программы; 3 – кнопка старта моделирования (не активна до введения начальных данных, как и 4, 5, 6);
- 4 – кнопка ручного управления моделированием (одно нажатие соответствует одной итерации);
- 5 – кнопка запуска таймера (автоматическое управление моделированием); 6 – кнопка остановки таймера;
- 7 – кнопка очистки системы для ввода новых управляющих параметров

Во избежание ошибок при работе программы, были введены ограничения на некоторые элементы управления. Точнее все кнопки в тот или иной момент времени могут быть недоступны для использования. Это связано с тем, что пользователь мог некорректно или вообще не ввести начальные данные. Также это может быть связано с тем, что при начале нового моделирования не было остановлено текущее. Подробнее информацию о причине данной ситуации можно найти в поле 1 (рис. 2).

На рисунке 3 проиллюстрировано окно вывода окончательного результата работы моделируемой системы в виде графика.

При помощи данного программного продукта, пользователь может смоделировать и в реальном времени увидеть динамику распространения не только ВИЧ-инфекции, а любого произвольно антропонозного инфекционного заболевания, которое имеет свойство предаваться от человека человеку при контакте (вид контакта не уточняется), на коротко срочный период времени, в соответствии с начальными параметрами, заданными вручную.

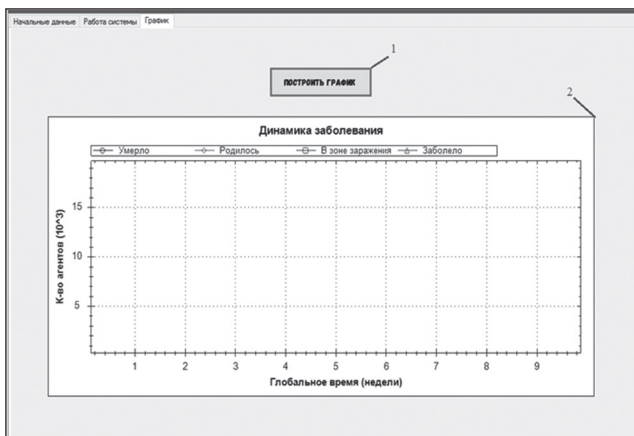


Рис. 3. Окно представления результата:

1 – элемент управления, при помощи которого ведется построение графика по результатам моделирования;
2 – поле вывода графика

5. Результаты моделирования

Для тестирования данного программного продукта, были проверены несколько вариантов входных данных. При каждом наборе параметров программа демонстрировала хорошие временные показатели. Было замечено, что на скорость работы влияют два фактора: общее количество агентов в системе и количество агентов, обрабатываемое за одну итерацию. Максимальное значение этих двух параметров при тестировании достигало 100000.

- общее количество агентов в системе – 20000;
- количество агентов, обрабатываемое за одну итерацию – 10000;
- количество зараженных зон – 18000;
- максимальный возраст агентов – 60 (лет).

Начальные вероятности по перемещению агентов приведены в табл. 2.

Таблица 2

Числовые значения управляющих параметров

Вероятности	Типы агентов	
	I = 0	I = 1
HealthyInRisk	0.1	0.9
SickInRisk	0.1	0.3
SickInHosp	0.9	0.4
HealthOnHosp	0.5	

Основные результаты, полученные в процессе моделирования, приведены на рисунке 4.

Модель демонстрирует поведение инфекционного заболевания, основным свойством которого есть передача от одного человека другому при контакте. Прогноз выполнен на короткий срок, приблизительно 4 месяца (15 недель). На рисунке 4 видны «всплески» количества заболевших агентов, после чего некоторая часть из них умерла. Эти волны имеют тенденцию к повторению через примерно равные промежутки времени, что проявляется и в реальной жизни. Если продолжить моделирование на более долгий срок, то, несмотря на возрастающую погрешность, можно наблюдать тенденцию к уменьшению количества заболевших в каждый эпидемический период.

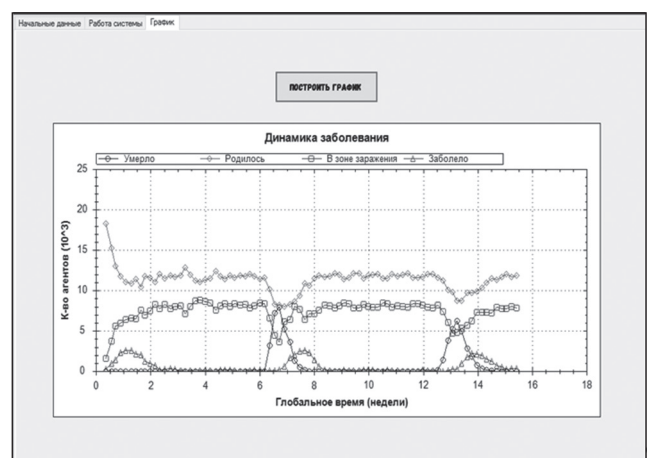


Рис. 4. Результат работы моделирования системы

Выводы

Предложенный в статье интеллектуальный мультиагентный подход к моделированию эпидемического процесса ВИЧ-инфекции позволяет учитывать факторы, влияющие на заболеваемость, распределение населения по возрастным категориям и группам риска. Для проверки адекватности разработанной интеллектуальной мультиагентной модели использована статистика о реальной заболеваемости по Харьковской области 2010 – 2016 гг.

На основе построенной мультиагентной модели, в среде Visual Studio 2013 на языке программирования C# разработан программный комплекс, который позволяет рассчитать прогноз заболеваемости ВИЧ-инфекцией на короткий срок (15 недель). Предложенный в статье подход позволит выявить основные факторы, влияющие на эпидемический процесс ВИЧ-инфекцией, а также разработать эффективные превентивные меры по снижению уровня заболеваемости.

Список литературы: 1. WHO. HIV/AIDS Fact sheet, July 2017. [online] Available at: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs360/en/> 2. Global AIDS Update. UNAIDS report. 2016 [online] 16 p. Available at: <http://www.who.int/hiv/pub/arv/global-aids-update-2016-pub/en/> 3. Chernyshev Y., Chumachenko D., Tovstik A. Development of intelligent agents for

simulation of hepatitis B epidemic process // Proceedings of East West Fuzzy Colloquium 2013 (20th Zittau Fuzzy Colloquium, September 25 – 27, 2013). – Institut für Prozesstechnik Prozessautomatisierung und Messtechnik, 2013. – P.161–168. **4.** Чумаченко Д.І., Чумаченко Т.О. Інформаційна технологія епідеміологічного нагляду // Інформаційні технології та інновації в економіці, управлінні проектами і програмами: [монографія] / за заг. ред. В.О. Тимофєєва, І.В. Чумаченко. – Харків: ФОП Панов А.М., 2016. – С.368–379. **5.** Santos F.S., Ortega N.R.S., Zanetta D.M.T., Massad E. Fuzzy Dynamical Model of Epidemic Spreading Taking into Account the Uncertainties in Individual Infectivity // Advances in Technological Applications of Logical and Intelligent Systems. – IOS Press, 2009. – P. 180-193. **6.** Jafelice R.M., de Barros L.C., Bassanezi R.C., Gomide F. Fuzzy modeling in symptomatic HIV virus infected population // Bulletin of Mathematical Biology. Volume 66. Issue 6. – Springer, 2004. – P. 1597-1620. **7.** Chumachenko D., Chumachenko T. Agent-based investigation of sexually transmitted infection // Online Journal of Public Health Informatics, 9(1):e60, 2017. <http://ojphi.org/ojs/index.php/ojphi/article/view/7638/6159> **8.** Chumachenko D., Chumachenko T. Agent-Based Model of the Epidemic Process of Diseases with Multiple Routes of Infection Transmission Development and Evaluation // International Journal of Research Studies in Computer Science and Engineering (IJRSCSE), Volume 3, Issue 5. – India: ARC Publications Private Limited, 2016. – pp. 20-24.

Resume

D.I. Chumachenko, A.S. Goncharenko APPLICATION OF INTELLIGENT MULTIAGENT APPROACH TO HIV-INFECTION EPIDEMIC PROCESS SIMULATION

Background: The problem of spreading the epidemic incidence is an important social and economic problem of modern society. HIV infection is a global threat to public health and the social development of humanity. Mathematical modeling is able to adequately assess the prognosis morbidity and help identify effective antiepidemic measures to counteract infection.

Materials and methods: The article considers an intelligent multiagent approach to the modeling of dynamic systems. It is used to predict the spread of the incidence of HIV infection, taking into account the characteristics of the epidemic process and based on real statistics on the Kharkov region from 2010 to 2016.

Results: An intelligent multiagent model of spreading the incidence of HIV infection has been developed. The software implementation of the model is performed in the Visual Studio 2013 environment in the C # programming language. The developed software allows calculating the short-term forecast of the dynamics of the epidemic process. To test the adequacy of the constructed forecast, statistical data on the actual incidence of HIV infection in the Kharkiv region from 2010 to 2016 were used.

Conclusions: The intelligent multi-agent approach to modeling the epidemic process of HIV infection suggested in the article allows calculating the predictive morbidity with high accuracy. Also, to identify the factors most influencing the dynamics of the epidemic process, which will allow to develop effective preventive measures to prevent the HIV epidemic in a given territory.

Поступила в редколлегию 14.09.2017

УДК 004.9:530.1



Н.Б. Шаховська, Р.М. Камінський, Є.О. Засоба
 Національний університет «Львівська політехніка»,
 м. Львів, Україна, Natalia.b.shakhovska@lpnu.ua

МЕТОД ПОШУКУ АСОЦІАТИВНИХ ЗАЛЕЖНОСТЕЙ У ВЕЛИКИХ ДАНИХ

В роботі запропоновано метод аналізу Великих даних в умовах наявності різних джерел даних та різних методів опрацювання цих даних. Описано складові проблеми опрацювання різнотипних даних. Уведено поняття асоціативної залежності, розроблено метод пошуку залежностей, визначено ефективність та можливість його розпаралелення. Здійснено порівняльний аналіз ефективності методів пошуку асоціативних правил.

ВЕЛИКІ ДАНІ, АСОЦІАТИВНЕ ПРАВИЛО, ЗАЛЕЖНІСТЬ ДАНИХ, СКЛАДНІСТЬ АЛГОРИТМУ, ПАРАЛЕЛЬНЕ ОПРАЦЮВАННЯ

Шаховська Н.Б., Каминский Р.М., Засоба Е.А. Метод оиса ассоциативных зависимостей в Больших данных. В работе предложен метод анализа Больших данных в условиях наличия различных источников данных и различных методов обработки этих данных. Описаны составляющие проблемы обработки разнотипных данных. Введено понятие ассоциативной зависимости, разработан метод поиска зависимостей, определена эффективность и возможности его распараллеливания. Осуществлен сравнительный анализ эффективности методов поиска ассоциативных правил.

БОЛЬШИЕ ДАННЫЕ, АССОЦИАТИВНЫХ ПРАВИЛ, ЗАВИСИМОСТЬ ДАННЫХ, СЛОЖНОСТЬ АЛГОРИТМА, ПАРАЛЛЕЛЬНАЯ ОБРАБОТКА

Shakhovska N., Kaminsky R., Zsoba Ye. The method of associative rules mining in Big data. The paper proposes a method for Big data analyzing in the presence of different data sources and different methods of processing these data. The components of the problem of various data types processing are described. The concept of associative dependence was introduced, the method of finding dependencies was developed, efficiency and possibilities of its parallelism were determined. A comparative analysis of the effectiveness of methods for the search for associative rules is carried out.

GREAT DATA, ASSOCIATIVE RULES, DATA RISK, ALGORITHM COMPLEXITY, PARALLEL DEFENSE

Вступ

Сьогодні задача опрацювання різноманітних неузгоджених інформаційних ресурсів (пошуку, системної інтеграції тощо) виникає досить часто. Так, для університету прикладом інтеграції є формування наукових звітів, визначення показників успішності та якості навчання, формування рейтингу кафедри тощо; для обласної адміністрації – це визначення критичних показників розвитку регіону на основі даних, отриманих з організацій державної та недержавної форми власності.

Опрацюванням різнотипних неузгоджених даних дослідники займалися з 70-х років ХХ ст. Розроблені моделі та метамови опрацювання різнотипних даних. Проте, існуючі на сьогодні моделі та методи стосуються або лише наперед відомих типів даних (здебільшого, реляційні бази даних), або вирішують лише часткові задачі опрацювання різнотипних даних – наприклад, індексування для пришвидшення пошуку.

Тому виникає необхідність управління розрізненою інформацією, а саме її подання у зрозумілому для користувачів вигляді (навіть якщо вони не знають особливостей організації структур цього джерела даних) та опрацювання (пошуку, інтеграції, видобуванні нових знань тощо).

Одним із базових завдань опрацювання різнотипних даних є їхня інтеграція. Розроблені на

сьогодні методи інтеграції даних за своєю функціональністю поділяються на два типи: інтеграція веб-застосунків та інтеграція на основі сховищ даних. Проте проведений аналіз літературних джерел показав, що для опрацювання інформації від усіх об'єктів галузі необхідно поєднати обидва типи інтеграції та вдосконалити наявні моделі даних.

Складові проблеми опрацювання різнотипних даних подані на рис. 1 [7].

Окремі предметні області, для яких актуальні задачі опрацювання даних з різнотипних джерел [8]:

- системи моніторингу та опрацювання новин (задача визначення правдоподібності подій на основі аналізу джерел, які ці події описували);
- системи анотування та реферування множини документів (визначення ваги терміну та речення, яке входить у кінцевий реферат);
- галузі виробництва (ієрархічна структура даних, передача даних з групуванням на вищі рівні ієрархії, об'єднання потокових даних та даних документообігу);
- медицина (визначення залежностей даних у невідомих джерелах));
- рекреаційно-туристична сфера (обмін даними між тур-операторами, інформаційними агенціями, органами керування);

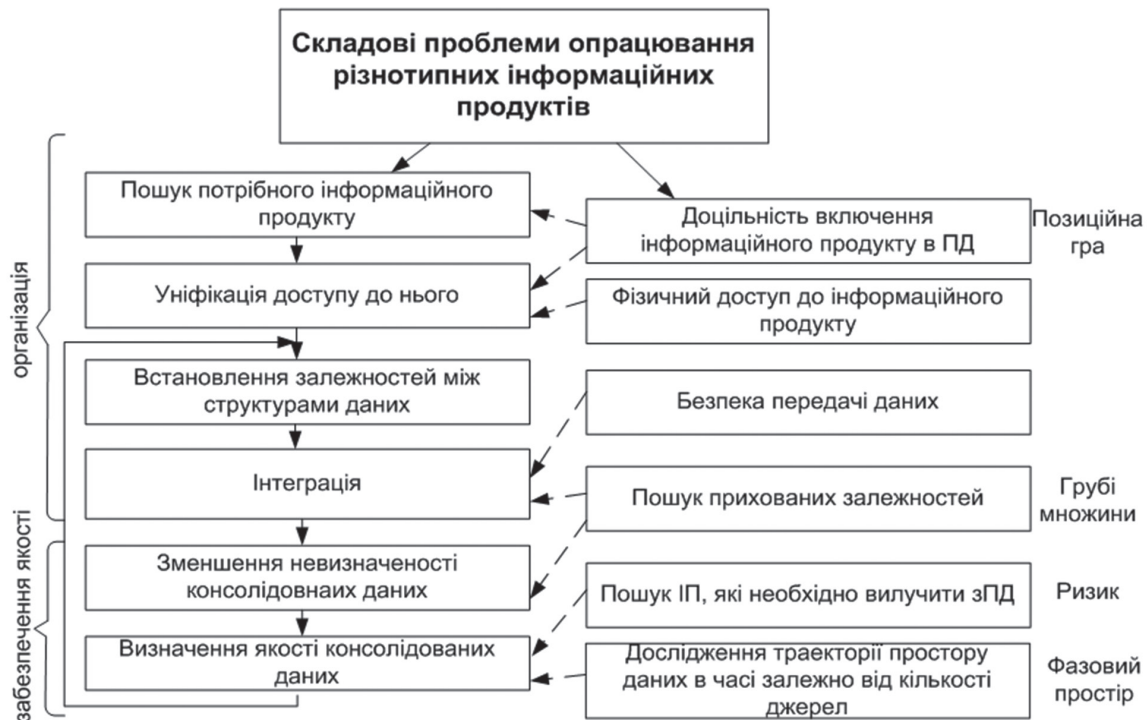


Рис. 1. Складові проблеми опрацювання різнотипних даних

— науково-навчальний процес (аналіз успішності студентів, облік публікацій, участі у конференціях, олімпіадах);

— аналіз наукових джерел (формування показника якості кафедр; визначення перспективності наукового напряму, унікальності робіт науковця, використання даних для міжгалузевих досліджень).

Наведені вище приклади перетинаються з іншим поширеним поняттям — Великі дані [9].

Великі дані (Big Data) в інформаційних технологіях — набір методів та засобів опрацювання структурованих і неструктурованих різнотипних динамічних даних великих обсягів з метою їх аналізу та використання для підтримки прийняття рішень. До цього класу відносять засоби паралельного опрацювання даних (NoSQL, алгоритми MapReduce, Hadoop). Визначальними характеристиками для Великих даних є обсяг, швидкість, різноманіття.

Визначено, що для представлення Великих даних використовують багатовимірну та об'єктну моделі. Багатовимірне представлення даних добре використовувати для задач візуалізації даних та їх аналізу, але у зв'язку з розрідженістю гіперкуба обсяг даних у такому випадку є більший порівняно з реляційним представленням, що є неприпустимим до Великих даних. Об'єктне подання дає змогу зберігати об'єкти предметної області у вигляді атрибутів, їх характеристик та зв'язків між характеристиками. За певної модифікації воно може бути використане для Великих даних. Проте залишається нерозв'язаною задача трансформації різних типів даних (текстових, напівструктурованих) в об'єктну модель.

Багато існуючих методів аналізу даних непридатні до застосування для Великих даних, оскільки

- розмірність даних надзвичайно велика,
- за своєю структурою та через різноманітні джерела походження дані є неочищеними, є багато відхилень,
- необхідно застосовувати паралельну обробку даних.

Тому метою статті є модифікація методу пошуку асоціативних правил для роботи з Великими даними.

Правила асоціації та генерація правил широко використовуються, і вони стикаються з багатьма проблемами, головним з яких є наявність великих даних та багатовимірних наборів даних [4]. Однопроцесорні системи з нормальною швидкістю процесора не можуть впоратися з такими великими даними, що робить алгоритм неефективним для використання. В останній розробках зростання мережових технологій та особливо хмарних платформ дало нові ідеї щодо генерації мультиатрибутичних правил, використовуючи паралельне середовище, таке як Hadoop [5]. MapReduce був популярним і більше використовуваним для обчислення великої кількості даних з тих пір, як компанія Google її запустила на своїй платформі. Розподілена файлова система Google (GFS) та веб-служба Amazon (AWS) використовують платформу Hadoop та MapReduce для надання своїх послуг.

У випадку генерації асоціативних правил в MapReduce, Mapper відповідає за завдання отримати різні комбінації елементів як "ключ", а "значення" використовується для відстеження кількості входів або підрахунку підтримки. Задачею Редуктора є зменшити отриманий від Mapper набір для кожного ключового значення та обчислити остаточну підтримку для всіх наборів даних кандидатів.

Таким чином асоціативні правила можуть бути створені з максимальною підтримкою та впевненістю.

Алгоритм Apriori має великі проблеми з великими обсягами Big Data, оскільки він сканує всю базу даних кілька разів. Це означає, що час виконання збільшується відповідно до кількості транзакцій. У нашому дослідженні ми використовували Spark та ієрархічний метод формування правил для покращення алгоритму Apriori.

Основний матеріал

Визначення асоціативної залежності

Введемо поняття асоціативної залежності. Шукатимемо залежність на відношенні r . Це відношення може бути сформоване як для реляційних джерел даних, так і для нереляційних (NoSQL) шляхом формування пари значень - назви об'єкта та його характеристик. Для різних об'єктів кількість характеристик може бути різною. У такому випадку відношення r формуватиметься як $CROSS(r)$. Далі по тексту вживатимемо тільки позначення r .

Асоціативна залежність (АЗ) – це продукційне правило в селекції відношення r , яке справджується для значущої кількості об'єктів цієї селекції. Поріг значущості повинен визначатись експертним шляхом, або виходячи з розрахунків імовірності помилкового виділення цієї залежності.

$$\begin{aligned} F_I(S;T):(s;t) &= (r_S(R);r_T(R)), \\ i &= \overline{1..n_s}, \forall i: A_i \in R, \\ j &= \overline{1..n_T}, \forall j: A_j \in R, \\ s &= r_S(R) = \sigma_{S(\{A_i\})}(r(R)), \\ t &= r_T(R) = \sigma_{T(\{A_j\})}(s), \end{aligned} \quad (1)$$

де S, T – предикати селекції умовної та результуючої частини відповідно, s, t – результати операцій селекції за цими предикатами з основного відношення. Позначення $s_{\{A_i\}}$ означає, що предикат використовує множину атрибутів $\{A_i\}$.

Основними параметрами традиційних асоціативних правил є рівень довіри та рівень підтримки.

Рівень довіри – відношення кількості об'єктів, для яких має місце така АЗ до кількості об'єктів в селекції:

$$Conf(S \rightarrow T) = P(S \rightarrow T) = \frac{|\sigma_{S \wedge T}(r)|}{|\sigma_S(r)|}. \quad (2)$$

Рівень підтримки – характеристика предиката селекції на відношенні, що обчислюється як відношення кількості об'єктів, які задовольняють предикат P до загальної кількості об'єктів у відношенні:

$$Supp(P) = \frac{|\sigma_P(r)|}{|r|}. \quad (3)$$

У випадку обчислення рівня підтримки для АЗ умовний та результуючий предикат залежності об'єднуються знаком кон'юнкції:

$$Supp(S \rightarrow T) = Supp(S \wedge T) = \frac{|\sigma_{S \wedge T}(r)|}{|r|}. \quad (4)$$

З використанням цього поняття рівень довіри можна обчислити, як

$$Conf(S \rightarrow T) = \frac{Supp(S \rightarrow T)}{Supp(S)}. \quad (5)$$

Рівень покращення обчислюється, як відношення рівнів довіри та підтримки АЗ:

$$Imp(S \rightarrow T) = \frac{Conf(S \rightarrow T)}{Supp(T)} = \frac{Supp(S \wedge T)}{Supp(S) \cdot Supp(T)}.$$

Рівень підтримки та рівень покращення є "симетричними", тобто, $Sup(X \rightarrow Y) = Sup(Y \rightarrow X)$ та $Imp(X \rightarrow Y) = Imp(Y \rightarrow X)$. Те ж справедливо й для повної взаємної інформації. Рівень довіри є "направленим" параметром, тобто, $Conf(X \rightarrow Y) \neq Conf(Y \rightarrow X)$. Цим пояснюється непряма залежність інформативності від рівня довіри.

Розширено поняття R-"цікавості" асоціативного правила, яке використовується для відбору виявлених асоціативних залежностей для скорочення їх кількості. R-"цікавість" визначається, як перевищення рівнем довіри або підтримки очікуваних значень у R разів. Очікувані значення розраховуються для асоціацій, що мають не менше двох ознак у лівій частині правила з припущенням, що вони статистично незалежні. Інформативність дає змогу оцінити "цікавість" якщо, наприклад, рівень підтримки правила в R_1 разів більший очікуваного значення, а рівень довіри – у R_2 разів менший і навпаки.

"Цікавість" асоціації визначається як перевищення інформативності асоціації очікуваного значення. Таким чином інформативність розглядається, як узагальнення поняття R-"цікавості" асоціативного правила.

Метод пошуку асоціативної залежності

Побудуємо метод пошуку АЗ [3].

Вхідні дані

1. Відношення $CROSS(r)$, схема R визначена лише на аналізованій селекції.

2. Хеш-функції для кожного атрибуту відношення R : $h_j(A_j)$.

3. Порогове значення рівня довіри залежностей, що шукаються – p_0 . Замість даного параметра рівноцінно може використовуватись кількість кортежів, на яких повинна бути визначена шукана залежність – \minSupport .

4. Порогове значення рівня довіри залежностей, що враховуються при утворенні нових залежностей = p^* .

Вихідні дані

Множина асоціативних залежностей, що відповідає вказаним критеріям:

$$\{S_i \rightarrow T_i\}, \forall i: Conf(S_i \rightarrow T_i) \geq p_0$$

I етап. Аналіз вхідних даних.

1. Створити дерево хеш-таблиць статистики значень атрибутів відношення. Хеш-таблиця кожного атрибута A_j міститиме відповідність значень цього атрибута структурі (кількість повторів значення; масив описів умовних значень інших атрибутів). Опис умовних значень – хеш-таблиця значень атрибута A_k та кількості їх повторень на множині кортежів $X = R_{A_j=x_i[A_j]}$.

Вершини парних рівнів дерева розгалужуються по імені атрибута, на який здійснюється проєкція; непарних рівнів – значення атрибута батьківської вершини.

Хеш-таблиці непарних рівнів дерева використовують наперед задані хеш-функції $h_j(A_j)$; для парних рівнів використовується внутрішня хеш-функція порівняння атрибутів на рівність.

2. Заповнити структуру, описану в п.1. Заповнюється не все дерево повністю, а лише гілки, що відповідають наперед заданим критеріям якості залежностей. Додаткове уточнення статистики можливе, використовуючи принцип відкладених обчислень:

- a. Для кожного кортежу $x \in r(R)$;
- b. Ініціалізувати поточну вершину дерева статистики v коренем дерева: $v = a$.
- c. Ініціалізувати $startAttr = 0$ – номер атрибуту, з якого починати розгалуження дерева.
- d. Для кожного атрибута $A_j \in R, j \geq startAttr$;
- e. Якщо не існує гілка дерева статистики $v[j][x[A_j]]$,
- f. Створити вершини $v[j]$ та $v[j][x[A_j]]$;
- g. Ініціалізувати атрибути

$$\begin{aligned} v[j][x[A_j]].count &= 0, \\ v[j][x[A_j]].childs &= \emptyset, \\ v[j][x[A_j]].nextAttrId &= startAttr + 1, \end{aligned}$$

Якщо $v.count > splitThreshold$,

- h. Рекурсивно перейти до кроку 2d.

Таким чином, у структурі даних a містяться елементарні залежності виду

$$A_j = x_i[A_j] \rightarrow A_k = x_i[A_k],$$

а також забезпечується можливість обчислення кількості кортежів довільних проєкцій

$$\left| \sigma_{A_1=v_{i_1} \wedge A_2=v_{i_2} \wedge \dots \wedge A_n=v_{i_n}}(r) \right|.$$

3. Оголосити список залежностей $z[l]\{S : set; T : set; NS : N; NT : N\}$. Кожна залежність представляє собою структуру з атрибутами: S – множина значень атрибутів умовної частини залежності, на яких вона визначена; T – множина значень атрибутів результуючої частини залежності, на яких вона визначена; NS – кількість кортежів, для яких залежність справджується; NT – кількість кортежів, для яких виконується умовна частина залежності.

4. Заповнити список Z залежностями $Conf(A_j = x_i[A_j] \rightarrow A_k = x_i[A_k]) \geq p_0$ проходженням по структурі даних a .

II етап. Агрегування залежностей.

1. Скопіювати список Z у окремий список залежностей $Aggr$;

2. Оголосити хеш-таблицю h_{aggr} множин значень результуючих частин КАЗ. Це дасть змогу ефективно шукати АЗ, з якими можна агрегувати кожну конкретну залежність d_{aggr} ;

3. Для кожної залежності $z_1 \in Aggr$;

4. Для кожної залежності:

5. Утворити залежність $z_3 = z_1 + z_2$;

6. Якщо $Conf(z_3) \geq p^*$, додати z_3 в кінець списку $Aggr$ для подальшого агрегування з іншими залежностями.

7. Занести залежність z_1 у хеш-таблицю h_{aggr} з ключем $h(z_1[PrT])$.

III етап. Побудова АЗ.

1. Оголосити список залежностей y ;

2. Ініціалізувати $Y = Aggr$;

3. Оголосити хеш-таблицю результуючих частин предикатів rg для ефективного пошуку множини залежностей, що мають однакоvu результуючу частину предикату;

4. Для кожної залежності $F_l \in Y$ занести АЗ F_l у відповідний список хеш-таблиці: $pr[h(F_l[PrT])]$.

Побудований алгоритм пошуку асоціативних залежностей дає змогу проводити ефективний аналіз однотипних даних на наявність АЗ, сумарна складність якого по часу складає

$$\begin{aligned} t &= O\left(minSupport \cdot \left(\frac{n}{minSupport} \right)^{1+\log_{avgD}(m)} + \right. \\ &+ \left. \frac{Z_a^2}{m \cdot D(A)} + \frac{Z_{aggr}^2 \cdot \log(sz_{aggr})}{m \cdot D(A)} \right) = \\ &= O\left(minSupport \cdot \left(\frac{n}{minSupport} \right)^{1+\log_{avgD}(m)} + \right. \\ &+ \left. \frac{Z_{aggr}^2 \cdot \log(sz_{aggr})}{m \cdot D(A)} \right). \end{aligned}$$

Складність алгоритму по пам'яті рівна

$$\begin{aligned} M &= O(M_{stat} + M_{aggr} + M_{ma}) = \\ &= O\left(\left(\frac{n}{minSupport} \right)^{1+\log_{avgD}(m)} + Z_{aggr} \cdot sz_{aggr} + Z_{ma} \cdot sz_{ma} \right) = \\ &= O\left(\left(\frac{n}{minSupport} \right)^{1+\log_{avgD}(m)} + Z_{ma} \cdot sz_{ma} \right). \end{aligned}$$

Друга компонента суми домінується третьою як у випадку часу аналізу, так і для використаної пам'яті. Порівнювати ж перший і третій член суми неможливо в загальному випадку: їхній розмір

по-різному залежить від обсягу даних та структури даних.

Низька асимптотична складність розробленого алгоритму виявлення АЗ та широкий набір типів даних, що підтримуються для аналізу, дають змогу застосовувати розроблений алгоритм практично у всіх предметних галузях, що працюють із асоціативними залежностями в даних.

Наведемо реалізацію пошуку асоціативних залежностей в R:

```
install.packages("arules")
library(arules)
library(Matrix)
data("Adult")
## find only frequent itemsets which do not contain small or
large income
is <- apriori(Adult, parameter = list(support= 0.1,
target="frequent"),
appearance = list(none = c("income=small",
"income=large"), default="both"))
itemFrequency(items(is))["income=small"]

## find itemsets that only contain small or large income and
young age
is <- apriori(Adult, parameter = list(support= 0.1,
target="frequent"),
appearance = list(items = c("income=small",
"income=large", "age=Young"), default="none"))
inspect(head(is))
## find only rules with small or large income in the right-
hand-side.
rules <- apriori(Adult, parameter = list(support=0.2, confi-
dence = 0.5),
appearance = list(rhs = c("income=small",
"income=large"), default="lhs"))
inspect(head(rules))
install.packages("arulesViz")
library(arulesViz)
plot(rules, method="graph", control=list(type="items"))
plot(rules)
plot(rules,method="paracoord",control=list(reorder=TRUE))
```

Результат аналізу подано на рис. 2.

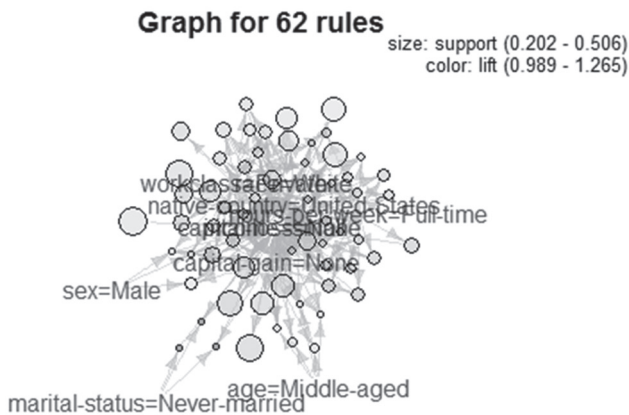


Рис. 2. Візуалізація знайдених асоціативних залежностей

Порівняльний аналіз алгоритмів виявлення асоціативних залежностей у даних за кількісними критеріями

Для порівняння ефективності розробленого методу аналізу даних було обрано три найближчих за

призначенням методи: Apriori, HybridApriori та метод FP-tree.

За кількісні критерії було обрано кількість корисних залежностей, відсоток корисних залежностей у множині знайдених залежностей що виявив метод, а також час аналізу даних.

Корисна залежність – це залежність у даних, яка має коефіцієнт корисності не менше 0.5 при оцінюванні експертами предметної області, тобто

$$\frac{\left(\frac{1}{n_e} \sum_{i=1}^{n_e} m_i\right) - markMin}{markMax - markMin} \geq 0.5,$$

де m_i – оцінка i -го експерта, n_e – кількість експертів, що беруть участь у оцінюванні, $markMin$ – нижня границя шкали оцінювання, $markMax$ – верхня границя шкали оцінювання.

Тобто, корисними залежностями вважаються ті, що експерти вважають корисними для знання предметної області.

Очевидно, для визначення цієї оцінки експертам необхідно проаналізувати усі залежності, знайдені в даних автоматичними засобами аналізу. Необхідність залучення експертів на цьому етапі (інтерпретація результатів) не є проблемою, оскільки завданням автоматизованих засобів аналізу даних якраз і є висунення припущень про важливі закономірності в даних, а не судження про важливість знайдених залежностей. Тобто, інтерпретація результатів аналізу – все ще відповідальність людини.

Відсоток корисних залежностей – відношення кількості залежностей, що експерти вважають корисними до загальної кількості залежностей, що знайшов метод. Даний критерій досить важливий, оскільки визначає коефіцієнт ефективності роботи експертів по інтерпретації даних. Очевидно, що метод аналізу даних, який знаходить тисячі важливих залежностей, але “загублених” поміж мільйонів очевидних фактів, не буде корисним і не може мати практичного застосування.

Швидкість аналізу даних – відносно простий для вимірювання критерій і визначається часом, необхідним обчислювальній системі на виконання запиту аналізу даних.

Тестування усіх методів відбувалось на тих же даних. Набір даних, що використовується для цього прикладу – це набір даних «Adult», розміщений в Machine Learning Repository UCI. Він містить близько 2320000 спостережень з 15 змінними:

- age – вік людини,
- type_employer – тип роботодавця (фізична чи юридична особа, урядовець, військовий тощо,
- fnlwtgt – кількість людей, що підтвердили істинність цього спостереження,
- education – найвищий рівень освіти, досягнутий цією людиною,
- education_num – найвищий рівень освіти в числовій формі,

- marital – сімейний стан,
- occupation – рід занять,
- relationship – сімейні відносини,
- race - раса особи,
- sex - стать,
- capital_gain – зафіксований приріст капіталу,
- capital_loss – зафіксовані капітальні втрати,
- hr_per_week – кількість відпрацьованих годин за тиждень,
- country – країна походження,
- income – булева змінна, так, якщо річний дохід особи більший за \$ 50000.

Результати застосування розробленого методу генерації залежностей та порівняння його з існуючими подані в Таблиці 1.

Як бачимо, кількість знайдених залежностей не зростає експоненціально залежно від розміру вхідних даних, як можна було б припустити. Більше того, ця величина наче обмежена зверху деякою границею. Це можна пояснити тим, що дані, які аналізувались, досить однорідні.

Таблиця 1

Кількість знайдених корисних залежностей різними методами від об'єму проаналізованих даних

Кількість записів	Розроблений метод	Метод FP-tree [2]	Метод Apriori	Метод HybridApriori [1]
200000	2856	2199	720	849
400000	5220	3627	888	1008
600000	6657	4530	1011	1158
800000	7656	5136	1053	1278
1000000	8043	5274	1104	1329
1242961	8184	5382	1125	1377

Тому в кожному наступному блоці даних все більше залежностей повторювались із попередніх блоків, відповідно, ці дані не зумовлювали генерацію нових залежностей, а лише збільшували рівень підтримки існуючих. Ті залежності, що внаслідок таких змін стали відповідати критеріям пошуку, і були додані у результуючу множину.

Ще одним фактором, що міг вплинути на кількість залежностей, було сортування даних по даті народження водія. Таким чином, кожен наступний блок даних усе ж вносив дійсно нові залежності, і їх не могло бути виявлено в попередніх блоках даних. Тому все ж можна припустити, що кількість залежностей необмежена зверху якоюсь чіткою межею, але прямує до прямо пропорційної залежності із досить малим кутовим коефіцієнтом від кількості кортежів даних.

Для даних, що мають практичну цінність, кількість залежностей Z_{aggr} складає не більше декількох тисяч у той час, як кількість кортежів n може обчислюватися мільярдами. Тому у випадку паралельних обчислень на значній кількості комп'ютерів другим членом функції t_n можна знехтувати. З тих же міркувань $\log_2(n) = o(minSupport)$.

Таким чином, асимптотична оцінка часу виконання алгоритму на системі із k комп'ютерів складає

$$t_n = O(minSupport^{-\log_{avgD}(n)})$$

Отримана оцінка часу виконання алгоритму є субполіноміальною, а отже, розроблений алгоритм є ефективним паралельним алгоритмом.

Розроблений алгоритм дає змогу стверджувати, що задача виявлення асоціативних залежностей у розподілених базах даних належить до класу P-задач. Отже, алгоритм пошуку асоціативних залежностей добре вирішувати з допомогою MapReduce.

Крім кількох послідовних реалізацій, паралельні реалії для роботи з великими даними не є широко доступними. Одним із прикладів серійної реалізації добре відомий статистичний обчислення з пакетом R, що називається «arules».

Паралельна реалізація програми FP-Growth доступна в бібліотеці для вивчення комп'ютера з відкритим вихідним кодом (MLlib) Apache Spark та Apache Mahout.

Висновки

Асоціативні правила асоціації широко використовуються у великій кількості додатків. Наш алгоритм може бути використаний в деяких з цих програм, в яких використання традиційних алгоритмів не є життєздатним через величезну кількість даних, які потрібно обробляти. Це може бути дуже корисним, наприклад, у сенсорних мережах, які генерують величезну кількість даних за короткі проміжки часу, або в соціальних мережах, у яких є мільйони користувачів. Нарешті, слід зазначити, що ці процедури можна узагальнити на інші методи видобування даних, які використовують правила асоціації, такі як винятки та аномалії [4], поступові залежності [5, 6] та ін.

Список літератури: 1. Zaki, M. J. (2000). Scalable algorithms for association mining. IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering 12(3): 372–390с. 2. J. Han, H. Pei, and Y. Yin. Mining Frequent Patterns without Candidate Generation. In: Proc. Conf. on the Management of Data (SIGMOD'00, Dallas, TX). ACM Press, New York, NY, USA 2000. 3. Пшеничний О. Ю. Математичне та програмне забезпечення виявлення кон'юнктивних асоціативних залежностей у великих масивах даних : автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук : 01.05.03 – математичне та програмне забезпечення обчислювальних машин і систем / Олександр Юрійович Пшеничний ; Національний університет «Львівська політехніка» . - Львів, 2012. - 24 с. 4. Delgado, M., Ruiz, M.D. & Sanchez, D., New approaches for discovering exception and anomalous rules. International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems, 19(02), pp. 361–399, 2011. 5. Berzal, Fernando, et al., A new framework to assess association rules. In Advances in Intelligent Data Analysis, Springer Berlin: Heidelberg, pp. 95–104, 2001. 6. H Ilermeier, E., Association rules for expressing gradual dependencies. In Principles of Data Mining and Knowledge Discovery, Springer Berlin:

Heidelberg, pp. 200–211, 2002. 7. Шаховська Н.Б. Програмне та алгоритмічне забезпечення сховищ та просторів даних: монографія / Міністерство освіти і науки України, Національний університет «Львівська політехніка». – Львів, 2010. – 194 с. 8. Шаховська Н.Б. Структура та задачі простору даних // Складні системи і процеси. – 2008. – № 1. – С. 73–86. 9. Big Data Dimensions, <http://www.klarity-analytics.com/392-dimensions-of-big-data.html> 10. Agrawal, Rakesh, Imielinski, Tomasz & Swami, Arun, Mining association rules between sets of items in large databases. *ACM SIGMOD Record*, 22, pp. 207–216, 1993.

RESUME

N.B. Shakhovska, R.M. Kaminskiy, Eu.O. Zasoba
The method of associative rules mining from Big data

The paper proposes a method for analyzing Big data in the presence of different data sources and different methods of processing these data. It is determined that multidimensional and object models are used to represent the Great Data. The multidimensional view of the data is well used for data visualization and analysis tasks, but due to the hypercube dissipation, the amount of data in this case is greater than the relational representation that is not acceptable to the Big Data. Object representation allows you to store object in the form of attributes, their characteristics and relationships between characteristics. For some modification, it can be used for Big

Data. However, the problem of the transformation of various types of data (text, semi-structured) into an object model remains unresolved. Associative rules are widely used in a large number of applications. The notion R- “curiosity” of the associative rule is expanded, which is used to select identified associative dependencies to reduce their number. R- “curiosity” is defined as an excess of trust or support of the expected values in R times. Expected values are calculated for associations with at least two attributes on the left side of the rule with the assumption that they are statistically independent. Informativity allows to evaluate “curiosity” if, for example, the level of support rule in R1 is more than expected value, and the level of trust - in R2 times more than the other and vice versa. Our algorithm can be used in some of these programs, in which the use of traditional algorithms is not viable because of the huge amount of data that needs to be processed. This can be very beneficial, for example, in sensor networks that generate a huge amount of data at short intervals or in social horror that has millions of users. Finally, it should be noted that these procedures can be used in general to other methods of data mining using the right-wing associations, such as exceptions and anomalies, gradual dependencies etc. The concept of associative dependence is introduced, the method of finding dependences is developed, efficiency and possibility of its parallelization are determined.

Поступила в редколлегию 14.09.2017

УДК 004.8



К.Ю. Тітов

ХНУРЕ, м. Харків, Україна, kyrylo.titov@nure.ua

ПЕРСОНАЛЬНИЙ НОВИННИЙ ФІЛЬТР, СТВОРЕНИЙ НА ОСНОВІ ТЕХНОЛОГІЙ КОГНІТИВНИХ ОБЧИСЛЕНЬ І СЕМАНТИЧНОЇ ОБРОБКИ ІНФОРМАЦІЇ

У даній статті були досліджені проблеми обробки багатоаспектної новинної інформації із різних джерел, а також методи фільтрації отриманої інформації. Також були розглянуті методи штучного інтелекту, за допомогою яких можливо вирішити дані проблеми. В статті викладений один із варіантів вирішення проблеми фільтрування новинної інформації за допомогою семантичного порталу та інтелектуальних сервісів від компанії IBM Watson. Метою даної статті є дослідження методів семантичного аналізу новинного контенту з різних джерел на основі перетворення інформації в онтологічну форму подання, а також розробка методу отримання та обробки новинної інформації.

SEMANTIC WEB, OWL, RDFS, XML, IBM WATSON, ФІЛЬТРАЦІЯ, НОВИНИ, ОБ'ЄКТИВНІСТЬ, НЕУПЕРЕДЖЕНІСТЬ

Титов К.Ю. Персональный новостной фильтр, созданный на основе технологий когнитивных вычислений и семантической обработки информации. В данной статье были исследованы проблемы обработки многоаспектной новостной информации из разных источников, а также методы фильтрации полученной информации. Также были рассмотрены методы искусственного интеллекта, с помощью которых можно решить данные проблемы. В статье изложен один из вариантов решения проблемы фильтрации новостной информации с помощью семантического портала и интеллектуальных сервисов от компании IBM Watson. Целью данной статьи является исследование методов семантического анализа новостного контента с различных источников на основе преобразования информации в онтологическую форму представления, а также разработка метода получения и обработки новостной информации.

SEMANTIC WEB, OWL, RDFS, XML, IBM WATSON, ФИЛЬТРАЦИЯ, НОВОСТИ, ОБЪЕКТИВНОСТЬ, БЕСПРИСТРАСТНОСТЬ

Titov K.Yu. Personal news filtering based on cognitive computing and semantic technologies. In this article the problems of processing multidimensional news information from different sources and methods of filtering the received information were investigated. Also, the methods of artificial intelligence which help to solve these problems were considered. The article outlines one of the approach to resolve the problem of filtering the news information using the semantic portal and intelligent services from IBM Watson. The purpose of this article is to investigate the methods of semantic analysis of the news content from various sources based on the transforming the information to the ontological form of representation as well as to develop a method for solving the problem of the obtaining and processing the news information.

SEMANTIC WEB, OWL, RDFS, XML, IBM WATSON, FILTERING, NEWS, OBJECTIVITY (UNBIASED)

Вступ

У сучасному світі користувачі можуть отримувати новини із багатьох різноманітних джерел, як класичних - газети, журнали тощо, так і сучасних таких як електронні видання, новинні сайти або портали. Але зараз інформаційні потоки дуже відрізняються від колишніх, а саме об'ємами інформації, що надходить. Тисячі журналістів та репортерів збирають та обробляють інформацію по всьому світу, але усі вони різні. Деякі сумлінно виконують свою журналістську діяльність, деякі заробляють цим гроші, а деякі можуть бути частиною пропагандистської машини тієї чи іншої країни, організації тощо, тим саме впливаючи на соціальні, політичні та економічні аспекти життя. Саме тому сьогодні витрачаються багато коштів за пошуку варіантів вирішення питання надання користувачам доступу до об'єктивної інформації, зменшення впливу пропаганди всередині країни та з боку інших країн.

Зараз читачі не мають можливості отримувати новини за персональними вподобаннями,

рекомендації по ключовим словам не беруться до уваги, але деякі компанії, які займаються дослідженнями та розробкою систем та сервісів на основі штучного інтелекту, можуть надавати сервіси, за допомогою яких ми зможемо отримувати семантичний опис статті або автора. За допомогою цієї інформації користувач зможе отримувати найбільш цікаві для себе новини.

Обробка, аналіз та фільтрація таких величезних масивів новинних даних за допомогою методів штучного інтелекту є актуальною темою для сучасного світу.

1. Методи та технології отримання та обробки новинної інформації

Найперші фільтруючі системи обговорювалися Гансом Луном у корпорації IBM у 1958 році. Було визнано що в майбутньому значно збільшаться об'єми обміну електронною інформацією. В той час вчені запропонували систему бізнес-аналізу для направлення відповідної інформації користувачам та групам у промислових, наукових та

державних організаціях. Проте основна відмінність між інформаційно-пошуковою системою та системою фільтрування полягала в автоматичному поширенні інформації, що є однією із головних їх відмінностей. Система складалася з механічного створення профілів інтересів для кожної окремої людини або групи користувачів, а IR-техніка відіграла важливу роль у виявленні нової інформації, яку слід було розповсюджувати.

Проблема фільтрування була популярною протягом 60-х та 70-х років як вибіркове розповсюдження інформації. Підтримуючи сучасну освіту в наукових та технологічних сферах такі компанії як NASA і GM інвестували в дослідження та розробку систем, які розповсюджують відповідну інформацію своїм працівникам. Основна мета вибіркового розповсюдження інформації полягала в тому, щоб забезпечити регулярне сповіщення працівників, коли надходили нові документи, які вважалися цікавими для користувачів, саме там де тематика інтересів була чітко визначена користувачем.

В той час як системи фільтрування інформації були розроблені для електронних листів, зокрема для фільтрування електронної пошти через спам, з'явилася нова проблема пов'язана з перевантаженням інформації, пов'язана з впровадженням концепції web 2.0, а саме соціальних мереж, форумів тощо. Такі платформи як Twitter, Facebook та Google, генерують величезну кількість різноманітного контенту щодня.

Сучасні методи фільтрації складаються з наступних модулів:

1. Моделювання інтересів користувачів: тут система визначає інтереси користувача;
2. Аналізатор даних: на цьому етапі система аналізує вхідні дані і представляє їх відповідно до вимоги модуля фільтрації;
3. Фільтрація: система порівнює подання вхідних даних і профіль користувача, що представляє інтерес для визначення релевантності отриманої інформації;
4. Навчання та модифікація: навчання та зміна інтересів користувача з плином часу.

Однією із форм представлення новин є новинні сайти, вони розділяються на тематичні категорії та підкатегорії. Інший варіант це новинні пошукові системи, які дозволяють користувачу шукати новини за термінами що представляють інтерес для користувача. У відмінності від новинних сайтів пошукові системи дозволяють персоналізувати пошук – користувач сам може настроїти свій профіль, вибираючи теми інтересів тим саме підказуючи системі в яких тематичних категоріях слід шукати інформацію. Іноді персоналізація виконується за допомогою методів сумісної фільтрації таки як наприклад google-новини. Така інтересативність є важливою додатковою функцією для залучення нових користувачів та поліпшення якості надання новинного контенту.

Сучасні рекомендаційні системи мають низку недоліків, однією із найважливіших є відсутність

адекватної моделі даних. Профіль користувача може бути побудований за його явними та неявними уподобаннями або на основі їх комбінації. Є три основні методи побудови рекомендацій для користувача:

1. На основі контенту – система робить висновки на основі статей, які сподобались користувачу у минулому;
2. Колоборантний метод фокусується не на самому предметі пошуку, а рекомендує елементи, які сподобались користувачам із подібними вподобаннями;
3. На основі знань, використовують знання не тільки о вподобаннях користувача але й знання о предметах пошуку.

Як тільки утворюється профіль система застосовує одну або декілька методик для створення рекомендацій для користувача. Усі ці методи можуть бути поєднані за для отримання найбільш релевантного результату.

В Голландському університеті Роттердама в межах курсу «Advanced Software Architecture» розробили новинний портал який аналізував rss-стрічки, та конвертуючи інформацію у онтологію надавав користувачам новини згідно із їхніми вподобаннями. Система за для рекомендації новин спочатку моделювала поведінку користувача, аналізуючи та запам'ятовуючи історію перегляду новинних сайтів та rss-стрічок. Далі вона представляла отриману інформацію у онтологічному вигляді. Засновуючись на змодельованому профілі система рекомендувала новинний контент, який був би цікавим для користувача. Основною метою розробки даної системи було виявлення найбільш оптимальної технології для розробки рекомендаційних новинних систем. Згідно із проведеними дослідженнями було виявлено, що системи засновані на онтологіях працюють краще ніж їх аналоги які не використовують онтологічний підхід.

У цій статті ми рекомендуємо застосувати онтологію для опису предметної області «новини» та побудови фільтрів користувача на основі цієї онтології. Онтологія дозволяє зменшити простір пошуку, а також полегшити процес отримання новин за вподобаннями користувача. Однією з важливих переваг онтологічного підходу є те, що він не використовує колоборантну фільтрацію, він застосовує знання о предметах и вподобаннях користувача описаних в онтології. Для опису властивостей новинної статті або її автора у створеної онтології ми використовуємо показники інтелектуального сервісу IBM Watson – Personality Insights [1].

2. Опис інтелектуального сервісу personality insights від IBM Watson

IBM – є однією з найбільш розвинутих корпорацій, яка вже понад сто років очолює технологічний прогрес. Одним з найцікавіших та відомих проєктів останніх років став IBM Watson.

Це когнітивна система, яка може навчатися, розуміти та робити висновки. В рамках цього проєкту

була розроблена низка інтелектуальних сервісів серед яких є Personality Insights.

Служба IBM Watson Personality Insights представляє собою зручне API, яке дає представлення о характеристиках особистості з соціальних мереж, корпоративних даних або інших цифрових джерел. Сервіс використовує лінгвістичну аналітику для визначення характеристик особистості. Також він може визначати вподобання користувача, для аналітики маркетингу, впливу реклами тощо. Служба дозволяє проводити аналітику великим компаніям для більш повного та глибоко розуміння своїх клієнтів незважаючи на галузь у якій вона працює. Завдяки цьому корпорації можуть поліпшувати якість обслуговування та надання послуг, адаптувати свої продукти під цільову аудиторію

IBM провело низку досліджень для того щоб зрозуміти чи можуть характеристики особистості, отримані із соціальних мереж передбачити поведінку та вподобання людей. Отримані результати показали що людина яка схильна до збудження з більшою ймовірністю відгукнеться на нові маркетингові кроки, так само як люди із високими показниками таких якостей як скромність, відвертість та дружельюбність із великою ймовірністю будуть поширювати цікаву інформацію серед знайомих. Усі ці дослідження були перевірені та підтвердженні тестовими опитуваннями учасників. Після цього був проведений аналіз понад 600 твітів, який показав, що індивідуальні характеристики, отримані службою Personality Insights, можуть передбачати вподобання користувача із точністю близько 70%.

Personality Insights під силу автоматичний вивід із потенційно-зашумлених соціальних мереж портрети людей, які відображують їх індивідуальні характеристики. У 2016 році журналістка видання NPR Аарти Шахани проаналізувала за допомогою сервіса свої акаунти у соц-мережах та за її словами вона отримала дуже точну характеристику самої себе. Шахани була здивована такої точній оцінці її особистості, тому що її акаунти з twitter та facebook дуже сильно різнилися.

Сервіс Personality Insights розпізнає характеристики особистості з текстової інформації (статті або інші публікації), автором якого є особа яку ми аналізуємо. Спочатку сервіс розмічає текст для створення представлення у n-мірному просторі. Сервіс використовує технологію word-embedding, з відкритим вихідним кодом, для того щоб отримати векторне представлення для усіх слів з тексту. Далі Personality Insights передає це представлення алгоритму машинного навчання, який описує профіль особистості із його характеристиками. Для навчання алгоритму сервіс використовує оцінки, отримані з опитувань, проведених серед тисяч користувачів, а також їх акаунтів twitter.

Важливо, що під час тестів, IBM встановили, що характеристики особи, отримані з текстів, можуть точно передбачити різноманіття характерів людей та їх поведінку. Завдяки цьому ми можемо

отримати характеристику на будь-якого автора новинних статей, сюжетів, досліджень, тощо [2].

3. Створення онтології предметної області

Semantic Web можливо розглядати як розширення звичайного Web, в якому документи можуть не тільки переглядатися людиною, але, і забезпечені метаописами, що забезпечує автоматичну обробку цих документів. Технології Semantic Web орієнтовані на обробку контенту на семантичному рівні. Автором цієї концепції є Т.Бернес-Лі - розробник сучасного Web. Дана концепція просувається Консорціумом W3C, який очолює Т.Бернес-Лі.

Технології Semantic Web, дозволяють формалізувати знання про предметну галузь таким чином, щоб вони могли оброблятися і людиною, і комп'ютерною системою. Для цього використовують онтології. Одним з можливих варіантів вирішення проблеми обробки великих масивів неоднорідної і розподіленої інформації новинного контенту є подання інформації в онтологічній формі і подальша обробка семантики отриманої інформації [3].

Під час досліджень я запропонував вирішувати проблему контролю якості наданого новинного контенту за допомогою веб-системи, яка здатна накопичувати, як сам новинний контент, так і мета-контент, який може вказувати на достовірність новинної інформації.

Рішення базується на використанні онтологічного порталу оцінки якості новинного контенту, який будується за прикладом вже існуючої платформи – порталу, який був розроблений в міжнародному проекті Tempus «Національна система забезпечення якості і взаємної довіри в системі вищої освіти (TRUST)» як технічний засіб підтримки і гармонізації процесів з оцінки і забезпечення якості вищої освіти.

Технологію побудови таких порталів створено для прозорого накопичення та обміну інформацією, що має забезпечити можливість широкого та неупередженого контролю за її якістю. Подібні системи посилюють соціальний вплив на оцінку інформації та унеможливають контроль за нею лише зацікавленою стороною. Для цього подібні системи будуються за принципами соціальних мереж. Користувачі порталів є головними постачальниками контенту та контролерами його достовірності (механізми соціальної верифікації). Однак, окрім соціальної верифікації контенту, в запропонованому порталі існують механізми і інструменти автоматичного аналізу достовірності наданої інформації.

Портал дозволяє створювати і застосовувати різні системи цінностей у вигляді гнучких багатовимірних показників якості, зважених за ступенем їх важливості для ранжування запиту. Таким чином, кожен користувач може оцінити якість деяких ресурсів з різних точок зору, так званих «систем цінностей» користувача, який робить оцінку [4].

Портал працює відповідно до інформації, що зберігається в її онтологічній базі знань. Онтології використовуються для опису самого порталу: його архітектури і функціональності, а також для відкритого і гнучкого зберігання інформації, що надається користувачами. Важливою особливістю архітектури порталу є його гнучкість, яка досягається за рахунок розподілу описів самого порталу та предметної області на дві окремі онтології:

1. Сервісна онтологія містить допоміжні класи і властивості для системної бізнес-логіки, підтримки реєстрації ресурсів, бізнес-аналітики, рейтингу і т.д. Вона спроектована для використання в якості основної незалежної структури, досить гнучкої для взаємодії з онтологіями, які описують будь-який можливий домен в системі менеджменту ресурсів підтримки моніторингу якості;

2. Доменна онтологія включає в себе:

– ядро (визначає поняття і властивості, які використовуються для оцінки якості);

– м шар користувача (який кожна організація може гнучко адаптувати до власних умов або кожен користувач може адаптувати до власних вподобань);

– системи цінностей (яка визначає вагові коефіцієнти для різних показників якості в різних контекстах);

Завдяки гнучкій структурі побудови порталу за рахунок поділу на дві окремі онтології сервісну і доменну портал може бути повністю змінений шляхом простої модифікації доменної онтології. Сервісна онтологія здатна взаємодіяти із онтологіями, які описують будь-яку галузь, відмінну від вищої освіти, в якій також існують численні ресурси, які потребують оцінки (бізнес, виробництво, медицина, медіа).

Основними компонентами новинної онтології є поняття, відносини, екземпляри та аксіоми. Поняття представляють собою набір або клас сутностей у межах новинної області. Кожен клас, визначений в онтології, описує загальні характеристики індивідів. Найбільш фундаментальні поняття відповідають класам, які знаходяться в корені різних таксономічних дерев. Кожен індивід в світі OWL є членом класу owl:Thing. Таким чином, кожен певний клас автоматично є підкласом owl:Thing. Специфічні для даної області кореневі класи визначаються простим оголошенням іменованого класу. Наприклад такі класи як автор, видання, стаття тощо.

Також онтології включають у себе відношення між класами або властивостями. Ієрархія класів визначається шляхом вказування що клас є підкласом іншого класу, таким чином клас «публікації автора» має декілька підкласів.

Кореневим класом створеної онтології є «автор публікації», який має три підкласи – характеристики особистості автора, уподобання користувача та ціннісні характеристики. Ці підкласи є основними логічними розділами сервісу Personality Insights,

які включають в себе більш детальні характеристики, для опису індивідуальності автора статті. Усі характеристики зображені на рис. 1.

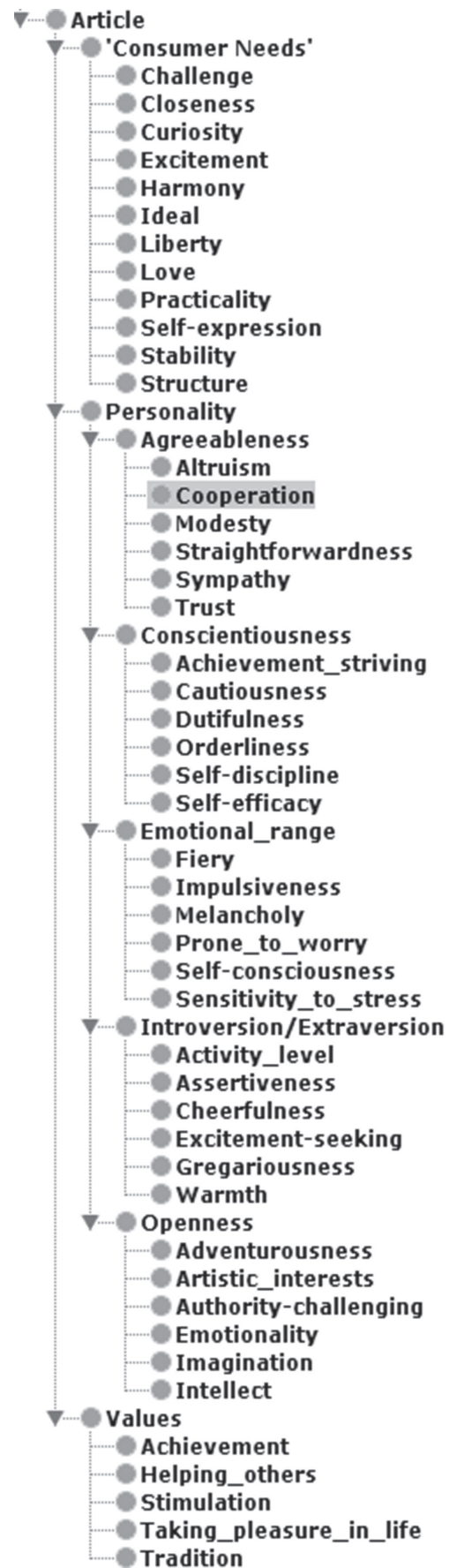


Рис. 1.

4. Аналіз та фільтрація отриманої новинної інформації

Комбінуючи портал та сервісу Personality Insights, який надає зручний API для інтеграції з вашими проектами. Далі завдяки сервісу інтегрованому в портал було проаналізовано близько двадцяти новин які вже були визнані як не відповідаючи дійсності. Отримавши аналіз цих новин вдалося встановити що більшість з них мали достатньо високі показники емоційності, завдяки таким характеристикам як рівень до закликів або імпульсивність виразів у тексті. Достатньо великими були й показники відкритості але тільки та частина яка характеризує авторитарність та творчість висловлювань. Характеристики які описують потреби користувача навпаки були достатньо низьким. Такі показники як пристрасть до свободи, любові, ідеалів або гармонії не набрали навіть и 15%. Стиль написання статей був простим та доступним за для охоплення більшої маси людей. Тобто проаналізовані новинні статті мали низьку схожих характеристик і мало індивідуальних відмінностей. Завдяки цьому можливо зробити висновок що технології створення неправдивих новин схожі та мають певні ознаки такі як агресія, велика кількість закликів, упередженість та висока емоційність статей. Наступним кроком було провести аналіз новин декількох новинних агентств таких як CNN BBC та RT і отримати для кожної з них певну характеристику у вигляді діаграми, одна з них зображена на рис. 2, і згодом почати фільтрування новинного контенту саме цих трьох агентств.

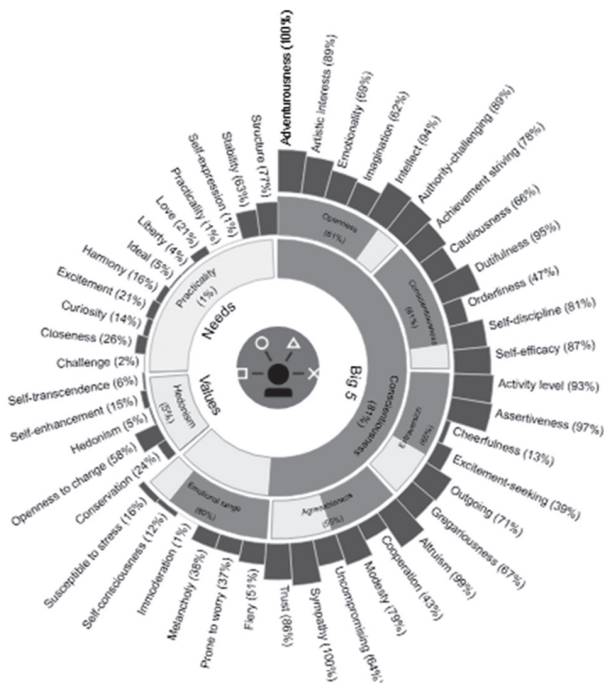


Рис. 2.

Інтегрувавши розроблену онтологію до порталу користувач отримав можливість налаштувати власні системи цінностей за власними

вподобаннями, для цього він повинен вибрати найважливіші для нього характеристики і задаємо поріг проходження. Процес налаштування зображений на рис.3.

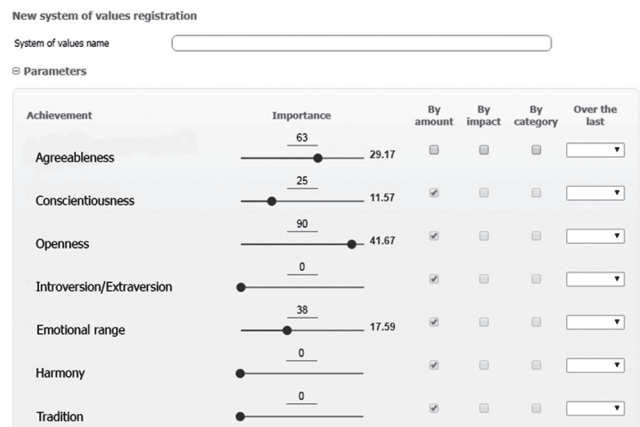


Рис. 3.

У порталі для вищої освіти вплив статті (impact) визначається кількістю цитат і категорією журналу. Отже для аналізу публікацій (рейтингу) в ЗМІ ми надали можливість рейтингувати статті з використанням зовнішніх експертів, таких як сервіс від IBM Watson Personality Insights. Це дає можливість отримувати характеристики або ознаки новинних статей та інших публікацій такі як фальш, агресія, емоційність і т.д., з надійного джерела (IBM Watson). Потім користувач фільтрує отриману інформацію в залежності від особистих уподобань за допомогою налаштування фільтрів особистих переваг. IBM Watson - жорсткий фільтр, а портал надає можливість створити власний гнучкий фільтр завдяки персоналізованому настроюванню вагових коефіцієнтів. У свою чергу читачі можуть використовувати завдяки порталу низку фільтрів наприклад — ми хочемо читати новини від автора який має вищу освіту, максимально відкритим згідно персональних характеристик автора та який відповідає моїм ідеалам таким як — свобода та відкритість.

Висновки

У статті було розглянуто можливість заміни онтології, яка описує академічну галузь на онтологію новин на основі інтелектуального сервісу від IBM Watson. Інтегрували сервіс до порталу та провели аналіз близько шести десятків новинних статей. Розроблений сервіс надає зручний інструментарій для обробки та аналізу новинного контенту.

Застосовуючи для реалізації семантичного фільтру новинної інформації інтелектуальні технології ми маємо великі можливості по вдосконаленню сервісу. Наприклад ми можемо розширити онтологію, доповнюючи її новими поняттями. Це допоможе нам оцінювати не тільки статті або авторів, а й компанії, в яких ці журналісти працюють, їх джерела фінансування, заангажованість або кількість неправдивих або необ'єктивних новин

опублікованих цими компаніями. Також можливо підключити додаткові інтелектуальні сервіси IBM Watson такі як Tone Analyzer, завдяки цьому сервісу можливо оцінити в якому емоційному тоні написаний текст статті. Або Discovery News за для автоматизації пошуку та завантаження новин згідно із пошуковими запитами користувача. Для того щоб сервіс мав змогу шукати та аналізувати новини на різних мовах можливо інтегрувати до порталу сервіс Language Translator, який в свою чергу може бути комбінований з іншими сервісами від IBM. Підключення сервісу Visual Recognition надасть можливість аналізувати не тільки текстовий контент але й фотографії зроблені на місці подій. Використовуючи можливості порталу ми зможемо робити висновки об об'єктивності інформації за допомогою експертів. Вибір експертів може спиратися на особисті вподобання користувача – за його особистою системою цінностей. Такий сервіс може стати у нагоді в новій галузі – журналістика даних, але така журналістика включає обробку великого об'єму інформації, що не під силу звичайному журналісту.

В майбутньому, також, планується підключити новинне API або rss-стрічку для автоматизації процесу отримання та обробки новинної інформації.

Список літератури: 1. Personality Insights, documentation [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://console.bluemix.net/docs/services/personality-insights/getting-started.html#getting-started-tutorial> 2. The science behind the service [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://console.bluemix.net/docs/services/personality-insights/science.html#science> 3. H. Wache, T. Vugele, U. Visser,

H. Stuckenschmidt, G. Schuster, H. Neumann, and S. Hübner, «Ontology-based Integration of Information - A Survey of Existing Approaches,» In: Proceedings of IJCAI-01 Workshop: Ontologies and Information Sharing, Seattle, WA, 2001, Vol. pp. 108-117. 4. Terziyan V., Golovianko M., Shevchenko O., Semantic Portal as a Tool for Structural Reform of the Ukrainian Educational System, In: Information Technology for Development, Vol. 21, No. 3, 2015, Taylor & Francis, pp. 381-402.

Resume

Titov K.Y.

PERSONAL NEWS FILTERING BASED ON COGNITIVE COMPUTING AND SEMANTIC TECHNOLOGIES

Background: Now the information flows are extremely different from the previous ones, especially regarding the volume of incoming information. Therefore, processing, analyzing and filtering huge data sets with using the artificial intelligence methods is an actual topic for the modern world.

Materials and methods: This article explores the problems of processing the multidimensional news information from different sources, as well as the methods of filtering the information received.

Results: The artificial intelligence methods were analysed from a perspective to apply those for solving the problems of processing large data arrays of heterogeneous and distributed information of the news content. It was ascertained that for the processing of large arrays of news content it is necessary to represent the information in ontological form for more convenient and precise further processing of the semantics of the received information.

Conclusion: The article outlines one of the solutions of the problem of filtering news information using the semantic portal and intelligent services from IBM Watson.

Надійшла до редколегії 20.09.2017

УДК 51-77 : 331.108.242

Н.О. Манакова¹, А.А. Євдокімов², В.П. Манаков³, І.І. Циганенко⁴¹ ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, м. Харків, Україна, natalymanakova@gmail.com² ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, м. Харків, Україна, evdokimo-andre@yandex.ru³ ХНУРЕ, м. Харків, Україна, volodymyr.manakov@knure.ua⁴ ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, м. Харків, Україна, macnat@rambler.ru

ДИЗАЙН ФРЕЙМВОРКУ АНАЛІЗУ ДАНИХ ЩОДО ПЛИННОСТІ КАДРІВ МЕТОДАМИ DATA MINING

В роботі проведено огляд методів Data Mining, для рішення кадрових питань, зокрема прогнозування «наміру звільнитися». Розуміння того які з факторів вплинули на рішення працівника звільнитися, або навпаки залишитися, незважаючи на те, що він мав намір звільнитися, дуже важливо для вибудовування кадрової політики підприємства. В цій роботі ми зосереджені на прогнозуванні «наміру звільнитися», що є скоріше когнітивним чим кількісним поняттям, тим самим ускладнюючи математичний вимір. Розроблений дизайн фреймворка дослідження готовності до звільнення за власним бажанням економічно активних верств населення. Цей фреймворк призначений для вивчення взаємозв'язку між соціальним обміном і особистістю в прогнозуванні наміру звільнитися.

НАМІР ЗВІЛЬНИТИСЯ, ОБОРОТ КАДРІВ, ПЛИННІСТЬ КАДРІВ, РУХ ПЕРСОНАЛУ, DATA MINING

Манакова Н.О., Євдокімов А.А., Манаков В.П., Цыганенко И.И. Дизайн фреймворка анализа данных о текучести кадров методами Data Mining. В работе проведен обзор методов Data Mining для решения кадровых вопросов, в частности прогнозирования «намерения уволиться». Понимание того какие из факторов повлияли на решение работника уволиться, или наоборот остаться, несмотря на то, что он хотел уволиться, очень важно для построения кадровой политики предприятия. В этой работе мы сосредоточены на прогнозировании «намерения уволиться», что является скорее когнитивным чем количественным понятием, тем самым усложняя математические измерения. Разработан дизайн фреймворка исследования готовности к увольнению по собственному желанию экономически активных слоев населения. Этот фреймворк предназначен для изучения взаимосвязи между социальным обменом и личностью в прогнозировании намерения уволиться.

НАМЕРЕНИЕ УВОЛИТЬСЯ, ОБОРОТ КАДРОВ, ТЕКУЧЕСТЬ КАДРОВ, ДВИЖЕНИЕ ПЕРСОНАЛА, DATA MINING

Manakova N.O., Evdokimov A.A., Manakov V.P., Tsyganenko I.I. The framework for analyzing data on the turnover of personnel using Data Mining. In the work, the review of Data Mining methods for personnel issues, in particular, the forecasting of the “intention to quit”, was conducted. The design of the framework for the study of turnover readiness of economically active parts of the population has been developed. This framework is consigned to study the relationship between social issued and personality features under staff turnover prediction.

TASK IS OPENED, BUSINESS TRAFFICKING, LOAD CARRIERS, PERSONAL PERSONNEL, DATA MINING

Вступ

Висока цінність деяких співробітників для успішного функціонування підприємства призводить до необхідності зниження ризику звільнень за власним бажанням, що може призводити до високої плинності персоналу. Негативні переміщення коштують організації значних фінансових витрат. Це втрачені можливості, втрата клієнтів, цінних працівників (не рівноцінні заміни), витрати на заміну, підбір, адаптацію персоналу, навчання нових працівників, втрати фонду оплати праці пов'язані з рухом персоналу, втрати пов'язані зі зменшенням продуктивності та віддачі від персоналу, відповідно зниження продуктивності і роботи команд [1]. Соціальні наслідки зниження рівня привабливості організації як роботодавця та довіри до неї, як зі сторони потенційних кандидатів, так і споживачів/клієнтів та морального рівня працівників, команд та всього колективу.

Кадрові рішення, пов'язані з рухом персоналу (найчастіше спрямовані запобіганню плинності) приймаються в більшості випадків суб'єктивно, без аналізу статистичних даних, їх динаміки, тенденцій та закономірностей руху персоналу. Однією з причин такого стану є відсутність теоретичних та практичних напрацювань які описують систему та процеси руху персоналу. А також інструментів його аналізу, зокрема повної системи показників оцінки руху персоналу. Мобільність персоналу, його плинність, тимчасове та постійне вивільнення персоналу представляє собою доволі різнобічне поняття, що розглядається як багатофакторний процес. Враховуючи дані тенденції розвитку науки управління персоналом та підходи до розуміння її системи, функцій, технологій, механізмів реалізації та інструментарію.

1. Актуальність та постановка задач

Одним з найбільш поширених методів аналізу плинності кадрів, є застосування цілого ряду різноманітних коефіцієнтів або показників. В контексті дослідження управління рухом персоналу організації, зростає актуальність питання аналізу існуючих показників руху персоналу організації, їх переосмислення та доповнення.

Аналітичне опрацювання згаданих нижче показників дає можливість бачити їх динаміку, відносно конкретної організації (ефект від процесів руху персоналу та управлінських рішень пов'язаних з ними), мати можливість періодично порівнювати їх з загальними та локальними даними по ринку, відслідковувати тенденції в сегменті в якому працює організація та загальноринкові. Це створює можливість розуміння місцезнаходження організації по відношенню до інших як в своєму сегменті, та і в загальноринковому. Окрім того, це дає можливість знаходити свою траєкторію руху та розвитку, та є інструментом планування роботи з персоналом.

Але, аналіз плинності кадрів за допомогою показників дає знеособлене уявлення, і не враховує не тільки особисті характеристики працівника, а й причини, через які він прийняв рішення піти з роботи. В цій роботі ми будемо зосереджені на прогнозуванні «наміру звільнитись», що є скоріше когнітивним чим кількісним поняттям, тим самим ускладнюючи математичний вимір. Однак багатьма дослідниками були розроблені різноманітні конструкції для вимірювання цього наміру з багатообіцяючими результатами.

Наприклад, 2000 року Роджер Гріффет і Пітер Хом [2] провели метааналітичні дослідження (дослідження проведених в цій галузі досліджень), в ході якого з'ясувалося «намір звільнитися» реалізується фактичним звільненням приблизно на 12 % у всіх дослідженнях. .

Проте розуміння того які з факторів вплинули на рішення працівника звільнитися, або навпаки залишитися, незважаючи на те, що він мав намір звільнитися, дуже важливо для вибудовування кадрової політики підприємства.

Для вивчення згаданих чинників розроблений дизайн фреймворка дослідження готовності до звільнення за власним бажанням економічно активних верств населення. Цей фреймворк призначений для вивчення взаємозв'язку між соціальним обміном і особистістю в прогнозуванні наміру звільнитися персоналу. Необхідність проведення якісного дослідження полягає в тому, щоб виявити найбільш важливі фактори, які будуть використані для прогнозування наміру звільнитися, після чого кількісні методи будуть використані для вивчення ступеня впливу найбільш важливих факторів і розробки моделі прогнозування.

У наступному розділі розглядаються різні аспекти дизайну описаного фреймворка.

2. Дизайн опитування

Цільова група дослідження: економічно активне населення України віком 15–70 років. Надійність оцінювання показників за результатами обстеження, планується забезпечити дизайном репрезентативної вибірки побудованої на основі імовірнісного багатоступеневого стратифікованого кластерного відбору населених пунктів і домогосподарств, а також випадкового відбору респондентів у межах відібраних домогосподарств.

Економічно активне населення включає частину населення обох статей віком від 15 до 70 років включно, яке протягом певного періоду забезпечує пропозицію робочої сили на ринку праці.

За даними вибірових обстежень населення (домогосподарств) з питань економічної діяльності, все населення країни у віці 15-70 років розподіляється як три взаємовиключні та вичерпні категорії: зайняті, безробітні та економічно неактивні (які не беруть участі в ринку праці).

Економічно активне населення (робоча сила) включає тільки тих осіб, які займалися економічною діяльністю або шукали роботу і були готові почати працювати, т. Е. Класифіковані як зайняті або безробітні.

Рівень економічної активності є відносною мірою щодо частки робочої сили. Він визначається як відношення (у відсотках) до чисельності економічно активного населення у віці 15–70 років до загальної чисельності населення зазначеного віку чи населення відповідної соціальної та демографічної групи.

Зайнятість означає не тільки роботу за заробітну плату (найману працю), але також заради отримання прибутку або сімейного доходу на власному підприємстві, включаючи виробництво у власному підсобному сільському господарстві для продажу виробленої продукції на ринку. А також, якщо вони тимчасово були відсутні на роботі, тобто формально були прикріплені до місця роботи, мали своє власне підприємство (бізнес), але з певних причин не працювали протягом звітного періоду.

Зайняте населення не включає осіб, які виконували неоплачувану громадянську добровільну роботу, та осіб, які виконували тільки домашні обов'язки. Громадянська добровільна діяльність не є економічним видом діяльності і має три відмінні риси: А) вона повинна бути оплачена; Б) здійснюється з власної волі, за відсутності тиску, наприклад, при активній військовій службі; В) виконується для організації, спільноти або особи, що не має зв'язку з родичами, за межами власного домашнього господарства.

Всі показники, які будуть оцінюватися при проведенні опитування, розбиті на основні блоки, які в свою чергу розбиті на взаємопов'язані групи:

- Персональні характеристики (демографічні показники, професійні характеристики, фінансовий стан домогосподарств, досвід роботи, досвід

безробіття, задоволеність поточним робочим місцем).

- Характеристика підприємства (базові показники та соціальна політика підприємства),
- А також вихідна змінна, яка характеризує намагання працівника звільнитися.

Нижче представлені показники і категорії відповідей на них по кожній групі.

Блок персональних характеристик.

Перша група показників представляє собою демографічні показники, що включають тільки загальні характеристики, такі як вік, стать, родинний статус, тип поселення та наявність дітей.

- Вік (15-70 років)
- Стать
 - жінки;
 - чоловіки.
- Тип поселення
 - обласний центр;
 - інше місто;
 - село.
- Родинний стан
 - в шлюбі;
 - в шлюбі не був;
 - розлучений;
 - вдова/вдівець.
- Кількість дітей
 - досадковий вік (0–2 роки) ;
 - садовий вік (3–6 років) ;
 - вік початкової школи (7–10 років) ;
 - вік середньої школи (11–15) ;
 - випускники/абітурієнти (16–18).

Професійні характеристики включають найбільш критичні для отримання робочого місця, довгої та успішної праці на ньому з релевантними обов'язками та зарплатнею.

- Освіта
 - вища;
 - професійно-технічна;
 - повна середня;
 - початкова та базова середня;
- Професії
 - законодавці, вищі державні службовці, керівники, менеджери (управителі);
 - професіонали;
 - фахівці;
 - технічні службовці;
 - працівники сфери торгівлі та послуг;
 - кваліфіковані робітники сільського та лісового господарств, риборозведення та рибальства;
 - кваліфіковані робітники з інструментом;
 - робітники з обслуговування, експлуатації та контролю за роботою технологічного устаткування, складання устаткування та машин;
 - найпростіші професії.
- Досвід
 - відсутній (0);
 - початковий (1-3 років) ;

- впевнений (4–6) ;
- великий (7 і більше років).

Фінансовий стан домогосподарства критично важлива група показників для оцінювання мотивації співробітників залишатися на робочому місці та більш активно шукати нове місце роботи. Включимо до цієї групи самооцінку фінансового стану, ресурси забезпечення та способи покриття поточних витрат.

- Самооцінка фінансового стану домогосподарства
 - доволі заможне;
 - приблизно на середньому рівні по країні;
 - не бідне, але нижче від середнього рівня у країні;
 - бідне;
 - відмова від відповіді.
- Основні ресурси матеріального забезпечення
 - заробітна плата;
 - підприємницький дохід;
 - випадкові доходи;
 - стипендія;
 - допомога батьків, інших родичів;
 - заробітна плата чоловіка/дружини, співмешканця;
 - доходи від власності, банківських рахунків, цінних паперів;
 - соціальні виплати держави;
 - інше.
- Способами покриття поточних витрат (кілька варіантів відповідей)
 - витрачали заощадження;
 - продавали майно вашого домогосподарства;
 - брали кредит/и в офіційній фінансовій установі;
 - позичали кошти у друзів, знайомих чи неофіційних кредиторів;
 - отримували соціальні субсидії, соціальну грошову допомогу;
 - економили на витратах (наприклад, витрати на харчування, житло, охорону здоров'я, освіту) ;
 - працювали додатково, щоб більше заробити (підробляли) ;
 - інше.

Наступна група, що також має сильний вплив на психологічні причини залишатись на робочому місці це попередній досвід безробіття. До цієї групи включено причини відмови від активного пошуку роботи, тривалість пошуків роботи, види отриманої допомоги в центрі зайнятості.

- Причинами відмови від активного пошуку роботи
 - не знаю, як або де шукати роботу;
 - не можу знайти роботу відповідно до своїх навичок;
 - раніше шукав роботу, але не знайшов жодної;
 - надто молодий для того, щоб знайти роботу;
 - у даній місцевості / районі роботи немає.

- Тривалість пошуку роботи
 - менше ніж тиждень;
 - від 1 тижня до 1 місяця;
 - від 1 місяця до 3 місяців;
 - від 3 місяців до 6 місяців;
 - від 6 місяців до 9 місяців;
 - від 9 місяців до 1 року;
 - від 1 року до 2 років;
 - 2 роки та більше;
 - питання не ставилося.
- Види отриманої допомоги від центрів зайнятості
 - поради щодо того, як шукати роботу;
 - інформація про вакансії;
 - орієнтація стосовно можливостей щодо освіти та професійної підготовки;
 - включення до програм освіти або професійної підготовки;
 - включення до програми громадських робіт;
 - жоден.

Задоволеність робочим місцем є можливо найбільш важливим фактором, але доволі важким для вимірювання. В нашому дослідженні для вимірювання цих показників буде використовуватись шкала Лікерта (Likert), яка вимагає спеціальної обробки даних. Ця процедура буде розглянута нижче в розділі дизайну методів обробки даних.

- Відпрацьовані години за тиждень
 - не працював останній тиждень;
 - менше 10;
 - 10–19;
 - 20–29;
 - 30–39;
 - 40–49;
 - 50–59;
 - більше 60;
 - відсутня відповідь.
- Відпрацьовані місяці на цьому робочому місці (вказати кількість місяців)
- Рівень задоволення від роботи
 - дуже задоволені;
 - скоріше задоволені;
 - скоріше незадоволені;
 - дуже незадоволені.
- Відповідно та невідповідно кваліфікованих
 - надмірна кваліфікація;
 - недостатня кваліфікація;
 - відповідна кваліфікація.
- Рівень задоволення від зарплатні
 - дуже задоволені;
 - скоріше задоволені;
 - скоріше незадоволені;
 - дуже незадоволені.
- Рівень зарплатні відносно галузі та професії
 - вища;
 - достатня;
 - середня;
 - недостатня;
 - занизька.

Блок характеристик підприємства.

Наступний блок характеристик, це характеристики підприємств. Цей блок включає по-перше базові описові характеристики підприємства. Необхідно підкреслити важливість включення сектора (галузі) до дослідження, тому що плинність кадрів відрізняється для різних галузей. Так, наприклад, за даними статистичного управління України до трійки лідерів за рівнем плинності кадрів серед сфер економіки України в першому півріччі 2010 року увійшли рибне господарство та рибна ловля (25,1%), торгівля, ремонт автомобілів, побутових виробів та предметів індивідуального користування (22,7%), діяльність готелів і ресторанів (20,5%). Найменша «плинність» зафіксована в сфері охорони здоров'я і надання соціальної допомоги (5,4%), в освіті (5,9%) та державному управлінні (6,4%).

- Сектори (галузі)
 - сільське господарство, лісництво та рибальство;
 - промисловість;
 - будівництво;
 - оптова та роздрібна торгівля; ремонт автомобілів та мотоциклів;
 - транспорт, складське господарство, поштова та кур'єрська діяльність;
 - послуги комерційного сектору;
 - державні та соціальні послуги;
 - готелі та ресторани;
 - інформація та телекомунікації;
 - фінансова та страхова діяльність;
 - операції з нерухомим майном;
 - професійна, наукова та технічна діяльність;
 - діяльність у сфері адміністративного та допоміжного обслуговування;
 - державне управління й оборона; обов'язкове соціальне страхування;
 - освіта;
 - охорона здоров'я та надання соціальної допомоги;
 - мистецтво, спорт, розваги та відпочинок;
 - надання інших видів послуг;
 - діяльність домашніх господарств;
 - відсутня відповідь.
- Тип підприємства
 - бюджетна організація/установа;
 - державне підприємство;
 - недержавна/неприбуткова громадська організація;
 - приватне підприємство/фермерське господарство;
 - приватне домогосподарство;
 - посольство, міжнародна організація;
 - інше.
- Розмір підприємства
 - дуже маленьке (до 10 співробітників);
 - маленьке (до 100 співробітників);
 - середнє (до 500 співробітників);
 - велике (до 1000 співробітників);
 - дуже велике (більше 1000 співробітників).

Іншим компонентом блоку характеристик підприємств розглянемо соціальну політику підприємства

- Тип контракту
 - письмовий трудовий договір та/або запис у трудовій книжці;
 - письмовий цивільно-правовий / господарський договір про виконання робіт чи надання послуг;
 - усна домовленість (без офіційного оформлення).
- Тривалість контракту
 - необмежений термін
 - обмежений термін
- Причини строкового контракту
 - на період навчання на робочому місці, стажування;
 - випробувальний строк;
 - сезонна робота;
 - випадкова/поденна робота;
 - робота із заміщенням відсутнього працівника;
 - державна програма зайнятості;
 - особлива/конкретна послуга або завдання;
 - інша причина;
- Вид соціальних гарантій
 - транспорт або компенсація транспортних витрат;
 - харчування або компенсація витрат на харчування;
 - щорічна оплачувана відпустка;
 - оплачуваний лікарняний;
 - додаткове недержавне пенсійне страхування;
 - вихідна допомога / допомога при звільненні;
 - оплата понаднормової роботи;
 - медичне страхування;
 - премія / винагороди за високі результати;
 - підприємство здійснювало внески на обов'язкове державне соціальне страхування – єдиний соціальний внесок;
 - освітні або навчальні курси (освітні відпустки);
 - безпека праці / захисні засоби або захисний спецодяг;
 - заклади або послуги догляду за дітьми;
 - відпустка у зв'язку з вагітністю та пологами / батьківством.

Блок вихідної змінної

Вихідна змінна «Намір змінити роботу та його причини» винесена в окремий блок, тому що вона представляє собою предиктор що вивчається. Намір не обов'язково буде реалізований, як вже зазначалося вірогідність цього складає 12%, але наше завдання попередження звільнення, а не констатація факту звільнення. Нижче в таблиці наведені категорії відповіді.

- Намір змінити роботу та причини
 - не маю наміру змінити роботу;

- нинішня робота є тимчасовою;
- страх втратити нинішню роботу;
- щоб працювати більше часу з оплатою за нинішньою ставкою;
- щоб мати більшу оплату за годину;
- щоб працювати менше часу зі зменшенням оплати;
- щоб краще використовувати свою кваліфікацію / навички;
- щоб мати зручніший графік та витратити менше часу на поїздку;
- щоб покращити умови праці;
- перехід від задовільної тимчасової зайнятості;
- перехід від учнівства/стажування на робочому місці;
- перехід від задовільної самозайнятості;
- перехід від неоплачуваної роботи в сімейному бізнесі.

3. Дизайн методів обробки

Первинна обробка та описові статистики

На початковому етапі дослідження при зборі даних будуть застосовуватися методи описової статистики і візуалізації для виявлення первинних залежностей з урахуванням типу шкали вихідних даних. Найбільший інтерес представляє обробка даних задоволеності за шкалою Лікерта (часто помилково згадується як шкала Лайкерта), яка названа так на честь її розробника (Likert, 1932).

Strongly Disagree	Disagree	Undecided	Agree	Strongly Agree
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)

Рис. 1. Шкала Лікерта

Первісна шкала Лікерта використовувала серію питань з п'ятьма варіантами відповіді: рішуче схвалити (1), схвалити (2), не визначиться (3), відхилити (4) і зовсім не схвалювати (5). Лікерт об'єднав відповіді із серії питань, щоб створити комбінований індекс із серії з чотирьох або більше питань Лікерт-типу (Likert - type items). Він не аналізував окремі питання, хоча такий підхід теж можливий і іноді використовується. При розробці дизайну опитування досліднику необхідно прийняти рішення скільки категорій відповідей вибрати. У той час як Лікерт використовував п'ятибальну шкалу, довжину шкали часто збільшують, щоб створити семибальною шкалою, додавши «дуже» до відповідних верхнім і нижнім кордонів п'ятибальною шкалами. Інший поширений випадок - це усичення категорій до парного числа категорій (зазвичай чотири), щоб виключити «нейтральний» варіант.

Щоб правильно аналізувати дані такого типу, потрібно розуміти шкалу вимірювань. Якщо варіантів відповіді, присвоїти номери, то буде отримано відношення «більше ніж». Однак, наскільки

більше це не мається на увазі. Внаслідок цього питання Лікерт-типу (Likert-type items) відносяться до порядкової шкалою (ordinal scales).

Як правило, середнє і стандартне відхилення є неприйнятними для порядкових шкал, так само як і будь-які параметричні аналізи, засновані на нормальному розподілі. Для аналізу цих даних підходять непараметричні процедури, засновані на ранзі, медіанної або діапазонної шкалою, а також вільні методи розподілу, такі як таблиці, частоти, таблиці спряженості і статистика χ^2 -квадрат. В якості методу дисперсійного аналізу, прийнятним для порядкової шкали вважається метод Крускал-Уолліса.

З іншого боку, дані шкали Ликерта (тобто комбіновані індекси за серією питань) аналізуються на шкалі інтервальних вимірювань (interval scales). Але для перевірки гомогенічності і узгодженості необхідно піддавати такі комбінації тесту Капі або обчисленню альфи Кронбаха. У разі, якщо дані пройшли зазначені тести, і розглядаються як інтервальні, можуть бути застосовані описові статистики на основі середніх і стандартного відхилення, а також параметричні тести такі як критерій Пірсона, ANOVA, t-test і деякі регресивні методи.

Просунуті методи аналізу

Будемо називати ці методи просунутими, оскільки вони вимагають спільного використання статистичних базових підходів і більш складних (але більш результативних) методів з розділу Data Mining.

Когортний аналіз

Когортний аналіз - це метод, який найчастіше використовується в маркетинговій аналітиці для відстеження відтоку клієнтів. Вони хочуть знати, коли клієнти перестануть користуватися їх сервісом. Аналогічно фахівець з кадрів хоче мати можливість знати момент часу, коли співробітники збираються звільнитися. Сегментуємо співробітників в когорті, ґрунтуючись на тому, коли вони надійшли на підприємство комбінуючи з додатковими показниками, що надає можливість відстежувати коефіцієнт утримання за періодами для конкретної когорті. Провівши спільний аналіз когорт можна побачити життєвий цикл робочого періоду співробітника.

Тобто, ви можете побачити, скільки з них зберігається з місяця в місяць. Подібно коефіцієнту утримання, перевага цього заходу полягає в тому, що вона відсікає частину шуму від змішаної вибірки з різних штатних співробітників. Усреднюючи набір даних вниз по стовпчику, ми можемо почати робити деякі (грубі) припущення про швидкість, з якою будь-які когорті співробітників зберігаються після того, як вони увійшли в компанію. Характеристика «грубі» вказує на те, що цей аналіз є скоріш приблизно понятійним, ніж засновані на статистичному аналізі.

Головна ідея когортного аналізу полягає в тому, що життєвий цикл співробітника впливає

на ймовірність його звільнення. Дослідження підтвердили, що нові співробітники (не обов'язково молоді) звільняються з більшою ймовірністю, ніж працівники з більш довгим часом найму (Nom et al 2008). Часто ця ж передумова ігнорується при використанні агрегованих базових показників, такі як коефіцієнт плинності або коефіцієнт утримання, а також виробити прогностичну міру для всього підприємства.

Когортний аналіз дозволяє нам почати аналізувати ймовірність звільнення, виходячи з того, де кожен співробітник знаходиться в життєвому циклі. Головним недоліком методу є те, що якщо ваша вибірка зроблена для занадто короткого часового періоду, може виявитися важким створити набір достатньої історичної глибини, щоб ця робота була ефективною.

Важливою перевагою методу є те, що хоча ви не можете отримати прогнози звільнення на індивідуальному рівні за допомогою цього аналізу, але придатний для планування робочої сили на агрегованому рівні. Хорошим прикладом когортного аналізу може стати більш точна оцінка того, скільки нових співробітників залишать роботу до кінця облікового періоду.

Логістична регресія

Логістична регресія - це метод, який часто зустрічається при створенні прогнозів обороту в різних сферах. Цей метод є одним із способів, за допомогою якого ми можемо почати розуміти такі питання, як «чому люди йдуть», «що ми можемо зробити, щоб вплинути на плинність кадрів» або «хто, швидше за все, піде в наступному році?».

Мета будь-якого типу регресії - передбачити результат з використанням одного або декількох інших факторів. В кадровому аналізі плинності ми повинні прогнозувати оборот кадрів як залежну змінну, використовуючи наші дані про робочі місця, які є незалежними змінними.

Особливістю логістичної регресії в тому, що вона є формою регресії, яка використовується, коли результат, який передбачається дорівнює 1 або 0. Для прогнозування плинності кадрового складу це дуже підходить, оскільки співробітник або звільняється, або ні.

Основним недоліком застосування логістичної регресії в сфері оцінки ризику втрати персоналу полягає в тому, що рівень точності прогнозу для людської поведінки не настільки високий як для технічних систем, де інтервал відмови машин набагато точніший і передбачуваний.

Ще одним недоліком логістичної регресії є досить нетривіальна інтерпретація, яка потребує кількох кроків. Спочатку визначається що одна група звільниться з більшою ймовірністю ніж інша, потім буде потрібно ще кілька кроків, щоб перетворити цей результат в абсолютну оцінку ризику

Аналіз виживаності

Аналіз виживаності, також відомий як аналіз історії подій, є вдосконаленим статистичним

методом, який використовується для оцінки ймовірності події, що відбувається з плином часу. Цей метод широко застосовується в медичних науках, де він використовувався для прогнозування виживаності пацієнтів, але може бути застосований і для оцінки плинності кадрів.

Так наприклад дослідження проведене Томом Бріггсом для американської асоціації HR, продемонструвало, додаток аналізу виживання для аналізу різниці у відсотку звільнення для кандидатів, яким давали реальну можливість попереднього ознайомлення з роботою і тих, яким не давали. Для першої групи кандидатів це призвело до зниження процента звільнень на 15%.

На відміну від вище розглянутих результатів логістичної регресії аналіз виживаності може бути використаний для отримання ймовірності звільнення в певний момент часу для конкретного співробітника.

Методи дерев — Древа прийняття рішень та Випадковий ліс (Decision Trees and Random Forest)

У порівнянні з логістичною регресією або аналізом виживання, які відразу приводять до індивідуальному рівню передбачення, модель дерева рішень починає з аналізу всіх співробітників, а потім сортує їх на менші і менші групи в залежності від ймовірності їх звільнення. Це створює деревоподібну структуру з центральним вузлом і багато листя для кожного можливого шляху від кореня (центрального вузла).

У своєму дослідженні [3] «Аналіз звільнення співробітників» Divyabh Mishra він аналізує, як управлінська політика і інші фактори прийняті в компанії впливають на оборот в SanDisk.

Метод Random Forest ґрунтується на моделі дерева рішень наступним чином. На високому рівні випадковий ліс бере випадковий вибір даних з вашого набору даних і групує їх за своїми власними деревах рішень. Потім він бере середнє значення всіх створених дерев, щоб зробити прогноз. Ідея тут полягає в тому, що багато дрібніших передбачення, взяті разом, можуть в кінцевому підсумку створити сильніший прогноз.

Висновок

Інтелектуальний аналіз даних (Data Mining) є однією з нових технологій в області засобів аналізу даних, і має значний вплив в області людських ресурсів. Відповідний фреймворк по початковому збору даних дозволить отримати якісний набір для різних методів Data Mining. Це допоможе в розкритті закономірностей, щоб отримати знання, які допоможуть особам, які приймають рішення по розробці стратегій та планів на майбутнє ринку праці. Реалізація методів інтелектуального аналізу за даними опитувань та відділу кадрів можуть обробляти великі обсяги даних і перетворити його в корисну інформацію для поліпшення процесу

прийняття рішень в організаціях. Крім того, це може привести до більш легкому розумінню потреб організації та сформуванню працездатний підхід до прогнозування потреб ринку праці.

Список літератури: 1. Carifio, J. & Perla, R. (2007). Ten Common Misunderstandings, Misconceptions, Persistent Myths and Urban Legends about Likert Scales and Likert Response Formats and their Antidotes. *Journal of Social Sciences*, 2, 106-116. <http://www.scipub.org/fulltext/jss/jss33106-116.pdf> 2. Rodger W. Griffeth, Peter W. Hom, Stefan Gaertner. "Meta-Analysis of Antecedents and Correlates of Employee Turnover: Update, Moderator Tests, and Research Implications for the Next Millennium". *Journal of Management* 2000, Vol. 26, No. 3, 463-488 3. Divyabh Mishra "Employee Attrition Analysis Identify / Model key indicators of employee attrition for SanDisk employees based on publicly available data". Available online at 4. <https://www.slideshare.net/divyabh/employee-attrition-analysis>. checked on 4/1/2017 Richard Rosenow: Analyzing Employee Turnover. Descriptive Methods. Available online at <https://www.linkedin.com/pulse/analyzing-turnover-descriptive-methods-richard-rosenow-mp>, checked on 4/1/2017

Resume

N.O. Manakova, A.A. Evdokimov,
V.P. Manakov, I.I. Tsyganenko

THE FRAMEWORK FOR ANALYZING DATA ON THE TURNOVER OF PERSONNEL USING DATA MINING

Background: Personnel decisions related to the staff movement (most often aimed at preventing staff turnover) are taken in most cases subjectively, without analysis of statistical data, their dynamics, trends, and patterns of the staff movement. One of the reasons for this situation is the lack of theoretical and practical developments describing the system and processes of personnel movement. As well as tools for its analysis, in particular, a complete system of indicators for assessing the staff movement.

Materials and methods: One of the most common methods of analyzing staff turnover is the use of a number of different coefficients or indicators. In the context of the study of the organization's personnel management, the urgency of the issue of analyzing the existing turnover indices of the organization's personnel, their rethinking and supplementation are growing. To study the factors, the design of the framework for the study of turnover readiness of economically active parts of the population was developed. At the initial stage of the study, when data are collected, descriptive statistics and visualization methods will be used to identify primary dependencies, taking into account the type of the input data scale.

Survival analysis, also known as event history analysis, is an improved statistical method that is used to assess the probability of an event that occurs over time.

Results: The article presents the design of the framework for the study of the turnover readiness of economically active parts of the population. The implementation of methods of intellectual analysis based on survey data will help to form a workable approach to forecasting of the labor market needs.

Conclusion: Data Mining is one of the new technologies in the field of data analysis tools, and has a significant impact in the field of human resources. The corresponding framework, according to the initial data collection, will provide a qualitative set for various methods Data Mining.

Надійшла до редколегії 25.09.2017

УДК 51-76

Т.О. Назірова¹, О.Б. Костенко², Н.О. Манакова³¹ ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, м. Харків, Україна, freestar@ukr.net² ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, м. Харків, Україна, ks42@ukr.net³ ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, м. Харків, Україна, natalym@rambler.ru

КОНЦЕПТУАЛЬНА МОДЕЛЬ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМА В ГАЛУЗІ ОХОРОНИ ЗДОРОВ'Я

Забезпечення високого рівня здоров'я нації є пріоритетним завданням держави. Широке впровадження інформаційних технологій в лікувальний та діагностичний процес, інтеграція у світовий інформаційний простір за рахунок застосування сучасних інформаційних технологій є важливим компонентом реформування вітчизняної медицини. Це дозволить за порівняно короткий термін домогтися суттєвого підвищення ефективності роботи закладів охорони здоров'я, підвищити якість лікування та діагностики. У статті детально аналізується демографічна ситуація населення України на сьогоднішній день. Запропоновано можливі шляхи вирішення проблем сучасного стану системи охорони здоров'я в Україні, за допомогою оптимізації методів управління галуззю на регіональному рівні з використання інформаційних технологій.

ОХОРОНА ЗДОРОВ'Я, РЕГУЛЯРНІ МЕДИЧНІ ОГЛЯДИ, СТАТИСТИЧНІ ДАННІ, РЕФОРМУВАННЯ ГАЛУЗІ ОХОРОНИ ЗДОРОВ'Я

Назірова Т.А., Костенко А.Б., Манакова Н.О. Концептуальная модель информационной системы в сфере здравоохранения. Обеспечение высокого уровня здоровья нации является приоритетной задачей государства. Широкое внедрение информационных технологий в лечебный и диагностический процесс, интеграция в мировое информационное пространство с помощью применения современных информационных технологий, является важным компонентом реформирования отечественной медицины. Это позволит за сравнительно короткий срок добиться существенного повышения эффективности работы учреждений здравоохранения, повысит качество лечения и диагностики. В статье подробно анализируется демографическая ситуация населения Украины на сегодняшний день. Предложены возможные пути решения проблем современного состояния системы здравоохранения в Украине, с помощью оптимизации методов управления отраслью на региональном уровне с использованием информационных технологий.

ЗДРАВООХРАНЕНИЕ, РЕГУЛЯРНЫЙ МЕДИЦИНСКИЙ ОСМОТР, СТАТИСТИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ, РЕФОРМИРОВАНИЯ ОТРАСЛИ ЗДРАВООХРАНЕНИЯ

Nazirova T.O., Kostenko O.B., Manakova N.O. Conceptual model of the information system of health. Ensuring a high level of health of the nation is a state priority. Widespread introduction of information technologies into the therapeutic and diagnostic process, integration into the global information space through the use of modern information technologies, is an important component of the reform of the national medicine. This will allow in a relatively short time to achieve a significant increase in the efficiency of health institutions, improve the quality of treatment and diagnosis. The article thoroughly analyzes the demographic situation of the Ukrainian population in a day's scarcity. The proposed moles way of solving the problems of the modern health system in Ukraine, through optimization of the branch management practices at the regional level with the use of information technology.

HEALTH CARE, REGULAR MEDICAL EXAM, STATISTICAL DATA, REFORMING THE HEALTH PROTECTION SECTOR

Вступ

В умовах реформування системи охорони здоров'я, яке на сьогоднішній день здійснюється на тлі економічної кризи.

Великий потенціал інформаційних технологій для системи охорони здоров'я з метою підвищення якості та ефективності медико-санітарної допомоги, ще тільки належить усвідомити і реалізувати в повному обсязі. Незважаючи на те, що зараз в Україні активізувались дослідження в цій сфері, як під державної егідою, так і в рамках громадських ініціатив [1], має бути ще досить довгий шлях розробки, впровадження та розвитку таких систем.

У світовій практиці проектування Інформаційних систем в галузі охорони здоров'я відзначаються високі ризики помилок в процесах прийняття рі-

шень в цій сфері [2, 3]. Що не тільки не дозволяє знехтувати процесом моделювання предметної області, а й виводить цей етап на найважливіший рівень.

До процесу моделювання будемо відносити формування та формалізацію концептуальних моделей, побудова і декомпозицію моделей workflow (бізнес-процесів або робочих процесів), а також аналіз функціональних завдань з подальшим структурно-модульним та інфологічним моделюванням предметної області [4-7]. Таким чином, актуальність теми визначається потребою в розробці оптимальних варіантів управління медичною допомогою на основі системного моніторингу та багаторівневого моделювання, виходячи з соціально-економічних особливостей регіону та стану здоров'я населення.

1. Аналіз останніх досліджень і публікацій

На теперішній час дуже багато українських вчених піднімають питання про необхідність реформування системи охорони здоров'я України. Актуальними дослідженнями регіонального управління охороною громадського здоров'я, механізмів державного управління, реформуванням цієї галузі займалися Авраменко Н.В., Пак С. Я., Рожкова І.В., Білинська М.М., Жаліло Л.І., Карамішев Д.В., Кризіна Н.П., Мартинюк О.В., Солоненко І.М., Солоненко Н.Д., Радиш Я.Ф. та інші українські науковці.

Так публікація Авраменко Н.В. [8] присвячена дослідженню ролі системи охорони здоров'я у соціально-економічному зростанні України та удосконаленню управління цією системою. Автор запропонував концептуальну модель організаційно-економічного механізму державного управління ресурсним потенціалом системи охорони здоров'я на рівні регіону. Також доведено, що розвиток системи охорони здоров'я є невід'ємною складовою рівня і якості життя населення та виконує найважливішу роль в економічному розвитку країни, забезпечуючи відтворення і якість трудових ресурсів, що створюють базу для соціально-економічного зростання.

Дослідження Рожкової І.В. [9] спрямоване на розвиток механізмів державного управління охороною здоров'я на регіональному рівні. Проаналізовано впровадження реформ у сфері охорони здоров'я в Україні. Показано недоліки і протиріччя реформ, зокрема у сфері управління процесом проведення реформ та в новій моделі первинної медико-санітарної допомоги. Наведено алгоритм і матричні зв'язки оптимальної реструктуризації управління, які досліджено в інших галузях.

Не зважаючи на велику кількість досліджень, що присвячені оптимізації управління охороною здоров'я на регіональному рівні, шляхи використання інформаційних технологій для вирішення відповідних завдань висвітлені недостатньо.

Метою даної статті є аналіз досліджень регіонального управління охороною здоров'я і визначення питань, які потребують подальшого розвитку шляхом використання інформаційних технологій, та застосування модуля регулярних медичних оглядів.

2. Мета та задачі дослідження

Метою даної роботи є розробка, аналіз і оцінка ефективності комплексної медичної інформаційної системи з можливістю подальшого математичного моделювання процесів її функціонування.

Завдання дослідження

Для досягнення поставленої мети потрібно вирішити наступні завдання:

1. Визначити основні недоліки традиційних технологій розробки медичних інформаційних систем, що знижують ефективність їх застосування.

2. Розробити комплексну медичну інформаційну систему, що відповідає сучасним вимогам функціонування багатопрофільного закладу охорони здоров'я.

3. Визначити та класифікувати керовані і некеровані фактори, що впливають на ефективність роботи комплексної медичної інформаційної системи.

4. Розробити метод побудови структури баз даних: медичної інформаційної системи з урахуванням специфіки предметної області та виявлених недоліків традиційних технологій їх розробки.

5. Розробити математичну модель інформаційної мережі закладів охорони здоров'я з урахуванням встановлених вимог і виявлених керованих факторів. Визначити показники ефективності впровадження інформаційної системи, на підставі яких можна адекватно керувати роботою медичної інформаційною системою.

3. Матеріали та методи дослідження

Для створення сучасної системи охорони здоров'я, для поліпшення ефективності і якості медичної допомоги населенню, необхідно активне використання сучасних інформаційних технологій, в розвинених країнах, які пройшли цей шлях – це було одним із самих основних напрямків реформування даної галузі.

Розглянемо ієрархічну структуру досліджуваної предметної галузі охорони здоров'я.

ВООЗ розглядає здоров'я як основний ресурс Суспільства (Population health) та держави в цілому (Public health), право на здоров'я для громадян має Забезпечувати держава і це має бути зафіксовано в кодексах всіх держав.

При такому підході необхідна розробка загальнодержавної системи охорони здоров'я, яка має наступні цілі:

– Організувати загальнодержавну систему для підтримки і поліпшення здоров'я громадян, профілактики захворювань, в тому числі епідемічних і носять суспільний характер.

– Підтримувати наукові вишукування для майбутніх поліпшень системи охорони здоров'я.

– Створювати Законодавчу, матеріальну та кадрову базу для функціонування системи охорони здоров'я в цілому.

Наступний ієрархічний рівень системи охорони здоров'я сфокусований на реалізації загальнодержавної програми в регіонах. Велика відмінність між районами в доступності лікарняних закладів, рівнів надання послуг з госпіталізації, загальної вартості лікування, доступності послуг швидкої допомоги та багато чого іншого. Все це свідчить про недостатню ефективність діяльності медичних установ і в цілому всієї системи охорони здоров'я. У зв'язку з цим великого значення набуває розробка оптимальних варіантів управління медичною допомогою населенню, виходячи з особливостей соціально-економічного рівня розвитку регіону, стану здоров'я населення, діяльності та ресурсного забезпечення закладів охорони здоров'я.

Поточне дослідження спрямоване на вивчення та формування концептуальних засад та існуючих процесів з метою проектування інформаційної системи без використання паперових носіїв на всіх рівнях (реєстри пацієнтів, статистична інформація про захворюваності, смертності, інвалідності, діяльності ЛПУ, штати, потреби в медикаментах, діагностичних послуг і т.п.), що дозволить збільшити ефективне функціонування існуючої системи охорони здоров'я, у відношенні не тільки лікування, але і виявлення захворювань на ранніх стадіях, та профілактики захворювань.

Як показують дослідження 35% всієї інформації в світі відноситься до охорони здоров'я. Інформація повинна жити десятиліттями, інфраструктура і додатки живуть кілька років. Сучасні медичні організації виробляють і накопичують величезні обсяги даних. Від ефективності використання накопичених обсягів даних лікарями та керівниками системи, залежить якість медичної допомоги, загальний рівень життя населення, рівень розвитку країни в цілому і кожного її територіального суб'єкта зокрема.

Все більшого значення набуває управління охороною здоров'я на основі системного підходу, всебічного моніторингу, багаторівневого моделювання з виділенням пріоритетних напрямків в залежності від їх ваги для суспільства з медичної, соціальної або економічної точки зору.

Одне з найважливіших засобів реалізації такого системного підходу є розробка інформаційних систем в сфері охорони здоров'я, так званих систем класу eHealth, які об'єднують всі ресурси об'єктів охорони здоров'я в єдину інтегровану систему - «Hospital Management Information System». Дана система має можливість обробки амбулаторних, стаціонарних, надзвичайних ситуацій, денний догляд і різних інших послуг, що надаються громадянам лікарняними установами.

Система здатна забезпечити внутрішню і зовнішню комунікацію між постачальниками медичних послуг, не залежно від регіону проживання пацієнта або регіону надання медичної допомоги. Ці зміни в установах поліпшать якість послуг, що надаються та безпосередньо догляд за пацієнтами, а так само оптимізують витрачений час пацієнтом на отримання необхідних послуг. Також система здатна забезпечити внутрішню і зовнішню комунікацію між постачальниками медичних послуг, не залежно від регіону проживання пацієнта або регіону надання медичної допомоги.

4. Концептуальна модель і формалізація предметної області

Розробці інформаційної системи передують етапи опису та формалізації предметної області, що особливо актуально для системи пов'язаної з високими ризиками прийняття неправильних рішень. Формування концептуальної моделі високої складності є досить трудомістким і багатоступінним завданням, та вимагає спільного використання декількох видів моделей. На жаль, це призводить до

їх неузгодженості і складності взаємного переходу між моделями. В нашій роботі ми будемо використовувати декілька різноманітних моделей:

- Формалізована концептуальна модель об'єктів, що представляє об'єкти та відносини між ними;
- Процесна, що описує системи взаємопов'язаних робочих (workflow) процесів, що протікають в предметній області;
- Структурно-модульну, що описує складові частини програмної реалізації інформаційної системи;
- Інфологічна модель – опис об'єктів (сутностей), з набором атрибутів і зв'язків між ними, які виявляються в процесі дослідження як вхідних, так і вихідних даних.

В даній статті будуть розглянуті формалізована концептуальна модель і структурно-модульна. Дві інші будуть розглянуті у наступних роботах.

Формалізована концептуальна модель об'єктів буде представлено як сукупність понять-об'єктів у вигляді [10]:

$$V = \{v | v = \langle n_v, v_s, v_c \rangle\},$$

де V – множина всіх понять-об'єктів моделей предметної області; n_v – ім'я поняття-об'єкта; v_s – склад поняття-об'єкта; v_c – зміст поняття-об'єкта.

В предметній області управління медичним закладом виділимо наступні види об'єктів:

- Документація (D – documentation: вхідні та вихідні документи в різних функціональних модулях системи, що формують інформаційне поле системи), включаючи наступні типи:
 - Медична документація (Dm – medical documentation)
 - Електронна медична карта пацієнта (De – electron card)
 - Лікарняний – листок непрацездатності (Dd- disability document)
 - Рецепт – (Dr – recipe)
 - Результати досліджень – (Da – analysis)
 - Довідкова та допоміжна документація – (Dh – help documentation)
 - Розклад лікарів та сервісів (Ds – shedules)
 - Нормативні документи щодо щеплень, медоглядів, диспансерних наглядів (Dn – normatives)
 - Учасники системи (P – players, participants) що замовляють та надають вхідну документацію, та вимагають виконання функціональних задач по використанню сервісів та ресурсів.
 - Пацієнт (Pp – pacient)
 - Медичний персонал
 - Лікарі (Pd – doctor)
 - Фармацевти (Pf – farmasists)
 - Молодший медичний персонал (Pn – nurse)
 - Спеціалісти з досліджень (Pl - laborants)
 - Допоміжний персонал
 - Водії, техніки, прибиральники (Ps-supports)
 - Адміністрація закладу (Pa – administrators)

• Сервіси та ресурси (S – services), активні складові системи, що вирішують відповідні функціональні задачі, приймають на переробку вхідні документи, за викликом учасників та інших модулів системи.

- Лабораторні та медичні дослідження (St – tests and exams)
- Електронна реєстрація (Sr – eRegistration)
- Електронна черга (Sl-eLine)
- Невідкладна допомога (Se – emergency)
- Госпітальний фонд – планової госпіталізації та оперативні втручання (Sh – hospital)
- Аптечний фонд (ліки, гарантовані безкоштовно державою) (Sd – drugs)

$$V_{HMIS} = \{D = \begin{Bmatrix} D_m \\ D_e \\ D_d \\ D_r \\ D_a \\ D_h \\ D_s \\ D_n \end{Bmatrix}, P = \begin{Bmatrix} P_p \\ P_d \\ P_f \\ P_n \\ P_i \\ P_s \\ P_a \end{Bmatrix}, S = \begin{Bmatrix} S_t \\ S_r \\ S_i \\ S_e \\ S_h \\ S_d \end{Bmatrix}\}$$

Вся розглянуті концепти мають входити до «Hospital Management Information System» (eHealth) системи, як складові функціональних модулів, або як складові інформаційного поля. В наступному розділі побудуємо структурну модель інформаційної системи.

5. Побудова структурної моделі системи «Hospital Management Information System»

Структурна модель інформаційної системи складається з цілої низки функціональних модулів та інформаційного поля, що забезпечує їх сумісне функціонування.

Модуль «Електронна реєстрація»

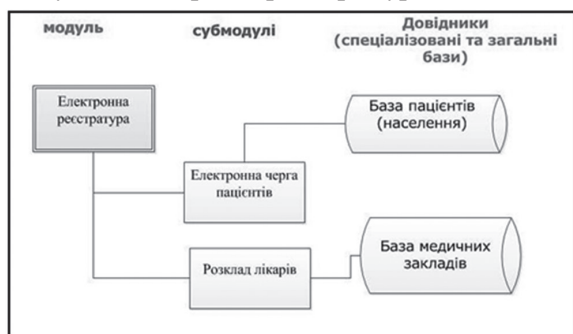


Рис. 1. Модуль «Електронна реєстрація»

Цей модуль представляє собою електронний інструмент запису пацієнтів, моніторингу доступних фахових ресурсів установи і координації пацієнтів та лікарів, з урахуванням позаштатних ситуацій.

Цей модуль включає три взаємопов'язані субмодулі: Електронна черга пацієнтів, Розклад лікарів. В свою чергу субмодуль «Електронна черга» пацієнтів використовує «Базу пацієнтів», або населення що зареєстроване в даному регіоні. Субмодуль

«Розклад лікарів» базується на «Базі медичних закладів», їх профілю, та наявності вузькопрофільних фахівців.

Поєднання цих модулів дозволяє реалізувати як основні функції (оптимальне формування черги пацієнтів, оптимізацію навантаження лікарів, автоматизацію реєстрації і пошук пацієнтів у базі) так і допоміжні функції, наприклад:

Ведення медичних карток, талонів, видача довідок та іншої медичної документації, моніторинг поточного стану та архів подій для керівництва установи, можливість відстеження наданих послуг.

Модуль «Електронна медична карта»

Модуль представляє собою сервіс ведення амбулаторної електронної медичної карти хворих та формування необхідної друкованої документації.

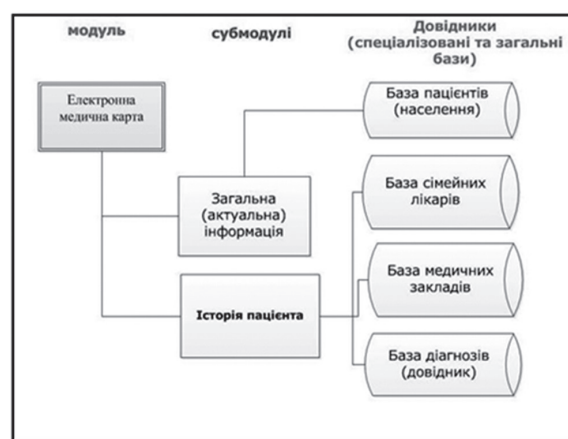


Рис. 2. Модуль «Електронна медична карта»

Цей модуль буде включати наступні субмодулі: Анамнез пацієнта (історія хвороби та призначень), Загальні відомості про пацієнта.

Модуль буде сприяти автоматизації обміну інформацією між фахівцями і профільними відділеннями лікувальної установи, для більш точної діагностики та вироблення оптимальної стратегії лікування і контролю одужання хворого. Також модуль інтегрований з модулями «Електронний лікарняний лист» та «Електронна реєстрація», для оперативної передачі інформації.

Модуль «Електронна лабораторія»



Рис. 3. Модуль «Електронна лабораторія»

Представляє собою сервіс обліку призначення лабораторних досліджень. Включає наступні субмодулі – Результати лабораторних досліджень, Історія попередніх аналізів, Інтеграція результатів з модулем «Електронна медична картка», для оперативної передачі інформації.

Модуль «Невідкладна допомога»

Модуль представляє собою електронний інструментарій для груп швидкого реагування лікарняної установи.



Рис. 4. Модуль «Невідкладна допомога»

Складається з наступних субмодулів: Черговий склад бригад швидкої допомоги, Історія екстрених оглядів та призначень (швидка і невідкладна допомога, планова і екстрена, перевезення). Субмодулі базуються на Базі обліку використання наркотичних препаратів та Базі екстреного огляду та наданих призначень. Модуль інтегрований з модулем «Електронна медична картка», для оперативної передачі інформації.

Модуль «Планування регулярних медоглядів»

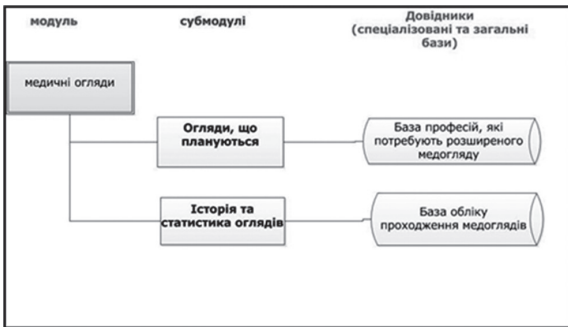


Рис. 5. Модуль «Планування регулярних медоглядів»

Модуль направлений на оптимізацію управління потоками пацієнтів та класифікацію пацієнтів для подальшого розподілення, згідно груп диспансерного обліку та причин звернення до лікувальної установи. Складається з наступних субмодулів: Огляди, що заплановано на даний термін, згідно норм законодавства, Історія та статистика оглядів. Використовують бази професій, що підлягають розширеному медогляду та база проходження медоглядів. Модуль інтегрований з модулем «Електронна медична картка», для оперативної передачі інформації.

Модуль «Управління закупівлями медикаментів. Формування держзамовлення».

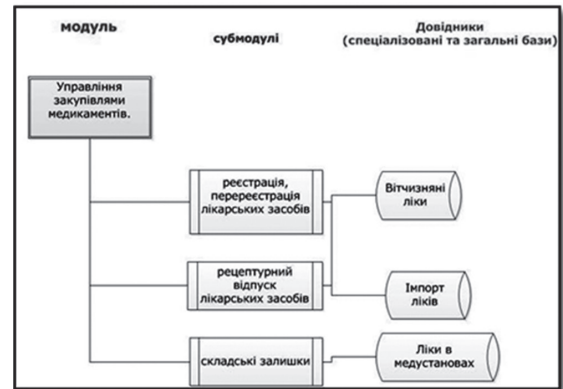


Рис. 6. Модуль «Управління закупівлями медикаментів»

Модуль направлений на оптимізацію обліку та аналіз витрат медикаментів. Аналіз термінів реєстрації лікарських засобів та облік, зберігання, призначення та використання наркотичних засобів і сильнодіючих засобів.

Складається з субмодулів: Реєстр зареєстрованих в Україні лікарських засобів та інструкцій для медичного застосування до них, База лікарських засобів, що підлягають рецептурному відпуску, згідно «Правил віднесення лікарських засобів до рецептурного або безрецептурного відпуску», та Субмодуль складських залишків медикаментів у лікувальній установі.

Модуль «Електронний реєстр рецептів»

Модуль направлено на полегшення пошуку та замовлення ліків в аптеках.

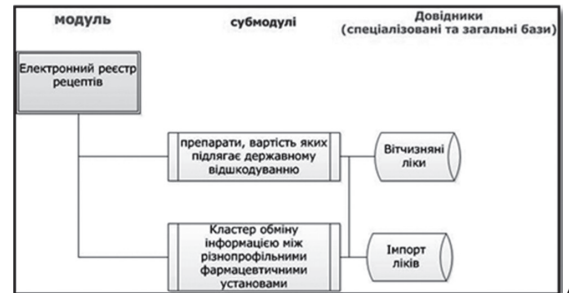


Рис. 7. Модуль «Електронний реєстр рецептів»

Складається з субмодулів: Облік препаратів, вартість яких підлягає державному відшкодуванню та Кластер обміну інформацією між різнопрофільними фармацевтичними установами.

Також модуль взаємопов'язаний з модулем «Електронний лікарняний лист», для оперативної передачі інформації.

Модуль «Електронний лікарняний лист»

Даний модуль сприятиме формуванню єдиної, встановленої МОЗ форми листа тимчасової непрацездатності, оптимізації ведення контролю та аналітичної статистики по групах діагнозів, формування статистичні дані по перевищенню епідеміологічного порогу населення та прогнозування подальшого розвитку захворюваності населення.

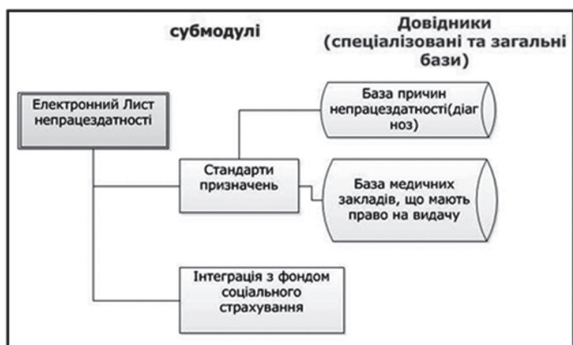


Рис. 8. Модуль «Електронний лікарняний лист»

Модуль інтегрований з модулем «Електронна медична картка» та організована передача даних у фонд соціального страхування, для оперативної передачі інформації, та своєчасних розрахунків виплат по листкам непрацездатності.

Всі згадані вище модулі, будуть інтегровані і взаємозв'язані для обміну інформацією в рамках всього лікувально-медичного закладу, в режимі реального часу. Це дозволить автоматизувати робочий процес, керувати зберіганням і пошуком інформації в установі, створити документообіг без паперових носіїв і прискорити швидкість руху потоків пацієнтів, застосувати ефективну оптимізацію управління ресурсами установи охорони здоров'я та управління і планування роботи всієї установи в цілому.

6. Результати та подальші напрямки

У роботі опрацьовано нормативно-правові аспекти, що регулюють медичні огляди населення України, висвітлені сучасні тенденції демографічного спаду та запропоновано методи обробки інформації системи «Hospital Management Information System» [7], які дозволять удосконалити сервіс надання медичної допомоги та поліпшити загальний стан здоров'я нації. А також вдосконалити управління інформаційними потоками всередині окремо взятого медичного закладу, запровадити моніторинг стану здоров'я населення та факторів, які на нього впливають, на різних рівнях управління регіональною охороною здоров'я.

Перспективи подальших розробок. Враховуючи, що кожний регіон України має свої особливості, які пов'язані як із соціально-економічним станом регіону, географічними особливостями, типом розселення населення, розвитком інфраструктури регіону, так і з медико-демографічною ситуацією та станом організації медичної допомоги населенню на всіх рівнях її надання заходи з реформування системи надання медичної допомоги населенню при загальній стратегії мають свої регіональні особливості. Тому логічним продовженням розгортання ідей, викладених у статті, є необхідність подальшого вивчення організаційної структури органів управління охороною здоров'я з метою розробки та запровадження оптимальної інформаційної моделі проведення медичних оглядів, що дасть можливість запропонувати нові підходи з організації первинного медичного огляду населення у регіоні.

Список літератури: 1. Всесвітня організація охорони здоров'я -ВОЗ [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://www.who.int/ru/>. 2. European health for all database/HFA-DB [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://data.euro.who.int/hfadbb/>. 3. World Population Prospects: The 2015 Revision// United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division, 2015 – Режим доступу: <http://esa.un.org/unpd/wpp/>. 4. Назирова Т.А. О системах оптимизации управления здравоохранением на региональном уровне на базе информационных технологий / Назирова Т.А., Костенко А. Б. // Компьютерні технології в міському та регіональному господарстві: матер. Міжнар. наук.-практ. інтернет-конф., Харків: ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2015. – С. 42-43. 5. Identifying high-cost patients using data mining techniques and a small set of non-trivial attributes Seyed Abdolmotalleb Izad Shenasa, Bijan Raahemi a, Mohammad Hossein Tekieh b, Craig Kuziemsky// [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S016792361500202X> 6. Health Literacy in the eHealth Era: A Systematic //Henna Kim, Bo Xie [Електронний ресурс] –Режим доступу до ресурсу: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0738399117300150> 7. eHealth strategies and platforms - the issue of health equity in Sweden Sofie Hellberg, Peter Johansson [Електронний ресурс] –Режим доступу до ресурсу: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S221188371630082X>

Resume

Background: The past ten years have seen the requirements for the application of automation are constantly increasing to improve support the process of providing medical assistance. In many cases, system development has followed the same course as the manual information system which it was meant to supplant, in that the system is designed to meet a specific reporting requirement or the needs of a specific group of users. The lack of information interchange has created redundancy in gathering information, often with differing definitions. Efforts to stimulate information interchange have demonstrated success within specific organizations using specific systems, but interchange between systems is costly and difficult, if not impossible, due to lack of uniform definitions and data representations.

Materials and methods: The health care delivery system both needs and generates information in the course of providing service to its patient. The heightened interest to the patient -medical staff relationship has resulted in ever increasing requests for information and serve to focus attention on the need for uniform data

Results: The article analyzes in detail the demographic situation of the Ukrainian population today. Possible ways of solving the problems of the current state of the health care system in Ukraine are proposed, with the help of optimization of management methods at the regional level using information technologies. To explore the concept of maximum utility, a model of the health care information system was postulated, and functional information categories identified. Application of other criteria resulted in identification of discrete items of information. Definitions and codes, where appropriate, are being developed. The potential usefulness of the concepts to the health care community at large are also discussed.

Conclusion: The work elaborates regulatory and legal aspects regulating medical examinations of the population of Ukraine, highlights current trends in demographic decline, and proposes methods for processing information in the “Hospital Management Information System” system, which will improve the provision of medical care and improve the general health of the nation.

Поступила до редакції 27.09.2017



В.П. Манаков¹, Е.А. Бизюк², А.В. Бизюк³

¹ ХНУРЕ, м. Харків, Україна, volodymyr.manakov@nure.ua;

² ХНУРЕ, г. Харьков, Украина, katernyna.biziuk@nure.ua;

³ ХНУРЕ, г. Харьков, Украина, andrii.biziuk@nure.ua

ИССЛЕДОВАНИЕ ФОРМАЛЬНЫХ ОЦЕНОК КАЧЕСТВА UI/UX САЙТОВ

В статье рассматривается проблема исследования качества UI/UX сайтов. Анализируется современный дизайн, его изменение с ускорением темпа жизни и влияние на человека-пользователя. Рассмотрены составляющие экономического эффекта от улучшения юзабилити сайтов. Тестирование интерфейсов рассмотрено с точки зрения различных методологий, представлены их примеры. Формализацию оценки юзабилити предлагается проводить на основании опросных и анкетных технологий.

ДИЗАЙН, ТЕСТИРОВАНИЕ, ЮЗАБИЛИТИ, ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКИХ ИНТЕРФЕЙСОВ, КРИТЕРИИ КАЧЕСТВА, ОЦЕНКА КАЧЕСТВА UI/UX САЙТОВ

Манаков В.П., Бизюк Е.А., Бизюк А.В. Дослідження формальних оцінок якості UI/UX сайтів. У статті розглядається проблема дослідження якості UI/UX сайтів. Аналізується сучасний дизайн, його зміна з прискоренням темпу життя і вплив на людину-користувача. Розглянуті складові економічного ефекту від поліпшення юзабіліті сайтів. Тестування інтерфейсів розглянуте з точки зору різних методологій, представлені їх приклади. Формалізацію оцінки юзабіліті пропонується проводити на підставі опитних і анкетних технологій.

ДИЗАЙН, ТЕСТУВАННЯ, ЮЗАБІЛІТІ, ПРОЕКТУВАННЯ ІНТЕРФЕЙСІВ, КРИТЕРІЇ ЯКОСТІ, ОЦІНКА ЯКОСТІ UI / UX САЙТІВ

Manakov V.P., Biziuk E.A., Biziuk A.V. Research of formal estimates of UI/UX sites quality. The article examines the problem of quality research of UI/UX sites. Analyzes modern design, its change with the acceleration of the pace of life and the impact on the human user. The components of the economic effect from the improvement of usability of sites are considered. Testing of interfaces is considered from the point of view of various methodologies, their examples are presented. Formalization of the usability assessment is proposed to be carried out on the basis of questionnaire and questionnaire technologies.

DESIGN, TESTING, USABILITY, DESIGNING OF INTERFACES, QUALITY CRITERIA, QUALITY ASSESSMENT OF UI / UX SITES

Введение

Существующие процессы разработки сайтов удовлетворяют основным техническим и рабочим требованиям. Внедрение пользователе-ориентированных методов снижает финансовые и временные затраты на разработку. Оценка интерфейсов пользователями на разных стадиях разработки сайтов позволяет выявлять и устранять ошибки, что приводит к снижению финансовых и временных затрат.

1. Экономический эффект улучшения юзабилити интерфейсов

Большая часть всемирной сети интернет – коммерческая. И хотя создавалась «всемирная паутина» для научно-исследовательских, информационных целей, такой мощный инструмент распространения информации не мог не коммерциализироваться в условиях современной мировой экономики. Больше того, современная мировая экономика сегодня немыслима без интернета. Это не только способ связи, передачи информации – большая часть предприятий с появлением сети переходит в онлайн. Волна подъема онлайн-бизнеса девяностых остановилась только во время «краха доткомов» в 2001 году. Процесс обоюден: коммерциализация подняла интернет на тот уровень,

который мы наблюдаем сегодня. Благодаря финансированию и поддержке простых пользователей гугл может теперь разрабатывать технологии нового века и запускать дроны в пустыне. Но что это дает людям? Бизнес, основа современной экономики, заинтересован в улучшении юзабилити интерфейсов не меньше, чем сами пользователи. От стихийного улучшения юзабилити дизайнеры больших корпораций давно перешли к системному подходу. Ведь тот, кто первый сделает свой интерфейс удобней, быстрее и проще, получит больше всего последователей-пользователей, а следовательно – рынок для своей продукции. На данный момент ведущих законодателей мод в дизайне интерфейсов несколько. Это те, кто разрабатывает платформы, операционные системы для техники. Эппл, Виндоус и Андроид – вот три кита современного информационного рынка, задающие стандарты интерфейсов сегодня. Выход нового айфона способен совершить революцию в дизайне интерфейсов по всему миру. Потому «Библией» современного дизайнера являются style guides, или гайды.

Ios guides от Apple, material design от Google и (на данный момент сдающая позиции в связи с переходом на мобильный интернет) Windows с её руководством по дизайну от Microsoft – их знание

сегодня обязательно для дизайнера. Дизайн унифицируется, поэтому большие корпорации взяли на себя роль всемирного законодателя мод в этой сфере.

Другая сторона повсеместного использования гайдов (помимо прибыли корпораций) — унификация дизайна. Хорошо это или плохо? С одной стороны, меньше стало творчества в дизайне. Цвет кнопки? Размер шрифта? Смотри в гайдах. С другой стороны — веб-сфера становится однородней, узнаваемей, что помогает быстрее ориентироваться в море интернета.

Решаемые группами профессионалов задачи изменились таким образом, что взаимодействие с программным обеспечением (ПО) становится неотъемлемой частью их работы. Но далеко не все интерфейсы удовлетворяют основному принципу соответствия пользовательским задачам. Из-за этого несоответствия страдает работоспособность сотрудников, фирмы терпят убытки, случаются человеческие жертвы и наносится вред здоровью людей.

Суммарный эффект управления эргономичностью конечного продукта имеет комплексный характер, объединяя технико-экономическую, целевую и социальную составляющие [1]:

$$Euэ = Emэ + Eцел + Eсоц, \quad (1)$$

где $Euэ$ — суммарный эффект управления эргономичностью в сфере использования конечного продукта; $Emэ$ — технико-экономический эффект; $Eцел$ — целевой эффект; $Eсоц$ — социальный эффект.

Технико-экономический эффект определяется сопоставлением затрат на осуществление управления эргономичностью с экономией, полученной при его реализации. Целевой эффект обусловлен ростом успешности выполнения целевой функции объекта качества в течение определенного временного интервала за счет установления и выполнения эргономических требований.

Управление эргономичностью — условие повышения не только конкурентоспособности, но и рентабельности создания и производства высокоэргономичного продукта. При использовании модифицированной модели известного американского специалиста С. Синка результативность учета эргономических требований:

$$R = f(Q, V, Э P, Qтж, I); \quad (2)$$

где Q — качество как эргономичность (степень соответствия продукта эргономическим требованиям); V — количество произведенного продукта; $Э$ — экономичность, равная $Pn / Pф$ (Pn — запланированные ресурсы, $Pф$ — ресурсы, фактически использованные); $Qтж$ — качество трудовой жизни, характеризующее степень удовлетворенности работников средствами и условиями функциональной деятельности; I — инновации, новизна технологий, принципиально новых средств и методов, примененных при создании высокоэргономичного объекта качества.

2. Гуманистический (культурно-когнитивный) эффект улучшения юзабилити интерфейсов

Развитие технологий повлекло за собой разнообразие носителей интерфейсов, эволюция в носителях также повлекла за собой эволюцию в дизайне. Вслед за изменениями среды-носителя дизайна меняются названия дизайнерских профессий. Но изменилась ли суть работы с переходом на новые технологии? Нет. Суть работы дизайнера — делать вещь ближе к пользователю.

Современное ускорение процессов поглощения информации, увеличение её объемов — явление, исследуемое философией и психологией с конца двадцатого века. Ещё Тоффлер в книге «Футурошок» описывал и исследовал это явление [2]. Увы, повышение скорости восприятия информации человеческим мозгом имеет свою цену. Также есть и цена убыстрения современной жизни. Если еще сто лет назад передвижение между городами занимало день, двести лет назад — неделю, то сегодня самолеты и скоростные поезда летают за час. Письмо? Секунды. Свежая газета? Пока грузится страница. Но как это повлияло на современного человека? Он стал быстрее читать? Возможно. Но стал ли он быстрее думать? Больше знать? Стал ли современный студент образованней, чем его предшественник из века девятнадцатого? Увы, человеческий мозг не всемогущ. За скорость мы платим поверхностностью знаний. Мы просматриваем сайты по диагонали, листаем страницы и обращаем внимание только на картинки и заголовки. Исследования современных медиа [3] указывают, что среднее время от открытия страницы со статьей до прочтения первых заголовков, абзаца и решения «читать ли далее» — 6 секунд. Всего 6 секунд, и чудесная статья замечательного автора на четыре страницы навсегда уйдет в забвение.

В таких условиях вопрос качества интерфейса, его для удобства и скорости считывания информации становится первостепенным. Благодаря коммерциализации интернета, пользователь голосует теперь деньгами. Удобный интерфейс? Сайт-журнал читают. Его рекламу кликают. Ресурс процветает. Неудобный? Рано или поздно, он заканчивается, так как от посещаемости и результативности этой посещаемости зависит оплата работы многих людей, работающих над этим проектом. Даже такие вроде бы некоммерческие проекты, как социальные медиа, на самом деле существуют за счет спонсорства и зависят от своей популярности.

Восприятие ускорилось и упростился дизайн, но одновременно повысились требования к качеству работы дизайнера интерфейсов. В настоящее время очень много внимания уделяется соответствию продукта работы дизайнера всемирным стандартам гайдов и принятию пользователями.

3. Система Бена Шнейдермана

Введем немного терминологии для понимания пользовательских интерфейсов.

Интерфейс — это совокупность логических и физических принципов взаимодействия компонентов технических средств вычислительной системы, т. е. совокупность правил алгоритмов и временных соглашений по обмену данными между компонентами вычислительной системы (логический интерфейс), а также совокупность физических, механических и функциональных характеристик средств подключения, реализующих такое взаимодействие (физический интерфейс) [4]. Интерфейс распространяется на все логические и физические средства взаимодействия вычислительной системы с внешней средой, например, с операционной системой и пользователем.

Пользовательский интерфейс — это способ выполнения задачи с помощью каких-либо программных средств, а именно совершаемые действия и получение результатов этих действий [4]. У пользовательского интерфейса, как у человеко-машинного взаимодействия, имеются две основные составляющие: часть, связанная с аппаратно-программной реализацией интерфейса и часть, связанная с действиями со стороны пользователя. Но если машинная часть интерфейса имеет четко определенное поведение, то поведение пользователя полностью предсказать невозможно, поэтому при разработке интерфейса основная задача — максимально учитывать человеческие возможности, способность к обучению, привычки и другие физиологические и психологические особенности. Каким же образом можно оценить и измерить человеческие особенности, чтобы применить полученные знания к разработке интерфейса?

Для этого есть эргономика — наука, изучающая действия человека в процессе работы, скорость освоения им новой техники, затраты его энергии, производительность и интенсивность при конкретных видах деятельности. Эргономика включает в себя непосредственно изучение человеко-машинного взаимодействия. В связи с этим можно определить эргономические показатели пользовательского интерфейса — качественные и количественные характеристики человеко-машинного взаимодействия. Существует множество различных эргономических показателей, специфичных для каждого отдельно рассматриваемого проекта.

Существует несколько систем из эргономических показателей. На данный момент одной из наиболее распространённых систем является система показателей Бена Шнейдермана [5]. Эта система включает в себя следующие характеристики:

- скорость работы пользователя;
- количество человеческих ошибок;
- субъективная удовлетворенность;
- скорость обучения навыкам оперирования интерфейсом;
- степень сохраняемости этих навыков при неиспользовании программного средства.

У системы показателей Шнейдермана есть свои достоинства и недостатки. Основное преимуще-

ство этой системы — ее предметность. Улучшить показания перечисленных характеристик — гораздо более конкретная задача, нежели задача «сделать интерфейс более удобным». Также показатели Шнейдермана можно в той или иной степени измерить, то есть дать им количественную оценку, а в сравнении с результатами каждой рабочей итерации по улучшению этих показателей дать качественную оценку пользовательского интерфейса. Важно, что полученные результаты могут однозначно интерпретироваться каждым участником команды разработчиков, что позволяет облегчить коммуникацию касаясь вопросов изменений в интерфейсе программного средства.

Однако, в системе показателей Шнейдермана имеются и недостатки.

Во-первых, описанная модель не учитывает всех возможных показателей, что может вызвать искажение результатов.

Во-вторых, некоторые показатели Шнейдермана в большинстве случаев конфликтуют между собой. К примеру, если основная цель разработчиков — максимально увеличить скорость работы пользователя, то зачастую произойдет снижение скорости обучаемости системе. В связи с этим высоких показателей сразу всех характеристик модели добиться практически невозможно. Считается, что, как правило, высоких значений можно добиться только по двум показателям модели Шнейдермана.

Третьим недостатком системы можно отметить то, что не существует абсолютной шкалы измерений каждого из показателей. Вместе с тем модель Шнейдермана является полезным средством в определении точных характеристик интерфейса, поэтому зачастую это весьма полезный инструмент в его разработке.

Однако подход к оценке качества пользовательского интерфейса на основе модели Шнейдермана фрагментарен, поскольку концентрируется на оценке отдельных характеристик. Существует более целостный подход к вопросу об удобстве использования интерфейсов — это юзабилити.

4. Юзабилити и тестирование

Существует большое количество определений понятия «юзабилити». Рассмотрим три наиболее часто встречающихся определения.

Согласно международному стандарту (ISO 9241-11) юзабилити — это степень эффективности, трудоемкости и удовлетворенности, с которыми продукт может быть использован определенными пользователями при определенном контексте использования для достижения определенных целей.

Определение, предложенное UPA (Usability Professionals Association) концентрируется больше на понятии юзабилити в контексте процесса разработки программного продукта: «Юзабилити — это подход к разработке продукта, который вовлекает обратную связь с пользователем на всех этапах

разработки с целью создать продукт, отвечающий нуждам пользователя»

Стив Круг в своей книге дает следующее простое определение: «В действительности юзабилити — просто убеждение в том, что что-то работает хорошо — будь то веб-сайт, пульт управления или вращающаяся дверь — по прямому назначению и не оставляет пользователя безнадежно разочарованным» [6]. Гуру юзабилити докомпьютерной эры Дональд Норман в своём труде «Дизайн привычных вещей» [7] с ним солидарен: «В любом случае если для такой простой вещи, как дверь, требуется инструкция, хотя бы даже из одного слова, значит, её дизайн никуда не годится».

Все эти три определения, как и другие определения юзабилити сводятся к следующему:

- пользователь вовлечен в процесс;
- пользователь производит некоторые действия;
- пользователь производит некоторые действия с системой, продуктом или предметом.

Таким образом, понятие «юзабилити» предоставляет полноценный контекст для работы с пользовательским интерфейсом, в отличие от модели Шнейдермана: среда, в которой пользователи взаимодействуют с продуктом — условия для анализа пользовательского интерфейса.

В результате возникает вопрос о человеческом факторе в юзабилити. Человеческий фактор считается основополагающим в данном подходе к дизайну, в этой новой методологии дизайна (Human Centered Design) [8].

Эта концепция известна так же, как «Human oriented design», «People oriented design» или в более узком смысле — «User oriented design». Человеко-ориентированный дизайн — подход к созданию проектов, в которых ключевую роль играют потребности людей. Методологии, изучающие техники проектирования взаимодействия человека и машины, начали появляться во времена развития компьютерных технологий ещё в 1980-х годах. Ранние методологии воспринимали когнитивные процессы пользователей как статичные, предсказуемые и поддающиеся научным исследованиям. В качестве основы они предлагали разработчикам при проектировании пользовательских интерфейсов опираться на исследования в таких областях когнитивной психологии, как память и внимание. Но этот подход потерпел поражение в связи с стремительным ростом отрасли и изменением сознания пользователей, ростом их вовлеченности в индустрию. Скорость восприятия взаимодействия с интерфейсом росла экспоненциально с каждым новым поколением пользователей. Современные модели имеют тенденцию акцентировать внимание на постоянной обратной связи и диалоге между пользователями и интерфейсами. Они строятся вокруг обучаемости пользователя, его желаний и стремлений. Вот почему человеко-ориентированный дизайн стал ведущей концепцией в юзабилити интерфейсов.

Основное отличие концепции «человеко-ориентированного дизайна» от «человеческого фактора» в том, что эта философия дизайна акцентирует своё внимание больше на пользователях, работающих предпочтительнее с современными интерфейсами, чем с другими видами. Также человеко-ориентированный дизайн является более широким понятием, с меньшим акцентированием внимания на задачах и процедурах и меньшим акцентированием на физическую нагрузку, истекающую из формы дизайна устройств интерфейса (таких как клавиатура и мышь, которые уже сменяются тачпадами).

Профессиональные награды в сфере юзабилити существуют, всемирные конференции регулярно проводятся, но всемирное признание ведущих специалистов, успех докладов и презентаций всего лишь задают общий тон всемирным тенденциям.

У производителей нет оценочных критериев, кроме внутренних, которые они могли бы использовать в рекламных целях. Эти критерии называются фирменным стилем, философией продукта и бренда. Экспертные оценки, которые сейчас предоставляет множество фирм, не привязаны к единой шкале и часто оценивают разные параметры с использованием специализированных метрик. На рынке не существует ни официального, ни отраслевого де-факто принятого всеми стандарта. Но существует неофициальный.

Самые крупные IT-компании, задающие моду на глобальные тренды дизайна, разрабатывают UI guides (гайды или руководства по интерфейсам). Обязательно ли полностью соблюдать гайды в дизайне мобильных приложений? Зачем придерживаться этих рекомендаций? С одной стороны, эти компании проводят наиболее масштабные исследования по юзабилити, которые и воплощаются в их руководствах для дизайнеров. С другой стороны, пользователи легче обучаются новым взаимодействиям, если часть из них уже знакомы по другим приложениям и сайтам, выполненным согласно гайдам. С третьей — не в каждом новом приложении или сайте эти гайды работают на пользователя. Иногда увлечение буквальным следованием рекомендациям бывает во вред проекту, интерфейсу конкретного продукта в целом.

Тестирование методом черного ящика. Тестирование "черного ящика" — это вид тестирования, проводимый без знания внутренних механизмов работы продукта. Производится на основании внешних проявлений работы продукта. В терминах программного обеспечения под тестированием "черного ящика" обычно подразумевают тестирование через интерфейс пользователя, не имея доступа к исходному коду продукта [4].

Юзабилити, особенно сложных систем, сложно определить до того, как пройдет длительный период использования продукта. То есть потребитель не имеет возможности оценить важную характеристику качества продукта. И тут в дело

вступает тестирование. Оно имитирует загрузку потока пользователей и время, прошедшее за период пользования сайтом.

Тестирование является одной из ведущих на сегодня методологий оценки качества дизайна интерфейсов сайтов. Так как современная среда для дизайна постоянно меняется, а сам дизайн и его восприятие зависят от пользователей, ничего не остается, как спросить их самих. Потому тестирование — это основа всех разработок в юзабилити, на нём строятся гайды и по его результатам часто выбирают, какой вариант дизайна будет иметь право на жизнь (так как от этого выбора часто зависят миллионные прибыли корпораций, то одного мнения дизайнера, создающего интерфейс, недостаточно).

Тестирование удобства пользования (юзабилити) — это вид тестирования, который проверяет сайт на удобство и практичность в использовании. Включает в себя тесты на человеческий фактор, эстетику интерфейса и его непротиворечивость, наличие и качество оперативной и контекстной помощи, руководств и учебных материалов. Тестирование удобства пользования — это метод тестирования, направленный на установление степени удобства использования, обучаемости, понятности и привлекательности для пользователей разрабатываемого продукта в контексте заданных условий.

Тестирование же интерфейса — это совершенно другой вид тестов. Это тестирование графического интерфейса пользователя, которое предполагает проверить сайт на соответствия требованиям к графическому интерфейсу, профессионально ли оно выглядит, выполнено ли оно в едином стиле.

5. Критерии проверки качества UI/UX сайтов

Исходя из концепции первенства человеческой реакции на качество UI/UX сайтов, основным критерием будет реакция пользователя на продукт дизайна UI/UX дизайнера, в данном случае — сайта. Человеческую реакцию изучает такая область ИТ разработки, как тестирование [9]. В данном случае нас в исследованиях будет интересовать тестирование юзабилити и тестирование интерфейсов. Это два различных вида тестирования. Их предпочитают проводить методом черного ящика (хотя часть процессов может быть автоматизирована для удешевления процессов тестирования, автоматизацию мы рассматривать не будем, потому что она проводится на больших объемах материала, который предполагает большие проекты, запущенные и работающие в интернете). Метод черного ящика в тестировании изучает реакции пользователя, не знакомого с внутренней механикой работы сайта.

Второй группой критериев проверки качества UI/UX сайтов будет когнитивная составляющая восприятия дизайна. Она тоже основана на человеческом факторе и ориентирована на человека-пользователя. Она незначительно изменилась с появлением новой формации пользователей,

воспитанных в эру технологий. Сейчас её используют, как основу обучения дизайнеров, в том числе и дизайнеров интерфейсов. Это художественная теория. Устройство человеческого глаза, работа рук и восприятие визуальной информации слишком медленно меняется, чтобы художественная теория перестала быть применимой в качестве оценочного аппарата к визуальным средам, таким, как дизайн интерфейса. К ней добавляются исследования когнитивной психологии, такие, как восприятие информации всем телом.

6. Формализация оценки качества на основе научного метода познания

Это, пожалуй, самая сложная часть в приложении к отрасли, опирающейся на гуманитарные исследования [10]. Исходя из наблюдений за действиями пользователей, сформировались некоторые своды правил юзабилити интерфейсов сайтов. Например, правило 7+2, основывающееся на разработках когнитивной психологии: человек способен держать в кратковременной памяти не более 5-9 сущностей. Поэтому не следует размещать в навигации больше 7 пунктов. Однако эти правила, опирающиеся на психологию теории восприятия и художественную теорию, не являются чем-то фундаментальным. Несмотря на то, что мы указывали на медленное изменение человеческого сознания (благодаря которому работают принципы художественной теории, они являются применимыми в разработке дизайнов интерфейсов), человечество всё же меняется. Эти правила юзабилити, они не формализуемы. Не существует точных формул красоты или гармонии. Золотое сечение в ряде случаев даёт сбой на практике. Иначе не было бы эпохи модерна в дизайне полиграфии, и мы бы до сих пор читали бы книги в одинаковом, ренессансном формате, набранные антиквой.

Как же формализовать оценочную составляющую, критерии подхода к качеству юзабилити интерфейсов? Мнение части ведущих украинских дизайнеров по этому вопросу сводится к одному — постоянной проверке пользователем, а точнее — всем социумом. Социальная составляющая дизайна, в том числе интерфейсов, изучена мало (по причине слишком стремительного развития отрасли дизайна). Потому сейчас активно нарабатывается практическая база: курсы дизайна переориентируются на работу с человеческой составляющей, меняется сама суть преподавания, предмет составляют уже не методики работы или изучение программ, а пользователи, взаимодействие с ними, коммуникация и влияние дизайнера на продукт дизайна.

Выводы

Таким образом, на основе исследований характера взаимодействия пользователя с интерфейсом веб-приложения, можно констатировать следующее:

– экономический эффект от улучшения эргономичности пользовательских интерфейсов определяется как совокупность эффектов от улучшений в технической, целевой и социальной составляющих;

– оценку юзабилити можно рассматривать как многокритериальную задачу, опирающуюся на результаты пользовательского тестирования.

Список литературы: 1. *Свиридов, В. А.* Человеческий фактор [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www/ URL : http://nafanin.deda.ru/human-factor/human-factor-spreads.pdf](http://nafanin.deda.ru/human-factor/human-factor-spreads.pdf) – 2013. – Загл. с экрана. 2. *Э. Гоффлер, Футурошок, М.:* АСТ, 2008. – 560 с. 3. Контент-маркетинг – какова идеальная длина заголовка? // [lpgenerator.ru: информ.-справочный портал](http://lpgenerator.ru/информ.-справочный-портал). 2011–2017. Режим доступа: [www/ URL: http://lpgenerator.ru/blog/2014/04/12/kontent-marketing-kakova-idealnaya-dlina-zagolovka](http://lpgenerator.ru/blog/2014/04/12/kontent-marketing-kakova-idealnaya-dlina-zagolovka) (дата обращения: 24.03.2017) – Загл. с экрана. 4. *Джеф Раскин.* Интерфейс: новые направления в проектировании компьютерных систем. М.: Символ-Плюс, 2004. – 272 с. 5. *Vitaly Friedman, 30 Usability Issues To Be Aware Of* // Режим доступа: [www/. URL: http://www.smashingmagazine.com/](http://www.smashingmagazine.com/), 2007. (дата обращения: 24.03.2017) – Загл. с экрана. 6. *Стив Круг.* Не заставляйте меня думать! – М.: Эксмо-Пресс, 2017. – 256 с. 7. *Дональд А. Норманн.* Дизайн привычных вещей: Пер. с англ. – М.: Изд. дом “Вильямс”, 2006. – 384 с. 8. *Human-Centered Design: an Introduction.* Обзор и программа курса. // Coursera Inc информ.-справочный портал. Режим доступа: [www/ URL: https://ru.coursera.org/learn/human-computer-interaction](https://ru.coursera.org/learn/human-computer-interaction) (дата обращения: 24.03.2017) – Загл. с экрана. 9. *Tom Tullis, Bill Albert* Measuring the User Experience: Collecting, Analyzing, and Presenting Usability Metrics, 2008. 10. *Naveed Ahmad Aimal Rextin Um E Kulsoom.* Perspectives on usability guidelines for smartphone applications: an empirical investigation and systematic literature review. Information and Software Technology. Available online 10 October 2017.

Resume

V.P. Manakov, E.A. Biziuk, A.V. Biziuk RESEARCH OF FORMAL ESTIMATES OF UI / UX SITES QUALITY

Background: Existing processes of development of sites give the main role to technical and working requirements. The introduction of user-oriented methods reduces financial and time development costs. The technical and economic effect

is determined by comparing costs on realization of management by ergonomics with savings, obtained during its implementation. The target effect is caused by the growth in the success of the target function implementation of the quality object during a certain time interval due to the establishment and implementation of ergonomic requirements. Evaluation of interfaces by users at different stages of site development allows identifying and eliminating errors in them, which leads to reduction in financial and time costs.

Materials and methods: The work uses a multi-criteria analysis of the quality of UI / UX with the identification of technical, target and social components. Currently, one of the most common systems is Ben Schneiderman's scoring system, the described model does not take into account all possible parameters, which can cause distortion of results and, therefore, requires adaptation in each specific case. In particular, the formalization of the new design methodology Human Centered Design and the emphasis on the social component of design can ultimately yield significant results. The human factor is considered fundamental in this approach to design, in contrast to the very common machine-oriented methodology of Machine Centered Design.

Results: Testing is one of the leading methodologies for assessing the quality of site interfaces design. During the research, the analysis of the used quality assessment systems for UI / UX sites was performed. The use of the social component in site evaluation is suggested, namely, the users' opinion as the product testers at different stages of development (A and B testing). To select criteria for evaluating usability criteria based on the cognitive component of the perception of design are proposed. These criteria are also based on the human factor and are oriented at the human-user. The formal generalization of the obtained estimates is based on statistical methods of data processing, but the specific of testing conditions make it possible to significantly reduce the survey base and speed up the time of obtaining the results.

Conclusion: The article proposes a generalized structure of a multi-criteria system for assessing the quality of UI / UX sites using formal methods for summarizing the opinions of end users. The testing is based on the processing and adaptation for a specific task of UI guides - guides or guides for interfaces implemented by the firm-developer. The main assessment of the quality of usability is the opinion of users obtained by the questionnaire method on compliance with guides. The main goal of improving usability is considered to be the economic effect, which expresses an increase in the usability of the site.

Поступила в редколлегию 06.09.2017

УДК 004.054

О.О. Макогон¹, А.В. Вовк¹, В.Ф. Ткаченко¹¹ХНУРЭ, г. Харьков, Украина, makogon261995@mail.ru

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОЦЕНИВАНИЯ ВЕБ-САЙТА СРЕДСТВАМИ ЭКСПЕРИМЕНТА

Работа посвящена выбору группы критериев оценки качества сайта, которые могут использовать технические специалисты для уменьшения время затрат в процессе разработки и тестирования. Проанализированы особенности появления веб-страницы на определенной позиции в поисковой системе. Собрана фокус-группа для выбора альтернатив, проведено исследование методом экспертной оценки и проанализированы полученные результаты. Определены и систематизированы критерии оценки, что позволяет дать количественную оценку веб-ресурсам.

ИНТЕРНЕТ, САЙТ, ВЕБ-СТРАНИЦА, ИНТЕРФЕЙС, ЭКСПЕРИМЕНТ, ЭКСПЕРТ, КРИТЕРИЙ, АЛЬТЕРНАТИВА.

Макогон О.О., Вовк О.В., Ткаченко В.Ф. Розробка методики оцінювання веб-сайта засобами експерименту. Робота присвячена вибору групи критеріїв оцінки якості сайту, які можуть використовувати технічні спеціалісти для зменшення затрат часу в процесі розробки та тестування. Проаналізовані особливості з'явлення веб-сторінки на визначеній позиції в пошуковій системі. Зібрана фокус-група для вибору альтернатив, проведено дослідження методом експертної оцінки, та проаналізовані отримані результати. Визначені та систематизовані критерії оцінки, що дозволяє надавати кількісну оцінку веб-ресурсам.

ИНТЕРНЕТ, САЙТ, ВЕБ-СТОРИНКА, ИНТЕРФЕЙС, ЕКСПЕРИМЕНТ, ЕКСПЕРТ, КРИТЕРИЙ, АЛЬТЕРНАТИВА.

Makogon O. O., Vovk O. V., Tkachenko V. P. Developing a method for evaluating a web site by means of an experiment. The work is devoted to the selection of a group of site quality evaluation criteria that technical experts can use to reduce the time spent in the development and testing process. The peculiarities of appearance of a web page on a certain position in the search system are analyzed. A focus group was selected to select alternatives, a peer review was conducted and the results were analyzed. The evaluation criteria are determined and systematized, which allows to give a quantitative estimate of web resources.

INTERNET, SITE, WEB-PAGE, INTERFACE, EXPERIMENT, EXPERT, CRITERION, ALTERNATIVE.

Введение

Чем выше позиция веб-сайта в поисковой системе, тем больше вероятность, что пользователь посетит сайт, поскольку по статистике Google за 2016 г. примерно 99,9% заходит по первым трем ссылкам по результатам выданной поисковой системой, далее количество посетителей стремится к уменьшению – до десятой ссылки первой страницы выдачи добиваются 20–30% пользователей. На вторую страницу выдачи поисковой системы заходят 10–20%. По данной статистике можно сказать, что для любого веб-сайта желательно попасть в первую десятку поисковой выдачи. На сегодняшний день, сайтов-конкурентов достаточно много [1].

Для привлечения пользователя на веб-страницу необходима ее качественная реализация. Создание веб-документа напрямую зависит от разработанного пользовательского интерфейса (UI/UX), т.е. в каком виде информация будет представлена конечному пользователю; от того, насколько пользовательский интерфейс будет функционален, понятен и удобен пользователю.

1. Постановка задачи

Актуальность выбранной темы заключается в следующем. В настоящее время существует

большое количество инструментальных средств для разработки интерфейса сайта, поддерживающих различные методы его реализации. Однако отсутствует общепринятый набор критериев, по которым можно оценить его качество, что затрудняет сравнение существующих веб-сайтов между собой.

Целью работы является выбор группы критериев качества сайта, для уменьшения затрат времени в процессе разработки и тестирования веб-сайтов.

Задачей исследования является уточнение и систематизирование критериев оценки Интернет ресурсов с помощью группы экспертов.

2. Составление плана проведения исследования

Любое исследование начинается с составления плана исследования (или программы исследования). Планирование исследования необходимо для обоснования выбора критериев оценивания качества пользовательского интерфейса, проведения эксперимента и обработки экспериментальных данных.

План исследования – это группа показателей, включающих последовательные действия для достижения поставленной цели исследования [2].

Планирование эксперимента включает ряд этапов:

- установление цели эксперимента (целью данного исследования является уточнение набора критериев для оценки просматриваемой веб-страницы);

- выявление и выбор критериев оценивания;
- уточнение условий проведения эксперимента (эксперимент проводится в соответствии с протоколом, а также документом, в котором необходимо указать балл каждому критерию);

- установление точности результатов измерений с помощью метода сравнения альтернатив, метод будет использоваться для сравнения критериев в принятии решения. С учетом этого обстоятельства, каждой альтернативе присуждается свой балл (баллы экспертов), в значение которого входит характер возможных последствий принятого решения. Оценка каждой альтернативы осуществлена в отношении каждого из критериев по порядковой (ранговой) шкале.

План исследования:

- определение набора критериев для оценки;
- составление документации проведения исследования;
- набор группы экспертов;
- проведение эксперимента;
- анализ полученных данных.

3. Описание методики проведения исследования

Методы планирования эксперимента позволяют минимизировать число необходимых испытаний, установить рациональный порядок и условия проведения исследований в зависимости от их вида и требуемой точности результатов [3].

Методология эксперимента – это общая структура эксперимента, т.е. постановка и последовательность выполнения экспериментальных исследований [4].

Методики проведения эксперимента:

- для определения набора критериев оценки сайта используется метод фокус-групп. В группу входят обычные пользователи интернет ресурсов и квалифицированные специалисты – тестировщики программных продуктов. Численность группы составила 8 участников;

- экспертная оценка будет использоваться для оценки выбранных критериев. В группе экспертов будут люди, имеющие опыт в тестировании и разработки пользовательских интерфейсов; экспертная оценка будет проводиться заочно согласно с сопровождающей документацией. Оценивание выбранных критериев будет проходить по заранее подготовленной шкале оценки критериев;

- метод сравнения альтернатив – данный метод будет использоваться для сравнения альтернатив (критериев) в принятии решения. Каждой альтернативе присуждается свой балл. Оценка каждой альтернативы осуществлена в отношении каждого из критериев по ранговой шкале.

4. Выбор и обоснование критериев оценки качества

Критерий оценивания – это средство оценивания, содержащее список критериев оценки задания. Критерий оценивания разбивает назначенную работу на отдельные части и описывает особенности выполнения каждой из частей в зависимости от уровня сложности [5].

Оценка сайта начинается с самого главного критерия – видимость веб-документа поисковой системой. Поскольку главной задачей интернет ресурса является предоставление пользователю данных.

По результатам собрания фокус-группы были определены группы критериев оценки качества сайта, а именно:

- внешний вид;
- структура и навигация;
- контент (содержание);
- простота;
- юзабилити.

После проведен конструктивный разбор данных групп из чего следует:

- внешний вид веб-документа выдвигается на первый план, поскольку дизайн веб-сайта является главным и чаще всего единственным критерием его качества;

- структура и навигация под этим понимается управление контентом (содержанием) веб-страницы, а также различных сервисов. Например, «корзина заказа», «поиска», «форма регистрации пользователя и т.д. Функциональность сайта должна быть простой и удобной, так как работать с ней будут простые пользователи ПК, которые могут ничего не знать про Web-дизайн и HTML;

- простота веб-сайта подразумевает визуальные стили, такие как блокировки цвета или большие фотографии, и функциональные тенденции, такие как инновационные навигационные структуры, все они могут быть объединены с методами и целями, стоящими за простым дизайном;

- основным критерием оценки качества является удобство использования веб-страницы (usability). С помощью дружественного по отношению к пользователям сайта можно завоевать их доверие, а плохой сайт может его только подорвать.

Многочисленные исследования показали, что сайты, которые созданы в соответствии с правилами юзабилити, наиболее популярны и имеют более высокую статистику посещений.

Таким образом, можно сделать вывод, что навигация по веб-сайту должна быть простой и удобной, веб-страницы должны загружаться быстро. Например, если происходит процесс, требующий времени, такой как загрузка изображения, правильным будет выводить статус-бар (прелоадер), чтобы пользователь понимал, что сайт не завис, а идет загрузка.

Были выбраны критерии оценивания сайта:

- время загрузки;

- единый стиль оформления (цвет, шрифты, графика);
- количество кликов для достижения конечной страницы сайта – не более 3-х;
- удовлетворит ли сайт целевую аудиторию;
- сбалансирован макет страницы и не перегружен он информацией;
- качественна ли графика и сочетается она с остальными составляющими веб-документа;
- не мешает графика воспринимать информацию;
- читабельность текста;
- сливается ли текст с фоном;
- доступность обратной связи;
- расположение навигации одинаково от страницы к странице;
- правильность работы ссылок;
- понятно ли пользователю, куда ведут ссылки;
- простота использования навигации;
- присутствуют тупиковые страницы;
- присутствие всплывающих подсказок;
- присутствие лишних или пустых страниц на сайте;
- возможность вернуться на предыдущий уровень;
- соответствие основной информации назначению сайта;
- наличие ошибок в тексте;
- достоверность информации;
- наличие поиска;
- работа сайта во всех браузерах;
- адаптивность сайта;
- наличие форм регистрации и правильность их работы (если присутствует на сайте);
- функция отключения музыки (если необходимо);
- возможность использования сайта пользователями с ограниченными возможностями.

5. Проведение эксперимента

Экспертное оценивание – процедура получения оценки проблемы на основе мнения специалистов (экспертов) с целью последующего принятия решения (выбора) [6, 7].

Эксперты должны обладать опытом в области разработки и тестирования веб-сайтов. При подборе экспертов учтён момент личной заинтересованности. При наборе экспертов воспользовались методом Шара, когда один эксперт, наиболее уважаемый специалист, порекомендовал ряд других [8].

В группу было набрано 10 экспертов разной возрастной категории, половина из которых занимается разработкой веб-ресурсов, иная половина занимается процессом тестирования веб-сайта.

Эксперимент проводился заочно, и результаты представлены в табл. 1.

6. Экспериментальная часть

Экспертное оценивание предполагает создание некоего разума, обладающего большими способностями по сравнению с возможностями отдельного человека [10, 11].

Экспертный подход позволяет решать задачи, не поддающиеся решению обычным аналитическим способом. Проверка согласованности мнений экспертов при оценке объектов проведена при помощи ранжирования.

В данной задаче используется более 2-х альтернатив, поэтому используется коэффициент конкордации Кендалла [10], определяемый по формуле:

$$W = \frac{12 \cdot S}{m^2 \cdot (n^3 - n)}, \quad (1)$$

где $m = 10$ – количество экспертов; $n = 31$ – количество альтернатив; S – среднеквадратическое отклонение всех оценок рангов, каждой альтернативы от среднего значения и определяется по формуле:

$$S = (d_i - \bar{d})^2, \quad (2)$$

где d_i – сумма рангов i -ого показателя по всем экспертам, определяется по формуле:

$$d_i = \sum r_{ij}, \quad (3)$$

r_{ij} – сумма рангов i -ого показателя определенного j -ым экспертом; \bar{d} – усредненное значение альтернатив:

$$\bar{d} = \frac{n(n+1)}{2}. \quad (4)$$

Решение:

$$d_i = 10,$$

$$\bar{d} = \frac{31 \cdot (31+1)}{2} = 496,$$

$$S = (10 - 496)^2 = 486^2 = 236196.$$

Определяем коэффициент конкордации:

$$W = \frac{12 \cdot 236196}{10^2 \cdot (31^3 - 31)} = \frac{2834352}{2976000} = 0,9524.$$

Значение коэффициента конкордации лежит в пределах [0;1]:

- 0 – отсутствие согласованности экспертов;
- 1 – полная согласованность экспертов.

Полученное значение коэффициента конкордации 0,9524 из чего можно сделать вывод, что эксперты согласованы.

В табл. 2 представлены альтернативы и их суммарный балл от максимального к минимальному.

В процессе проведения анализа экспертных оценок выявлено, что оценки экспертов согласованы, откуда следует, что при оценке альтернатив исследования эксперты сходятся во мнении. Можно сделать вывод, что исследование прошло удачно и результаты экспертизы можно использовать в сфере тестирования веб-сайтов.

Коэффициент конкордации $W=0,9524$ стремится к единице, из чего следует, что альтернативы (критерии) имеют влияние друг на друга, а значит, заседание фокус-группы при выборе критериев также прошло успешно.

По результатам исследования можно выделить группу таких критериев оценки качества сайта, балл которых выше 70, а именно по таким критериям можно оценить веб-ресурс в сети Интернет.

Таблица 1

Оценки экспертов

Альтернатива	Эксперты									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Оправдывает ли себя время загрузки страницы?	9	9	10	10	9	10	9	9	9	10
Выдержаны ли цвета, шрифты, графика в едином стиле	7	7	8	8	6	8	8	6	7	7
Для того, чтобы найти нужную информацию, пользователю приходится делать не более 3х кликов?	8	8	10	9	8	9	9	8	8	8
Удовлетворит ли сайт целевую аудиторию?	10	9	10	9	9	10	9	9	10	9
Сбалансирован ли макет страницы и не перегружена ли она информацией (особенно касается главных страниц)?	6	6	5	7	6	5	7	6	6	6
Качественна ли графика и сочетается ли она с остальными составляющими страницы?	4	5	3	5	4	4	5	4	4	5
Не мешает ли графика пользователю воспринимать информацию?	8	8	9	8	7	8	8	7	8	8
Не «режут» ли цвета сайта глаза?	7	6	6	7	7	7	7	7	7	6
Легко ли читается текст?	10	10	10	9	10	10	9	10	10	10
Не сливается ли текст с фоном?	9	10	10	9	10	10	9	10	9	10
Доступна ли обратная связь?	4	6	5	4	5	5	4	5	4	6
Расположена ли навигация в одном и том же месте на всех страницах?	9	9	10	8	10	9	8	10	9	9
Все ли ссылки работают верно?	10	9	10	9	10	10	9	10	10	9
Есть ли в навигации ссылка обратной связи?	7	7	6	7	7	7	7	7	7	7
Просто ли использовать навигацию?	8	9	10	7	9	10	7	9	8	9
Нет ли тупиковых страниц?	8	6	6	9	7	8	9	7	8	6
Понятно ли пользователю, куда ведут ссылки?	10	7	9	10	9	9	10	9	10	7
Позволяет ли навигация вернуться на предыдущие подуровни?	9	8	8	7	9	8	7	9	9	8
Если в навигации использованы иконки, то есть ли к ним текстовое пояснение или всплывающие подсказки?	9	9	8	10	9	8	10	9	9	9
Понятно ли предназначение каждой страницы? Нет ли лишних?	5	6	5	5	5	5	5	5	5	6
Отражает ли содержание назначение сайта?	9	8	10	9	9	9	9	9	9	8
Удовлетворит ли контент пользователя?	9	7	8	8	8	8	8	8	9	7
Есть ли грамматические или синтаксические ошибки?	8	7	7	9	8	7	9	8	8	7
Достоверна ли информация?	9	6	9	8	10	8	8	10	9	6
Если сайт располагает большим количеством информации, то предусмотрен ли поиск?	5	6	7	7	8	5	7	8	5	6
Работает ли сайт на всех платформах и браузерах?	8	7	8	7	8	8	7	8	8	7
Можно ли просматривать сайт на разных разрешениях?	8	7	8	9	8	8	9	8	8	7
Если есть формы, то организованы ли они логически?	5	5	6	6	6	6	6	6	5	5
Все ли компоненты сайта функционируют корректно?	9	8	9	8	8	8	8	8	9	8
Могут ли люди с ограниченными возможностями просматривать сайт?	5	3	4	3	4	4	3	4	5	3
Есть ли функция отключения музыки?	10	9	10	10	10	10	10	10	10	9
Сумма	242	227	244	241	243	241	240	243	242	228

Выводы

В данной статье рассмотрены поисковые системы, основной целью которых является предоставление своим пользователям качественной информации. Для того, чтобы повысить качество обработки сайтов, разрабатывают стандарты и спецификации, в соответствии с которыми ведется обработка, предоставляют определенную справочную информацию и сервисы веб-мастерам для оценки качества сайта и устранения проблем индексации.

Была определена группа критериев, которые дают возможность количественно оценить интернет ресурс и сделать вывод о качестве его выполнения.

В работе данные критерии будут использоваться в виде списка, которым присуждается три вида оценок:

- «-1» – не соответствует критерию;
- «0» – требует доработки;
- «+1» – полностью соответствует критерию.

После того как специалист по тестированию выставит оценки альтернативам можно будет сказать о качестве тестируемого сайта, а именно:

– если оценка со знаком минус, то сайт необходимо отправить в отдел разработки для полного пересмотра;

– если оценка находится в пределах от 0 до 6 баллов, то тестирующему необходимо составить список замечаний после отправить сайт в отдел разработки на доработку;

– если оценка выше 6 баллов, то данный сайт можно подвергать более тщательному тестированию с помощью специальных тест-кейсов.

Данная система позволит сократить время тестирования сайта на ранних этапах.

Результат эксперимента	
Альтернатива	Сумма
Легко ли читается текст?	98
Есть ли функция отключения музыки?	98
Не сливается ли текст с фоном?	96
Все ли ссылки работают верно?	96
Оправдывает ли себя время загрузки страницы?	94
Удовлетворяет ли сайт целевую аудиторию?	94
Расположена ли навигация в одном и том же месте на всех страницах?	91
Понятно ли куда ведут ссылки?	90
Если в навигации использованы иконки, то есть ли к ним текстовое пояснение или всплывающие подсказки?	90
Отражает ли содержание назначение сайта?	89
Просто ли использовать навигацию?	86
Для того чтобы найти нужную информацию, пользователю приходится делать не более 3х кликов?	85
Достоверна ли информация?	83
Все ли компоненты сайта функционируют корректно?	83
Позволяет ли навигация вернуться на предыдущие подуровни?	82
Удовлетворит ли контент пользователя?	80
Можно ли просматривать сайт на разных разрешениях?	80
Не мешает ли графика пользователю воспринимать информацию?	79
Есть ли грамматические или синтаксические ошибки?	78
Работает ли сайт на всех платформах и браузерах?	76
Нет ли тупиковых страниц?	74
Выдержаны ли цвета, шрифты, графика в едином стиле	72
Есть ли в навигации ссылка обратной связи?	69
Не «режут» ли цвета сайта глаза?	67
Если сайт располагает большим количеством информации, то предусмотрен ли поиск?	64
Сбалансирован ли макет страницы и не перегружена ли она информацией (особенно касается главных страниц)?	60
Если есть формы, то организованы ли они логически?	56
Понятно ли предназначение каждой страницы? Нет ли лишних?	52
Доступна ли обратная связь?	48
Качественна ли графика и сочетается ли она с остальными составляющими страницы?	43
Могут ли люди с ограниченными возможностями просматривать сайт?	38

Список литературы: 1. Google. Аналитика. – Режим доступа: www.thinkwithgoogle.com/intl/ru-ru/research. 2. Коротков, Э.М. Исследование систем управления / Э.М. Коротков. – М: ДеКА, 2000. – 183 с. 3. Дубровин, И.А. Бизнес-планирование на предприятии / И.А. Дубровин. – Киев, 2013. – 431 с. 4. Баскаков, А.Я. Методология научного исследования / А.Я. Баскаков, Н.В. Туленков. – Киев, 2004 – 216 с. 5. Шуленин, В.П. Параметрическая статистика / В.П. Шуленин. – Изд-во НТЛ, 2012. – 540 с. 6. Монсик, В.Б. Вероятность и статистика / В.Б. Монсик, А.А. Скрынникова. – Бинум, лаборатория знаний, 2015. – 384 с. 7. Первичные документы. – Режим доступа: <http://ecouniver.com/main/pervizka>. 8. Hasan, L. Using university ranking systems to predict usability of university websites / L. Hasan // JISTEM – Journal of Information Systems and Technology Management. – 2013. – Vol. 10, No.2. – P. 235-250. 9. Азгальдов, Г.Г. Экспертные методы в оценке качества товаров / Г.Г. Азгальдов, Э.П. Райхман. – М.: Экономика, 1974. – 151 с. 10. Sengel, E. Usability Level of a University Web Site // E. Sengel // Procedia – Social and Behavioral Sciences. – 2013. – № 106. – P. 3246-3252. 11. Шербак, А.П. Математико-статистическая обработка материалов научной и методической деятельности / А.П. Шербак. – Филлиал ГОУ ВПО ЯГПУ им. К.Д. Ушинского, 2007. – 381 с.

Resume

O.O. Makogon, O.V. Vovk, V.P. Tkachenko
Developing a method for evaluating a web site
by means of an experiment

Background: Web site testing plays a big role in creating Internet resources. This is due to the fact that before the

product enters the market it is necessary to determine the correctness of the site operation, the relevance of the content and the product's compliance with all the requirements of the technical task. These aspects affect the quality of the created site and its future position in the SERP (relevance).

Materials and methods: A number of methods are used in this paper, namely the method of determining alternatives by means of focus group, the method of the Ball for a set of experts, and also the method of ranking by means of the Kendall concordance coefficient. Using the method of ranking, it is possible to mathematically explain the correctness of the expert evaluation, which makes it possible to use the experimental results obtained.

Results: The article examines the choice of alternatives to assess the quality of the Internet resource. The statistics of Google 2016 are given, on the basis of which the peculiarities of the appearance of Internet links on a certain position of the search system are discovered. A plan and methodology for the experiment were developed. Evaluations of experts were obtained and analyzed, which allows to conclude that the experiment was successful and the data obtained can be used in the testing of web sites.

Conclusion: The system of testing is proposed. The system assumes a list of alternatives when evaluating which from -1 to +1 it is possible to identify weaknesses in the design and refine them. When using such a system, before starting the technical testing, it will reduce the time at the initial stages.

Поступила в редколлегию 15.09.2017

УДК 655.004



О.В. Григор'єв, Н.О. Молчанова, О.В. Григор'єва
 ХНУРЕ, м. Харків, Україна, oleksandr.hryhoryev@nure.ua;
 ХНУРЕ, м. Харків, Україна, ldancing95@gmail.com;
 ХНУРЕ, м. Харків, Україна, grigoryeva_ov@i.ua

РОЗРОБКА ПРОГРАМ-ТРЕНАЖЕРІВ ДЛЯ УСУНЕННЯ ДЕФЕКТІВ ПРИ ДРУЦІ НА АРКУШЕВИХ МАШИНАХ

Проведено аналіз підготовки студентів спеціальності 186 «Виготовлення подарунків і сувенірів» з дисциплін «Технологія і обладнання друкарських і післядрукарських процесів» і «Експлуатація поліграфічного обладнання». Розглянуто можливість підвищення якості підготовки студентів за рахунок використання в процесі навчання програм-тренажерів для пошуку, встановлення та усунення причин, що викликають дефекти при друкуванні на офсетних листових машинах. Розроблено методику підготовки студентів за їх участю в створенні програмно-тренажерних комплексів.

ПРОГРАМА-ТРЕНАЖЕР, ТЕХНОЛОГІЯ ДРУКУВАННЯ, ОФСЕТНА ЛИСТОВА МАШИНА, ДЕФЕКТ, АНАЛІЗ, ПОШУК, УСУНЕННЯ І ПОПЕРЕДЖЕННЯ ДЕФЕКТІВ, ЕКСПЛУАТАЦІЯ УСТАТКУВАННЯ

А.В. Григорьев, Н.А. Молчанова, О.В. Григорьева. Разработка программ-тренажеров для устранения дефектов при печати на листовых машинах. Проведен анализ подготовки студентов специальности 186 «Издательство и полиграфия» по дисциплинам «Технология и оборудование печатных и послепечатных процессов» и «Эксплуатация полиграфического оборудования». Рассмотрена возможность повышения качества подготовки студентов за счет использования в процессе обучения программ-тренажеров для поиска, установления и устранения причин, вызывающих дефекты при печатании на офсетных листовых машинах. Разработана методика подготовки студентов с их участием в создании программно-тренажерных комплексов.

ПРОГРАММА-ТРЕНАЖЕР, ТЕХНОЛОГИЯ ПЕЧАТАНИЯ, ОФСЕТНАЯ ЛИСТОВАЯ МАШИНА, ДЕФЕКТ, АНАЛИЗ, ПОИСК, УСТРАНЕНИЕ И ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ ДЕФЕКТОВ, ЭКСПЛУАТАЦИЯ ОБОРУДОВАНИЯ

Grigoriev A.V., Molchanova N.A., Grigorieva O.V. Development of training programs to eliminate defects in printing on sheet machines. The analysis of preparation of students of specialty 186 "Publishing and polygraphy" on disciplines "Technology and the equipment of printing and poslepechatnyh processes" and "Operation of the polygraphic equipment" is carried out. The possibility of improving the quality of students' training through the use of training programs in the learning process for identifying, fixing and eliminating the causes of defects in printing on offset sheet machines is considered. A methodology for training students with their participation in the creation of software and training systems was developed.

PROGRAM-SIMULATOR, PRINTING TECHNOLOGY, OFFSHORE SHEET MACHINE, DEFECT, ANALYSIS, SEARCH, REMEDY AND PREVENTION OF DEFECTS, OPERATION OF EQUIPMENT

Вступ

Рівень теоретичної та практичної підготовки випускників визначає терміни освоєння ними технологій друкування в конкретних умовах на діючих підприємствах. Одним з ефективних шляхів підготовки студентів, а саме, засвоєння теоретичних знань та набуття практичних навичок є навчання за допомогою програм-тренажерів, в основу яких закладено формування теоретичних знань для аналізу дефектів, що зустрічаються при друкуванні на листових друкованих машинах і теоретико-практичних знань для встановлення і усунення причин, що викликають ці дефекти. Це дозволяє придбати студентам стійкі знання в області засвоєння теорії і практики якісного друкування на листових офсетних машинах.

1. Аналіз стану і перспективи підготовки студентів

Проблема використання програм-тренажерів в навчальному процесі для підвищення рівня теоретичних знань і практичних навичок студентів

розглядалася в роботах [1], [2] і [3]. Робота [1] присвячена побудові структур тренажерів для навчання студентів і охочих послідовності дій, необхідних для підготовки листової друкарської машини до роботи. Робота [2] включає основи формування знань і теоретичних навичок з експлуатації та обслуговування листових друкованих машин. Робота [3] детально описує процес формування програм-тренажерів з залученням самих студентів і їх застосування в процесі навчання.

Дані розробки знайшли своє втілення в бланкових тестах, які були випробувані при проведенні лабораторних робіт з дисциплін «Технологія і обладнання друкарських і післядрукарських процесів» і «Експлуатація поліграфічного обладнання» серед студентів 4-го курсу. Це дозволило встановити шляхи подальшого розвитку даного напрямку. По-перше, необхідно розвивати концепцію залучення студентів до розробки програм-тренажерів не тільки для листових, але і для рулонних офсетних друкарських машин. По-друге, залучати

студентів до розробки програм-тренажерів і для друкарських машин, що реалізують інші способи друку, які в даний час користуються попитом на ринку поліграфічних послуг. По-третє, ще одним напрямком розробки програм-тренажерів має стати створення тренажерів, що дозволяють отримувати теоретичні знання з друкованим процесам і закріплювати їх теоретико-практичними навичками шляхом аналізу дефектів друку, встановлення і усунення їх причин. По-четверте, не дивлячись на малу ступінь автоматизації, в порівнянні з друкарським обладнанням, необхідно розвивати напрямком по створенню тренажерів для післядрукарського обладнання: різального, обладнання по комплектуванню зошитів, фальцевального, обладнання по скріпленню книжкового блоку різними способами, виготовлення перелітних кришок, по вставці блоків в палітурні кришки і т.п.

І, основним для всіх цих напрямків, в кінцевому підсумку, є необхідність наявності в основі будь-якого тренажера програмного забезпечення, що суттєво підвищить «реальність» сприйняття будь-якого обладнання. Наявність програмної складової дозволить з максимальною користю використовувати мережеву організацію та можливості для навчання, а також підвищити рівень розробок до комплексів, які можна буде використовувати для атестації професійних операторів поліграфічного обладнання на конкретному підприємстві, що діє. Це обумовлено тим, що програмна складова забезпечить можливість створення бази тренажерів-комплексів для різних видів устаткування і вибору, необхідного для тестування-навчання слухачів, обладнання наявного на підприємстві.

Однією з важливих областей застосування таких тренажерів-комплексів може стати підготовка студентів до написання і здачі курсових проектів і атестаційних робіт бакалаврів за напрямом – технологічні процеси виготовлення різноманітних видів поліграфічної продукції, обладнання, що використовується при цьому, його експлуатація та обслуговування.

2. Мета і завдання дослідження

Метою дослідження є розробка програми-тренажера для навчання студентів спеціальності «Видавництво і поліграфія» і всіх бажаючих, включаючи професійно підготовлених операторів листових друкованих машин, любителів і цікавляться студентів основам експлуатації та друкованого поліграфічного обладнання.

Особливістю дослідження є залучення, в першу чергу, самих студентів до розробки програми-тренажера в період написання дипломної роботи.

Об'єктом дослідження є процес формування глибоких і міцних практичних знань і умінь у студентів по експлуатації поліграфічного обладнання, а саме, листових офсетних друкарських машин.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити ряд завдань:

а) обґрунтувати необхідність і ефективність застосування програми-тренажера, в основі якої аналіз, пошук і усунення причин, що викликають появу дефектів при друкуванні;

б) проаналізувати можливість підвищення якості підготовки студентів за рахунок їх залучення до створення даної програми-тренажера;

в) розробити методику створення програми-тренажера;

г) розробити рекомендації щодо подальшого вдосконалення програм-тренажерів даного.

3. Обґрунтування необхідності і ефективності застосування програми-тренажера

До основних причин, що зумовлюють необхідність розробки даної програми-тренажера, можна віднести наступні:

а) тренажер дозволить заощадити матеріальні витрати, пов'язані з навчанням;

б) з'являється можливість створення за допомогою сучасних мультимедійних засобів не тільки статичного зображення обладнання і його панелі з органами управління, а й імітувати реальні процеси роботи вузлів і механізмів;

в) використання тренажера не вимагає його розташування на діючому підприємстві;

г) доступ до інформації, розміщеної в мережі Інтернет, дозволяє отримувати нові дані про дефекти друкування для різних листових машин, типів паперів, фарб і технологічних режимах роботи листових офсетних друкарських машин;

д) після аналізу видів друкарського обладнання, наявного на певному підприємстві і характеру дефектів, що виникають при друкуванні, можливе внесення цих даних в тренажер і застосування його для навчання та тестування рівня професійної підготовки операторів друкарських машин цього підприємства;

е) при роботі з тренажером, стажист, в обов'язковому порядку, знайомиться з питаннями забезпечення безпеки праці при роботі на обладнанні;

ж) можливість вибирати режим роботи тренажера: повне послідовне тестування; вибіркове тестування за допомогою одного з компонентів, що входять до складу друкарської машини;

і) програмне забезпечення, закладене в основу тренажера, визначає коло і рівень вирішуваних завдань з підготовки стажистів.

Позитивний ефект від використання програми-тренажера обумовлений такими факторами:

а) на перших порах, стажист, працюючи з тренажером сприймає друкарську машину як деякий об'єкт комп'ютерної гри, який в разі невдачі дозволяє почати «гру» – тестування наново, а не отримати невтішні висновки керівництва про свою роботу;

б) освоївши тренажер – за характером одержуваних оцінок, який навчається проходить тестування з усіх систем друкарської машини і автоматично отримує висновок про свої досягнення;

в) аналіз результатів тестування виявляє «слабкі місця» в отриманих знаннях і навичках, на які стажист звертає пильнішу увагу при подальшому тестуванні;

г) виконавши успішно всі завдання програми-тренажера, випускник усвідомлено і в короткі терміни зможе адаптуватися на виробництві.

4. Підвищення якості підготовки студентів шляхом їх участі у створенні програми-тренажера

Активізація роботи студентів під час навчання має першорядне значення. Одним із шляхів вирішення проблеми є пошук нових технологій навчання. Одним з напрямків активізації роботи студентів є їх участь в розробці програм-тренажерів. Об'єктивними факторами, які підтверджують правильність обраного напрямку, є:

а) безпосередній виконавець роботи пам'ятає її суть краще за всіх інших;

б) виконавці-студенти, об'єднані в групи розробників програмно-тренажерних комплексів для різних систем одного виду обладнання, створюють комплект програм-тренажерів, що дозволяють вивчити машину цілком;

в) перевірку коректності працездатності програмно-тренажерних комплексів слід доручити різним групам розробників, що прискорить формування цілісних знань їх самих про всі системи машини;

г) виявлення при тестуванні недоліки необхідно проаналізувати, залучаючи профільних фахівців підприємств, самих студентів і викладачів, і виправити;

д) студенти-розробники реально створених програмно-тренажерних комплексів є безпосередніми учасниками процесу навчання.

Такий підхід забезпечить отримання глибоких і міцних знань і теоретико-практичних навичок з експлуатації та обслуговування офсетних листових друкованих машин.

5. Розробка методики створення програм-тренажерів для експлуатації офсетних листових друкарських машин з урахуванням дефектів друкування

До початку розробки методики, доцільно встановити процеси, які присутні при випуску різної поліграфічної продукції.

До них відносяться: підготовка обладнання до роботи; виконання основних технологічних операцій; визначення дефектів друкування, їх аналіз, усунення та запобігання появи в подальшому.

Підготовка з інформатики студентів спеціальності «Видавництво і поліграфія» відповідно до навчального плану дає їм тільки ази програмування, що не дозволяє силами студентів розробити програми-тренажери з високим рівнем автоматизації.

У зв'язку з цим пропонується розробка програм-тренажерів на основі, так званого «блочного» підходу формування інформації, коли кожен блок призначає Він деякий етап навчання студентів.

Методика може застосовуватися для створення програм-тренажерів до будь-якого з встановлених вище процесів.

Спроба створення структури таких тренажерів робилася в дослідженнях [1, 2, 3]. Згідно з отриманими результатами і наведеними в цих джерелах даними, структура програми-тренажера для будь-якого, з описаних процесів експлуатації, повинна включати:

а) блок №1 – інформація про налагодження та приладданий розглянутого устаткування, про несправності, їх причини та способи усунення;

б) блок №2 – тестування для оцінки якості засвоєння матеріалів;

в) блок №3 – оцінка якості засвоєння матеріалів;

г) блок №4 – завдання для оцінки якості засвоєння матеріалів;

д) блок №5 – оцінка правильності виконаного завдання.

Методику створення програмно-тренажерних комплексів можна розділити на наступні етапи:

а) формування кожного із зазначених блоків;

б) розробка рекомендацій по використанню кожного з блоків.

Розглянемо процес формування кожного з блоків. Розробити тренажер з використанням спеціалізованого програмного забезпечення для студентів складно, тому на початковому етапі використовується «віконний» принцип – кожен блок формується у вигляді окремого вікна. Це дозволить приховати інформацію блоку №1 від студента під час тестування – блоку №2 та виконання, поставленого йому завдання – блоку №4. Цей же підхід дозволить проаналізувати студенту помилки, вивчаючи «вікно» блоку №3 і «вікна» блоку №5.

Розглянемо процес створення програми-тренажера для формування знань і умінь з підготовки обладнання до роботи на прикладі офсетного листового друкарської машини.

У складі блоку №1, розміщується така інформація: принцип дії і послідовність підготовки обладнання і його систем до роботи, можливі несправності та способи їх виправлення. Потім принцип дії кожного з пристроїв окремо і устаткування цілком подається в динаміці за допомогою відеофільмів і зображень. При формуванні матеріалів і в статичному і в динамічному вигляді повинні бути враховані вимоги щодо забезпечення безпечного виконання робіт. Побудова матеріалів повинно забезпечувати вільний доступ до будь-якого з них в будь-якій послідовності. Саме файлова організація даних дозволяє це забезпечити. Наприклад, розділ «Блок №1» – дані про обладнання, включає в вигляді переліку окремих файлів. Кожен з файлів включає дані про описані вище компонентах. Файли мають свої номери і шикуються в порядку подачі інформації, який пропонується для вивчення. Студент, відкривши цей розділ, повинен почати вивчення матеріалів в рекомендованій послідовності (згідно з номерами файлів), а при необхідності уточнити, яку-небудь інформацію – може «зберегти» файл, з яким працював, і звернутися до будь-якого файлу в даному розділі. Цей же принцип закладений в

організацію тренажера в цілому. Студент має доступ до всіх папок і всіх файлів.

Участь студентів у формуванні блоку №1 полягає в зборі інформації, представленій в статичному і динамічному вигляді під час проведення занять або на підприємствах, або в університеті, працюючи в Інтернеті, за наступними пунктами:

- а) опис пристроїв індикації підготовчих процесів на панелі управління машини;
- б) опис можливості впливу з панелі управління на процес підготовки машини до роботи;
- в) підготовка друкарської машини до роботи:
 - 1) підготовка матеріалів: паперу; фарби; зволожуючого розчину;
 - 2) підготовка аркушеживлюючої системи;
 - 3) підготовка аркушепровідної системи;
 - 4) підготовка друкованого апарату;
 - 5) підготовка фарбового апарату;
 - 6) підготовка зволожуючого апарату;
 - 7) підготовка аркушевивідної системи;
- г) опис показників готовності машини до роботи.

Наведений вище перелік систем машини визначає послідовністю формування відповідних файлів. При формуванні файлів студенти під керівництвом викладача повинні освоїти максимально ємне і короткий опис будь-якої операції з підготовки машини до роботи.

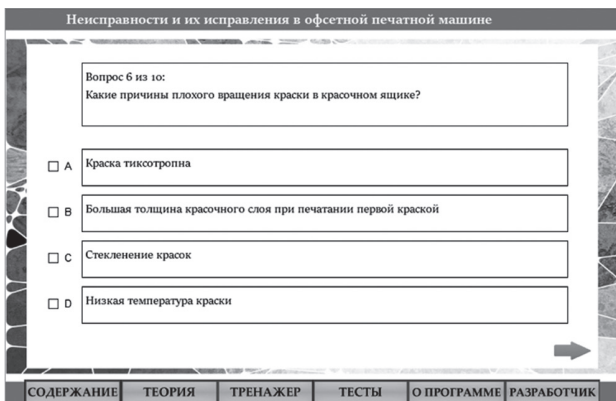


Рис. 1. Тестуюча система

Блок №2 містить перелік тестів для оцінки якості засвоєння матеріалу, який включено до складу блоку №1. Вимоги до формування завдань полягають в лаконічності і максимальної ясності – повинно бути повністю усунено двояке трактування завдання. У тестуючій системі стажист повинен вказати максимальну кількість причин розглянутого дефекту із загальної маси поданої йому інформації. Такий підхід дозволить сформулювати у нього уявлення про кожну з систем машини, можливі дефекти в системі, причини та способи їх виникнення та усунення. Файлова система дозволить студентам після первинного тестування самим визначати свої «слабкі» місця і вибирати тест для повторного тестування і відповідні їм матеріали з блоку №1.

Блок №3 містить інформацію про оцінку виконаних тестів. Особливістю його в порівнянні з блоком №1 та блоком №2 є «персоналізація»

даних – робота кожного студента з тестуючою системою повинна фіксуватися окремо. Для аналізу процесу навчання кожного зі студентів, доцільно кожну з його спроб тестування фіксувати в окремих файлах. Оцінювання результату підготовки на цьому етапі проводиться за кількістю обраних причин, а також по повторюваності результатів при неодноразовому проходженні даного тесту.

Таким чином, створюється система оцінювання, як коректності самого тесту, так і процесу засвоєння матеріалу, що дозволить при необхідності внести зміни в структуру і склад інформації тесту. Фактично в папці «Блок №3» міститься папка з персональними даними – прізвище, ім'я, по батькові, група. У цій папці студент при кожній роботі з тестом створює новий рядок з виконаним тестом.

Блок №4 дозволяє імітувати процеси, що протікають в досліджуваних реальних об'єктах. При цьому тренажер імітує не тільки реальну офсетну друкарську машину, але і об'єкти дослідження і умови роботи на друкарському обладнанні. Тренажер формується у вигляді файлів в такому порядку: вид обладнання; загальний принцип дії; принцип дії і підготовка обладнання до роботи; підготовка до роботи кожної з систем, що входять до складу обладнання із зазначенням виду індикації (або інших ознак) про стан готовності кожної з систем; опис можливості підготовкою до роботи систем з панелі управління машини, опис ознак готовності машини до роботи в цілому.



Рис. 2. «Вікно» тренажера

При роботі з тренажером складається перелік ситуацій-станів вузлів і механізмів машини, які можуть викликати дефекти друкування, і в відповідність їм ставляться дефекти; на другому етапі аналізуються виникають при експлуатації дефекти друкування, встановлюють їх причини, усувають їх і перевіряють результат – дефекти не повинні повторюватися. Це дозволяє скласти перелік можливих дефектів друкування і причин, усунення яких дозволив уникати дефектів або попереджати їх.

Тренажер має наступну структуру – на екрані монітора в постійному доступі короткий опис системи, що вивчається; далі йде набір «вікон», в кожному з яких вказані поля для введення даних, після «друкування» слід набір «вікон» вид дефекту і причини його виникнення. Працюючи з тренажером,

стажист знайомиться з описом системи, потім з дефектом, причинами його виникнення і визначає спосіб його усунення

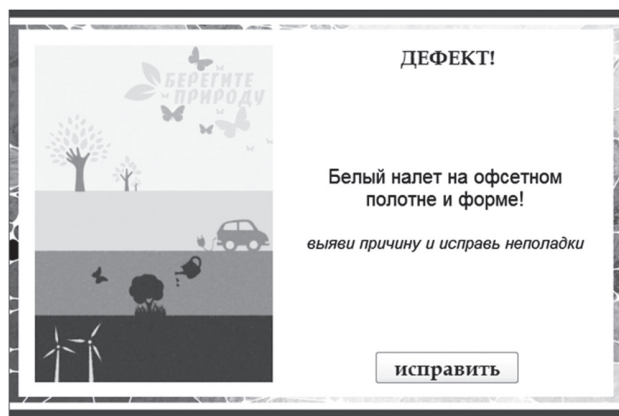


Рис. 3. «Вікно» дефект

Блок №5 формується викладачем в такому порядку: для кожного студента створюється персональна папка з файлами; на підставі аналізу інформації, що знаходиться в блоці №3 викладач створює файли з оцінкою кожної зі спроб роботи студента з тренажером, групує файли по «спробам», оцінює отримані результати і, складає рекомендації щодо повторного вивчення того чи іншого матеріалу, а також формує підсумкову оцінку знань і умінь студента на момент тестування. Для зменшення психологічного впливу на студента пропонується побудувати файл підсумкової оцінки у вигляді таблиці, що складається з двох стовпців – перший стовпець правильні відповіді, другий – відповіді студента при роботі з тренажером. Якщо доступ до файлу дозволити студенту, то він сам зможе встановити ступінь відповідності правильності своєї відповіді.

6. Рекомендації щодо вдосконалення програм-тренажерів

Основними напрямками вдосконалення програм-тренажерів слід вважати:

а) пряму підготовку фахівців – навчання класичним процесам підготовки студентів-стажерів – послідовна – за інструкцією – підготовка всіх вузлів і механізмів до друкування з мінімальними витратами на запуск друкування тиражу;

б) навчання «на помилках» – студентів-стажерів навчають аналізувати з'являються при друкуванні дефекти, встановлювати їх причини, усувати ці причини;

в) поєднання обох підходів за участю студентів у розробці програмно-тренажерних комплексів, які дозволяють отримати базові – інструктивні теоретико-практичні знання і навички, поповнювати їх «екстремальними» знаннями, розвивають не тільки аналітичне мислення, а й здатність до прогнозування можливих ситуацій при друкуванні продукції на офсетних листових машинах.

Висновки

Обґрунтовано необхідність створення програм-тренажерів для формування глибоких, міцних знань і умінь студентів в області експлуатації

офсетних листових друкованих машин шляхом вивчення теоретико-практичних даних про дефекти друкування, їх аналізі, пошуку причин і способах їх усунення. Особливістю є участь студентів у створенні програм-тренажерів в рамках досліджуваних ними дисциплін. Розроблено методику створення програмно-тренажерних комплексів за участю студентів на всіх етапах підготовки тренажерів і їх застосуванні для навчання студентів.

Список литературы: 1. Молчанова, Н.А. Разработка структуры тренажера для материалов 20-го Юбилейного Международного молодежного форума «Радиоэлектроника и молодежь в XXI столетии», 19–21 квітня 2016 р. Харків. Т. 6. / відповід. за випуск Єрохін А.Л. – Харків: ХНУРЕ, 2016. – С.423–424. 2. Григорьев А.В., Турчинова Г.И., Григорьева О.В. Система формирования знаний и умений по эксплуатации и обслуживанию полиграфического оборудования с помощью программ-тренажеров // Полиграфические, мультимедийные и web-технологии. Т.1 Тез.докл. 1-й Международ. науч.-техн. конф. (16-20 мая 2016) / редкол.: В.Ф. Ткаченко, И.Б. Чеботарева и др. – Харьков: ХНУРЭ, 2016. – С. 33–34. 3. Разработка программ-тренажеров и применение их при обучении студентов / А.В. Григорьев, Г.И. Турчинова, О.В. Григорьева // Бионика интеллекта: науч.-техн. журнал. – Харьков: ХНУРЭ, 2016. – № 1(86). – С. 135–140.

Resume

A.V. Grigoriev, N.A. Molchanova, O.V. Grigorieva Development of training programs for the elimination of defects when printing on offset sheet machines

Background: The level of theoretical and practical training of graduates determines the timing of their mastering of printing technologies in specific conditions at operating enterprises. One of the effective ways of preparing students, namely, the assimilation of theoretical knowledge and the acquisition of practical skills is training with the help of simulator programs, which are based on the formation of theoretical knowledge for the analysis of defects encountered in printing on sheet-fed printing machines and theoretical and practical knowledge for establishing and eliminate the causes that cause these defects.

Materials and methods: Preparation in informatics for students of the specialty “Publishing and printing” in accordance with the curriculum gives them only the basics of programming, which does not allow the forces of students to develop training programs with a high level of automation. In connection with this, it is proposed to develop simulator programs on the basis of the so-called “block” approach to information generation, when each block defines a certain stage of the students’ training. The method can be used to create simulator programs. An attempt to create the structure of such simulators was undertaken in studies [1, 2, 3]. According to the results obtained and the data given in these sources, the structure of the simulator program for any of the described operation processes should include: unit # 1 – information on adjustment and adjustment of the equipment in question, faults, their causes and methods of elimination; block number 2 – testing to assess the quality assimilation of materials; block №3 – an estimation of quality of mastering of materials; block number 4 – task for assessing the quality assimilation of materials; block number 5 – evaluation of the correctness of the completed task.

Results: A methodology for creating programs-but-simulator complexes with the participation of students at all stages of preparation of simulators and their application for teaching students was developed.

Conclusion: The article substantiates the need to create simulator programs for the formation of deep, solid knowledge and skills of students in the field of operation of offset sheet printing machines by studying theoretical and practical data on printing defects, their analysis, the search for causes and ways to eliminate them.

Поступила в редколлегию 18.09.2017

УДК 004.415.2



И.О. Чеканов, А.В. Григорьев

ХНУРЭ, г. Харьков, Украина, chekanow93@gmail.com;

ХНУРЭ, г. Харьков, Украина, oleksandr.hryhoryev@nure.ua

РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННОЙ АНАЛИТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ПОЛИГРАФИЧЕСКОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

В работе детально рассмотрен и проанализирован технологический процесс упаковки готовой продукции на полиграфическом предприятии, выделены базовые понятия. Разработан процесс создания приложения для оптимизации упаковки готовой продукции на полиграфическом предприятии и методика расчета количества и параметров упаковки и тары. Обоснована необходимость данного приложения для обеспечения эффективной деятельности производственного предприятия.

ПОЛИГРАФИЧЕСКАЯ ПРОДУКЦИЯ, УПАКОВКА, ТАРА, ОПТИМИЗАЦИЯ РАЗМЕЩЕНИЯ, РАСЧЕТ РЕСУРСОВ, РАЗРАБОТКА, ПРИЛОЖЕНИЕ, СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОЕ ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Чеканов І.О., Григор'єв О.В. Розробка програми для оптимізації пакування готової продукції на поліграфічному підприємстві. У роботі детально розглянуто та проаналізовано алгоритм пакування готової продукції на поліграфічному підприємстві, виділені базові поняття. Розроблено процес створення програми для оптимізації пакування готової продукції на поліграфічному підприємстві, а також розрахунок кількості та параметрів пакування і тари. Обґрунтовано важливість цієї програми для діяльності виробничого підприємства.

ПОЛІГРАФІЧНА ПРОДУКЦІЯ, УПАКОВКА, ТАРА, ОПТИМІЗАЦІЯ РОЗМІЩЕННЯ, РОЗРАХУНОК РЕСУРСІВ, РОЗРОБКА, ДОДАТОК, СПЕЦІАЛІЗОВАНЕ ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

Chekanov I.O., Grigoriev A.V. Development of program for optimization of product packaging in the printing company. In the paper, the algorithm for packaging of finished products in printing enterprise was analyzed, basic concepts were singled out. The process of creating application for optimizing the packaging of finished products at a polygraphic enterprise and calculating the quantity and parameters of packaging and tare, has been developed. The importance of this application for the activity of a manufacturing enterprise is substantiated.

PRINTING PRODUCTS, PACKAGING, TARE, OPTIMIZATION OF PLACEMENT, CALCULATION OF RESOURCES, DEVELOPMENT, APPLICATION, SPECIALIZED SOFTWARE

Введение

Вопросы, связанные с внешней и внутренней логистикой, повсеместно решаются производственными предприятиями. К внутренней логистике относится движение объектов внутри предприятия, к внешней — движение объектов за его пределами. Одной из основных логистических задач является составление маршрута и расчет времени. Кроме этого в рамках логистики необходимо также решать задачи оптимального размещения грузов на платформах для перевозки и распределения транспортных средств и тары, а также необходимо выполнять сопутствующие расчеты материалов и средств, которые требуются для обеспечения транспортировки.

Все эти проблемы присутствуют на полиграфических предприятиях, так как они относятся к разряду производственных предприятий. Развитие производства, предприятий и товарооборота — причина усложнения логистики и сопутствующих целей, что обуславливает важность проведения исследований и разработку специализированного программного обеспечения (СПО) для облегчения и повышения эффективности решения вышеописанных вопросов [1-4].

В данной работе описывается процесс создания СПО для решения задачи оптимизации размещения коробок с готовой продукцией на паллете, расчета необходимых для транспортировки материалов и генерации документов для отчетов.

1. Постановка задачи исследования

Грамотная постановка цели на создание СПО является важным этапом в процессе разработки, так как определяет направление исследования системы, для которой оно разрабатывается.

Цель определена следующим образом: «Разработать программное обеспечение для полиграфического предприятия, которое позволит решать задачи: расчета параметров упаковки и коробок, а также количества всех сопутствующих материалов; построения схемы оптимального размещения упаковок на платформе для транспортировки готовой продукции; генерации специальных документов со схемой размещения коробок на платформе, параметрами и количеством коробок и паллет, которые будут использованы руководством для контроля процесса упаковки и транспортировки продукции».

Для решения данной задачи необходимо: сформулировать требования к СПО; проанализировать

потенциальных пользователей, а также существующие модели и методы решения задач, рассматриваемых в данной статье; формализовать требования к системе; разработать модели использования СПО; разработать прототип интерфейса СПО и всех сопутствующих схем; составить тесты для проверки функционала СПО; обосновать выбор языков программирования, архитектуры СПО и библиотек, которые планируется использовать при разработке; выполнить написание программного кода СПО и подготовить документацию; выполнить тестирование и контроль качества готового СПО; ввести готовый продукт в эксплуатацию.

После завершения процесса разработки и введения его в эксплуатацию необходимо производить мониторинг работы целевой аудитории с СПО, это позволит выявить достоинства и недостатки разработанного продукта. Усовершенствование достоинств и устранение недостатков производится путем разработки патчей и регулярного обновления СПО, что позволяет повышать эффективность работы и решения поставленных задач.

2. Обзор требований к СПО

При разработке ПО проектирование и документирование требований имеет большую важность, так как документ, который получается в результате, служит ориентиром на начальных этапах разработки. Требования можно разделить на несколько типов: функциональные требования; требования к надежности; требования к интерфейсу; системные требования.

Список типов требований может быть расширен, однако для разработки данного СПО было принято решение не усложнять классификацию требований и использовать вышеописанные четыре типа требований. Первоначальная разработка требований проводится на этапе постановки задачи на разработку СПО. Однако, в ходе дальнейшего анализа системы, в которой будет работать СПО, и заинтересованных сторон, могут быть выявлены дополнительные требования. Более того, после детального анализа, некоторые из требований могут быть отменены. Таким образом, разработка требований проводится на всех этапах проектирования СПО.

Функциональные требования описывают базовый функционал приложения. К разрабатываемому приложению предъявляются следующие функциональные требования: приложение должно обеспечивать ввод параметров готовых изделий и тары; автоматически выполнять расчет параметров, которые нельзя получить путем измерения, самостоятельно строить оптимальную схему размещения коробок на таре, выполнять расчет количества коробок, тары и других материалов, которые необходимы для упаковки продуктов, выполнять автоматическую подготовку документов, которые нужны для отчетов и контроля процесса.

Требования к надежности СПО это те требования, выполнение которых обеспечивает на-

дежность работы программы, эффективность ее работы при нарушении идеальных условий, а также безопасность хранимых данных. К надежности разрабатываемого СПО предъявляются следующие требования, которые связаны с проверкой действий пользователя: приложение должно проверять форматы введенных пользователем данных и, при неверном формате, самостоятельно преобразовывать данные в нужный формат; приложение не должно осуществлять связи через локальную и глобальную сеть, в целях предотвращения утечки информации.

Требования к интерфейсу описывают расположение основных элементов графического интерфейса СПО. Основные из них – простота освоения и эргономичность. При этом, вводятся следующие ограничения: интерфейс состоит из одного окна, в котором находятся поля ввода параметров основных объектов и поля вывода рассчитываемых программой данных; интерфейс должен обладать удобным рабочем полем, на котором изображается оптимальная схема размещения коробок на паллете.

К программным требованиям относятся те, выполнение которых обеспечит корректную работу программы на целевых устройствах и взаимодействие с необходимым программным обеспечением. Разрабатываемое программное обеспечение должно корректно работать при следующих условиях: на компьютере установлена операционная система Windows 95 или более поздняя версия; частота процессора компьютера не меньше 233 МГц; оперативная память не меньше 64 Мб; само программное обеспечение не должно занимать больше 10 Мб; приложение должно исправно работать без инсталляции.

3. Анализ потенциальных пользователей

Анализ заинтересованных сторон имеет большую важность при разработке любого нового продукта, это утверждение справедливо и для ПО. Он позволяет выделить стороны, которые имеют позитивный и негативный интерес к разрабатываемому продукту, оценить степень их важности для развития продукта, а также оценить степень их влияния на процесс разработки и среду, в которой данный продукт предположительно будет функционировать. В ходе анализа заинтересованных сторон были выявлены следующие стороны, которые имеют позитивный интерес к разрабатываемому СПО и представлены ниже. Был проведен опрос данных сторон путем собеседования и личных встреч, в результате чего были установлены дополнительные требования к СПО.

Руководство полиграфического предприятия имеет позитивный интерес к разрабатываемому СПО, так как хочет получить программу для ускорения и повышения эффективности работы отделов логистики и самого процесса доставки готовой продукции.

Менеджеры отделов логистики являются непосредственными пользователями проектируемого СПО. Они также имеют позитивный интерес к разрабатываемому ПО, так как хотят получить программу, которая избавит их от рутинных операций, а также позволит автоматизировать некоторые этапы их работы, которые требуют повышенной внимательности и много времени на обработку. Эта информация еще раз доказывает то, что интерфейс программы должен быть простым для понимания.

Также в ходе бесед с менеджерами было установлено, что для простоты использования необходимо разделить интерфейс программы на три столбца – для вводимых данных, выводимых и графического поля соответственно. Кроме этого в ходе беседы было выявлено, что некоторые расчеты, проводимые менеджерами по определенным формулам, могут быть скорректированы ими из личных соображений. Этот факт требует обеспечения возможности корректировки определенных параметров после автоматического расчета.

Начальники переплетных цехов, складов готовой продукции и мастера бригад грузчиков имеют позитивный интерес к разрабатываемому СПО, несмотря на то, что не используют его непосредственно. Они заинтересованы в том, чтобы получить простой и понятный документ, который четко будет регламентировать их действия и действия рабочих. Это требует разработки простого шаблона для отчетных документов, которые будут генерироваться программой. Простой и однообразный шаблон позволит передавать в цех и на склады документы в едином понятном формате и предотвратит возможность неоднозначной трактовки документа.

4. Анализ существующих моделей и методов решения поставленной задачи

Анализ аналогов во многих процессах разработки продукта проводится на первом этапе – до анализа заинтересованных сторон и проектирования требований. Однако в данной работе анализ аналогов вынесен на более поздний этап, что позволяет сначала определить и проанализировать все необходимые требования и целевую аудиторию ПО, а затем, на основе полученных данных, провести поиск аналогов программ, которые могут соответствовать данным требованиям и решают вышеопределенные задачи. В основу разработки программного обеспечения положено не написание кода, а решение четко определенных задач. В том случае, если для решения данных задач уже разработано программное обеспечение, то необходимость писать точно такое же СПО отпадает, в данном случае необходимо указать заказчику на то, что такое СПО уже существует или провести повторный анализ и выявить дополнительные требования и задачи, для которых еще не существует решения.

В рамках данной работы был проведен анализ многих СПО. В результате были выявлены программы, которые решают аналогичные

задачи и обладают рядом дополнительных функций. Однако, в силу нескольких причин, было принято решение о продолжении разработки. Эти причины приведены ниже.

Все проанализированные программы приспособлены для использования в рамках производственных предприятий различных типов. По данной причине их интерфейс является слишком сложным и не соответствует требованию о простоте, которое было получено в ходе аудита менеджеров отдела логистики. Разработка нового СПО позволит полностью приспособить его к особенностям целевого предприятия.

Среди проанализированного СПО существуют программные продукты, которые позволяют сконфигурировать интерфейс и шаблоны для документов и, тем самым, приспособить их к условиям предприятия. Однако, данные программы включают в себя множество дополнительных функций, которые увеличивают стоимость СПО, но не будут использованы на предприятии. Данные особенности стали причиной того, что руководством предприятия было принято решение, не использовать данные СПО

Кроме этого, многие программы имеют мощные редакторы для построения маршрутов и обеспечения логистики, что существенно повышает их стоимость. Данное повышение стоимости не является обоснованным, так как на целевом предприятии уже используется специальное собственное СПО, которое предназначено для расчета маршрутов.

Было принято решение продолжить проектирование СПО и его разработку, учитывая сложившуюся ситуацию.

5. Формализация требований к системе

Для разработки программного обеспечения, которое функционирует в рамках предприятия, важным является определение контекста, в рамках которого будет функционировать приложение. Контекстом называется часть окружения системы, необходимая для понимания системы и ее требований. В данный контекст входят: процессы, которые системе необходимо отслеживать и управлять; объекты на предприятии и за его пределами, имеющие важность для работы рассматриваемой системы; действующие лица и алгоритмы их действий. Принято разделять контекст системы на предметную область и область решения. К предметной области относятся: заинтересованные лица, бизнес процессы, законы. К области решения относится то, что имеет прямое влияние на разрабатываемое СПО, а именно: разработчики, системное СПО, аппаратное обеспечение.

Особенностью любой системы являются ее границы, описывающие области системы, на которые влияет разрабатываемое СПО, области системы на которые СПО не способно повлиять, но которые могут влиять на него, а также области системы, которые не имеют влияния на СПО и не испытывают влияния с его стороны.

По результатам проведенного анализа системы и ее границ очевидно, что разрабатываемое приложение будет функционировать в контексте целевого полиграфического предприятия, физические, правовые и технические границы которого описывают границы всей системы. Целевое полиграфическое предприятие изготавливает книги в твердом и мягком переплете любой сложности, имеет собственный парк допечатного оборудования, ролевых и листовых печатных машин, парк после печатного оборудования.

Предприятие имеет несколько складов для производственных материалов и несколько кладов для хранения готовой продукции, в том числе и один склад непосредственно на территории предприятия. В состав предприятия входят отдел реализации, издательство и отдел допечатной подготовки оригинал-макетов. Для управления предприятием есть отделы управления производством, коммерческий отдел, отдел логистики и снабжения, транспортная служба, службы инженеров, бухгалтерия, юридический отдел. Все отделы, их функции и процессы, а также объекты и люди, функционирующие в них, находятся в пределах границы системы.

Анализ задач СПО и целевого предприятия позволяет очертить и формализовать границы системы, в рамках которых будет функционировать программа. Были выделены 3 области: область системы, деятельность объектов которой не соприкасается с задачами СПО; область системы, деятельность объектов которой влияет на СПО; область системы в которой деятельность объектов и СПО влияют друг на друга.

В пределах границ той части системы, которая имеет влияние на программу, находятся: отделы снабжения и логистики; производственные отделы, которые осуществляют упаковку готовой продукции; склады готовой продукции, транспортная служба. Сюда же входят: начальники отделов и их персонал; материалы и оборудование для перевозки; процессы упаковки и транспортировки грузов, учета материалов и количества груза. В эту часть предметной области входят сведения о материалах и таре, которые используются при упаковке продукции. За пределами данной области находятся те части системы, которые не соприкасаются с разрабатываемым СПО.

В области системы, на которую разрабатываемое СПО будет влиять, находятся: процесс расчета тары и материалов, необходимых для упаковки и транспортировки готовой продукции; процесс построения схемы размещения груза на таре; процесс формирования документов для упаковки; документы для упаковки; параметры коробок.

6. Анализ предметной области

Перед работой непосредственно над приложением необходимо выполнить анализ процессов, которые имеют влияние на разрабатываемый продукт, но на которые продукт не способен повлиять. Это позволит спроектировать программу таким

образом, чтобы она максимально удовлетворяла требованиям. В данной работе нас интересует процесс упаковки и транспортировки готовой продукции. Анализ процесса позволяет выделить объекты и подпроцессы, что важно при разработке СПО.

Готовая продукция, исходя из особенностей предприятия, представляет собой: книги, журналы, брошюры. Данные объекты в процессе упаковки собираются в пачки, работниками цеха. Пачка – это объединённое вместе некоторое количество одинаковых объектов. Далее пачка заворачивается в упаковочный материал или же складывается в коробку. Коробка – это емкость для транспортировки продукции в форме параллелепипеда, стенки и крышки которой выполнены из гофрокартона. При этом вес заполненной коробки не должен превышать 15 кг, и не должен быть слишком мал, в целях экономии гофрокартона [5]. Все коробки складываются на паллете. Грани сложенных коробок не должны выступать за пределы периметра паллеты. Паллета (поддон) – прямоугольная деревянная или металлическая платформа, которая используется для хранения, перевозки и перегрузки грузов.

Коробки, уложенные в одной плоскости, называются «слоем». Слои коробок, ложатся друг на друга, при этом увеличивают вес и высоту загруженной паллеты. На сам поддон также накладываются ограничения по весу и высоте. Однако эти ограничения регламентируются транспортными компаниями, которые и осуществляют перевозку продукции к месту назначения. В случае осуществления перевозки целевым предприятием, к данным ограничениям добавляются требования, связанные с габаритами транспорта и контейнеров.

Коробки в слоях должны размещаться так, чтобы коробки верхнего слоя перекрывали собой пространство между коробками нижнего слоя. Такой порядок повышает устойчивость коробок на поддоне, что имеет большое значение при транспортировке в автомобиле и на грузовом судне.

Груженная паллета далее комплектуется углами из прочного картона, накрывается специальной крышкой, которая по периметру должна совпадать с периметром поддона, оборачивается полимерной пленкой и затягивается полимерными ремешками. Далее паллеты погружаются в грузовой отсек транспорта или контейнер в один или в несколько рядов.

Анализ вышеописанного процесса позволяет выделить систему объектов, параметры которых вводятся пользователем в программу или рассчитываются программой автоматически. Данная система и ее составляющие могут быть описаны следующим образом:

$$t = \{b_1, b_2, \dots, b_n\} \quad (1)$$

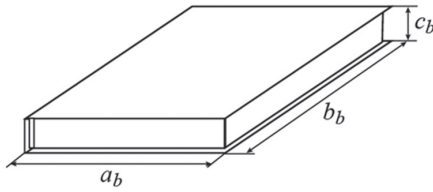
$$k_f = \{t, k\} \quad (2)$$

$$l = \{k_{f1}, k_{f2}, \dots, k_{fn}\} \quad (3)$$

$$p_f = \{p, l_1, l_2, \dots, l_n\} \quad (4)$$

где: b – книга, t – пачка книг, k – коробка, k_f – укомплектованная коробка, p – паллета, l – слой коробок, p_f – укомплектованная паллета.

Книга является готовым изделием, параметры которого замеряются технологом и сообщаются менеджерам отдела логистики. Менеджер самостоятельно должен внести данные параметры в программу.



a_b - ширина книги
 b_b - высота книги
 c_b - толщина книги

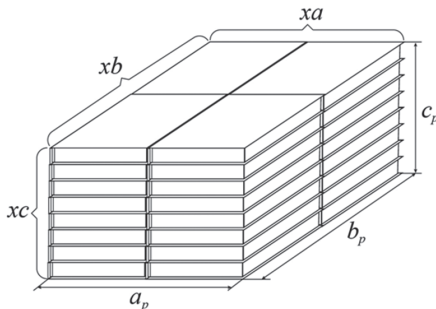
Рис. 1. Схематическое изображение книги

Таблица 1

Параметры книги

Название параметра	Значение
ширина (a_b)	вводится пользователем
высота (b_b)	вводится пользователем
толщина (c_b)	вводится пользователем
вес (m_b)	вводится пользователем
тираж (T)	вводится пользователем

Параметры пачки также рассчитываются автоматически исходя из параметров книги и способа расположения книг в самой пачке.



a_p - ширина пачки
 b_p - длина пачки
 c_p - высота пачки
 x_a - количество книг по ширине
 x_b - количество книг по длине
 x_c - количество книг по высоте

Рис. 2. Схематическое изображение пачки книг

Таблица 2

Параметры пачки

Название параметра	Значение
количество книг в пачке по ширине (x_a)	вводится пользователем
количество книг в пачке по длине (x_b)	вводится пользователем
количество книг в пачке по высоте (x_c)	вводится пользователем
ширина пачки книг (a_p)	программный расчет
длина пачки книг (b_p)	программный расчет
высота пачки книг (c_p)	программный расчет
вес пачки (m_p)	программный расчет
количество пачек (n_p)	программный расчет

Некоторые параметры пачки рассчитываются программой по следующим формулам

$$a_p = x_a \times a_b, \tag{5}$$

$$b_p = x_b \times b_b, \tag{6}$$

$$c_p = x_c \times c_b, \tag{7}$$

$$m_p = m_b \times x_a \times x_b \times x_c, \tag{8}$$

$$n_p = \left\lceil \frac{T}{x_a \times x_b \times x_c} \right\rceil. \tag{9}$$

Пустая коробка является контейнером для книг. Менеджер должен указать толщину материала, из которого изготавливается коробка. Также необходимо ввести «допуск» – расстояние между сторонами книг и внутренними сторонами коробки. Так как коробки изготавливаются на заказ, это позволит учесть погрешность размеров коробки при их изготовлении. Параметры коробки будут вычислены исходя из введенных параметров коробки и рассчитанных габаритов пачки.

Таблица 3

Параметры коробки

Название параметра	Значение
вес пустой коробки (m)	вводится пользователем
вес полной коробки (m_f)	программный расчет
ширина материала коробки (d)	вводится пользователем
допуск (d_i)	вводится пользователем
ширина коробки изнутри (a_i)	программный расчет
длина коробки изнутри (b_i)	программный расчет
высота коробки изнутри (c_i)	программный расчет
ширина коробки снаружи (a_o)	программный расчет
длина коробки снаружи (b_o)	программный расчет
высота коробки снаружи (c_o)	программный расчет
количество коробок (n)	программный расчет

Некоторые параметры коробки рассчитываются программой по следующим формулам

$$m_f = m_p \times m, \tag{10}$$

$$a_i = a_p + 2d_i, \tag{11}$$

$$b_i = b_p + 2d_i, \tag{12}$$

$$c_i = c_p + d_i, \tag{13}$$

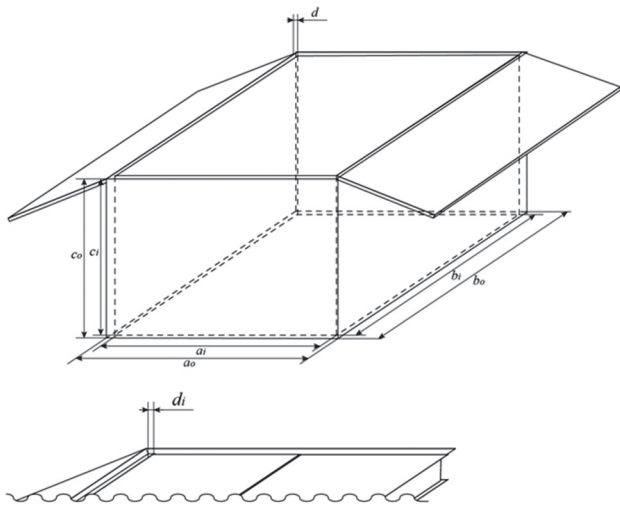
$$a_o = a_i + 2d, \tag{14}$$

$$b_o = b_i + 2d, \tag{15}$$

$$c_o = c_i + 2d, \tag{16}$$

$$n = n_p. \tag{17}$$

Параметры пустой паллеты также вручную заносятся в программу и зависят от ее физических характеристик. От ширины и длины паллеты зависит способ размещения коробок, также данные параметры вместе с весом и высотой влияют на параметры укомплектованного поддона.



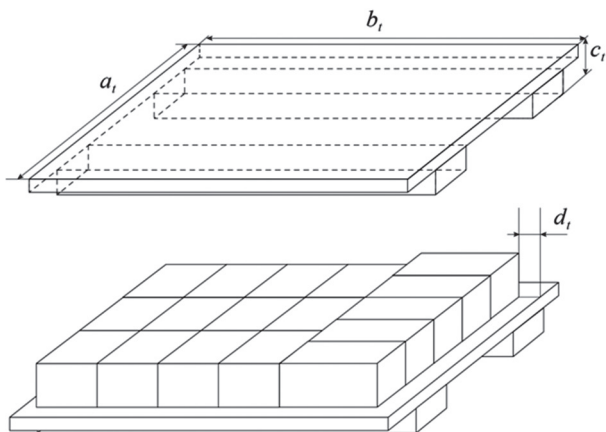
- ai* - внутренняя ширина коробки
- ao* - внешняя ширина коробки
- bi* - внутренняя длина коробки
- bo* - внешняя длина коробки
- ci* - внутренняя высота коробки
- co* - внешняя высота коробки
- d* - ширина материала
- di* - допуск

Рис. 3. Схематическое изображение коробки

Таблица 4

Параметры пустой паллеты

Название параметра	Значение
ширина паллеты (<i>a_l</i>)	вводится пользователем
длина паллеты (<i>b_l</i>)	вводится пользователем
высота паллеты (<i>c_l</i>)	вводится пользователем
вес паллеты (<i>m_l</i>)	вводится пользователем
допуск (<i>d_l</i>)	вводится пользователем



- a_l* - ширина паллеты
- b_l* - длина паллеты
- c_l* - высота паллеты
- d_l* - допуск

Рис. 4. Схематическое изображение паллеты

Слой коробок на паллете также является отдельным объектом. Количество коробок в слое рассчитывается автоматически исходя из схемы размещения их на паллете.

Имеет смысл считать полностью укомплектованную паллету за отдельный объект, так как она имеет свои уникальные характеристики и совмещает в себе все остальные вышеперечисленные объекты.

Таблица 5

Параметры укомплектованной паллеты

Название параметра	Значение
количество слоев (<i>l</i>)	вводится пользователем
количество коробок на паллете (<i>n_{pl}</i>)	программный расчет
высота паллеты (<i>c_{fl}</i>)	программный расчет
вес на паллете (<i>m_n</i>)	программный расчет
вес полной паллеты (<i>m_{fl}</i>)	программный расчет
количество паллет (<i>n_l</i>)	программный расчет

Параметры, указанные в данной таблице, рассчитываются по следующим формулам

$$n_{pl} = l \times n_{pl}, \tag{18}$$

где: *n_{pl}* — количество коробок в одном слое.

$$c_{fl} = l \times c_o + c_i, \tag{19}$$

$$m_n = n_{pl} \times m_f, \tag{20}$$

$$m_{fl} = m_n + c_i, \tag{21}$$

$$n_l = \left\lfloor \frac{n}{n_{pl}} \right\rfloor. \tag{22}$$

Вышеописанный анализ процесса и объектов позволяют четко сформулировать задачи и подзадачи, которые СПО необходимо решать в контексте целевого предприятия. На основе полученной информации становится возможным спроектировать модель использования системы, которая является основой для построения интерфейса.

7. Разработка модели использования СПО

Существует несколько подходов для построения модели использования системы. Сценарный подход берет за основу всевозможные сценарии работы пользователей с системой. Пользователями могут выступать физические лица, а также сторонние программы и сервисы, которые взаимодействуют с разрабатываемым СПО. Существует также функциональный подход, который предполагает построение четкой иерархии реализуемых функций, путем их декомпозиции. Функциональный подход позволяет тщательно проработать функционал системы, не вдаваясь в роли ее пользователей. Данный подход не применим к сложному СПО, модель пользования которым включает в себя несколько типов пользователей со своими пакетами сценариев. Однако в ходе анализа заинтересованных сторон, было выявлено, что для разрабатываемого СПО существует только один тип пользователя, а именно — менеджеры отдела логистики. Остальные же заинтересованные лица, должны получать необходимую информацию через документы, генерируемые системой и не являются

прямыми ее пользователями. Кроме того, программа имеет только один сценарий использования, поэтому для построения модели использования был выбран функциональный подход.

В ходе построения модели использования СПО была построена схема по стандарту ISO 5807:1985 [6].

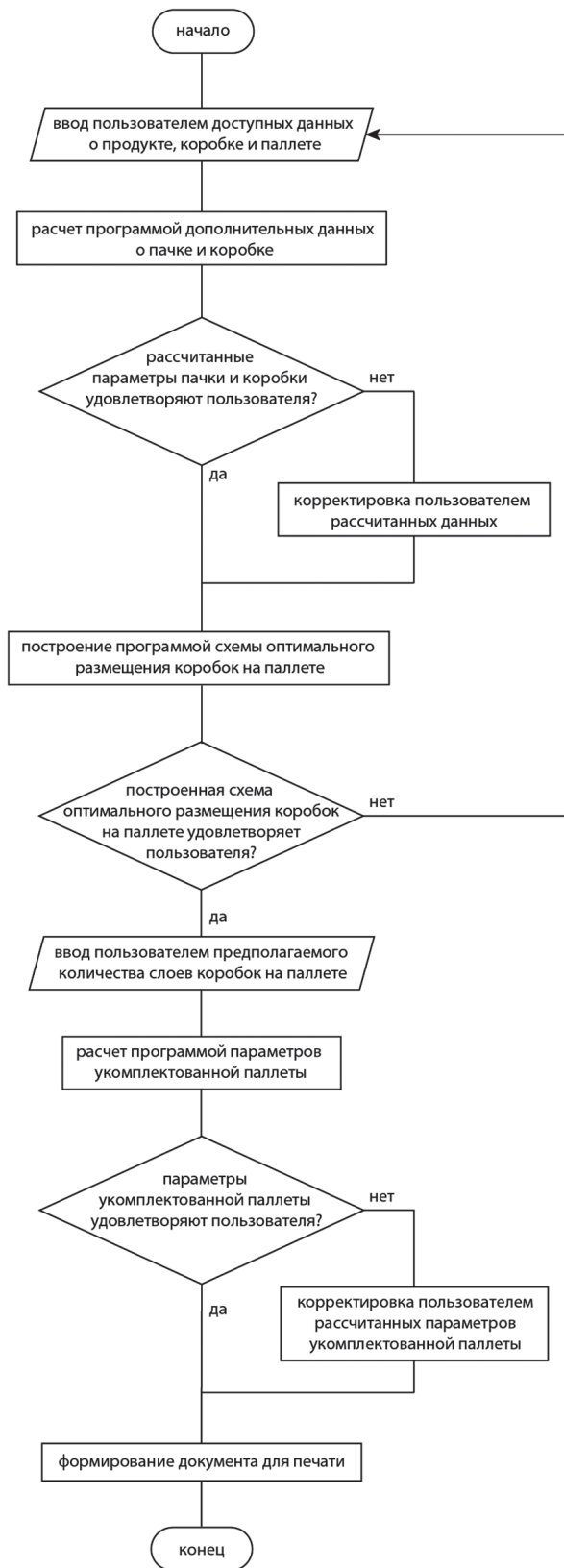


Рис. 5. Алгоритм работы с программой

Схема описывает весь процесс работы пользователя с программой и разделяется на следующие подпроцессы:

- ввод пользователем доступных данных о продукте, коробке и паллете;
- расчет программой дополнительных данных о пачке и коробке;
- корректировка пользователем рассчитанных данных (при необходимости);
- построение программой схемы оптимального размещения коробок на паллете;
- ввод пользователем предполагаемого количества слоев коробок на паллете;
- расчет программой параметров, укомплектованной паллеты;
- корректировка пользователем рассчитанных данных (при необходимости);
- формирование документа для печати.

Данная схема достаточно проста для понимания. Приложение, которое работает по предложенному алгоритму является интуитивно понятным и комфортным для работы.

Необходимо создать прототип графического интерфейса приложения исходя из схемы процесса взаимодействия пользователя с программой и алгоритма ее работы. Данный подход позволяет спроектировать графический интерфейс, который полностью соответствует проработанному сценарию работы и имеет все необходимые графические компоненты.

8. Разработка прототипа графического интерфейса

Графический интерфейс пользователя – разновидность пользовательского интерфейса, в котором, представленные пользователю на дисплее, выполнены в виде графических изображений. Интерфейс приложения должен быть разделен на части исходя из требований, сформированных на начальном этапе проектирования.



Рис. 6. Размещение блоков графического интерфейса

В первой части должны быть расположены поля ввода первоначальных данных. В этой части должны находиться поля ввода параметров книги, пачки, коробки, а также паллеты (имеются ввиду те параметры объектов, которые не могут быть рассчитаны ПО), что исходит из данных, полученных

в ходе анализа системы. Для больше наглядности было принято решение разделить данный блок на соответствующие подблоки.

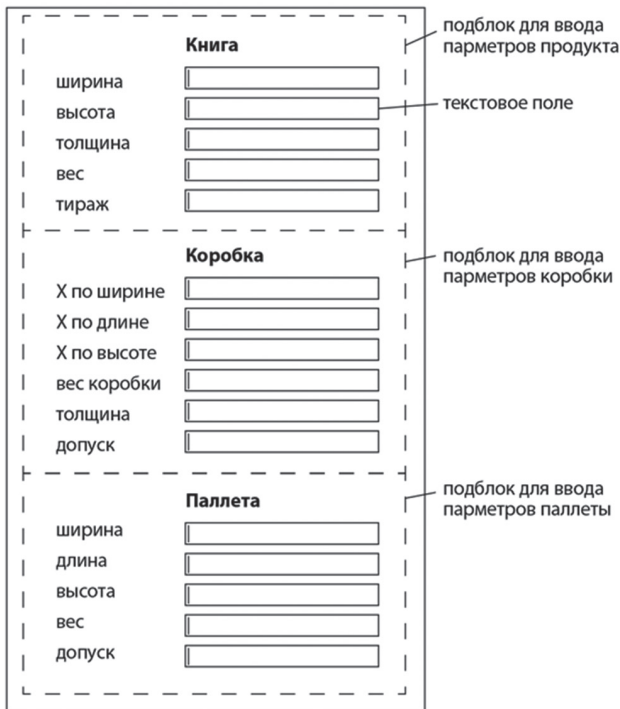


Рис. 7. Блок графического интерфейса для ввода данных

Во второй части должны находиться поля вывода рассчитанных параметров пачек, коробок и укомплектованной паллеты, а также кнопки расчета и построения оптимальной схемы размещения коробок соответственно. Модель использования СПО предполагает то, что пользователь сначала должен рассчитать параметры пачки и коробки. Далее ему необходимо дать возможность подкорректировать рассчитанные программой данные и, на основе этих данных, построить схему размещения коробок, а также рассчитать параметры укомплектованной паллеты. По данной причине было принято решение разделить данный блок полей на два подблока.

В первом подблоке находятся поля вывода параметров пачки и коробки и кнопка расчета данных параметров. После их расчета пользователь может изменить полученный результат, данный результат используется в последующих расчетах.

Во втором подблоке находится поле вывода количества коробок в слое, кнопки рисования оптимальной схемы размещения коробок на паллете и очистки поля. В нем же находятся поля вывода параметров укомплектованной паллеты, а ниже — расположены кнопки для расчета, формирования документа и сохранения изображения схемы распределения коробок на паллете. Для облегчения восприятия информации было принято решение назначить полям, в которые выводится рассчитываемая информация голубой цвет.

При анализе процесса упаковки была выявлена следующая особенность. В реальном процессе упаковки могут быть укомплектованы неполные пачки, которые содержат в себе меньшее количество

экземпляров продуктов, определенное в стандартной пачке для данного заказа. Это же утверждение справедливо и для укомплектованных поддонов, стандартное для паллета в данном заказе. Было принято решение создать дополнительные поля, которые не видны пользователю изначально, но проявляются при условии появления неполных пачек и паллет. Эти поля располагаются в нижних частях обоих подблоков и содержат в себе количество неполных коробок и поддонов при условии их возникновения.



Рис. 8. Блок графического интерфейса для вывода данных

Третья часть интерфейса должна занимать все оставшееся место на экране и вмещать в себя графическое поле для изображения схемы оптимального размещения паллет на коробке. Как было описано выше, кнопки рисования и очистки должны быть расположены в соседнем блоке для улучшения эргономических характеристик интерфейса.

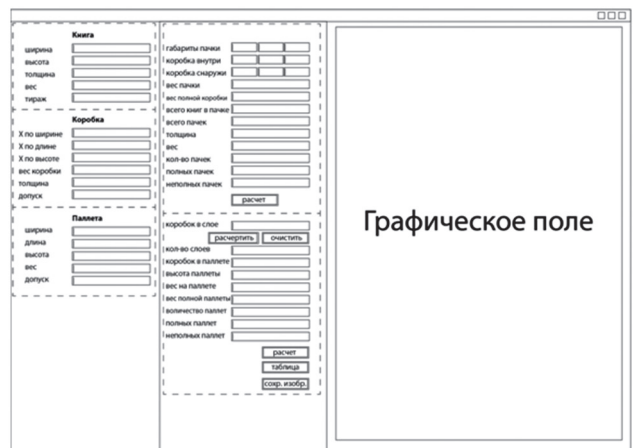


Рис. 9. Прототип графического интерфейса ПО

9. Разработка шаблона документа

Ранее оговаривалось то, что ПО должно обладать возможностью создавать документ, который может быть распечатан и использован в отчете о проделанной работе или передан мастерам цеха в качестве информации для упаковочных и транспортных работ. При анализе заинтересованных сторон и их требований было выявлено, что начальники переpletных цехов и складов с готовой продукцией, хотят получить от программы простой и понятный документ, который может четко регламентировать их действия и действия рабочих.

Данный документ должен содержать номер, код и название заказа, для его идентификации. Также в документе необходимо изобразить схему размещения коробок на паллете, для того что бы персонал цехов имел наглядное представление своей цели, и мог, ориентируясь на нее, быстро подготовить продукцию к транспортировке. Кроме этого в документе должна быть указана информация о габаритах и весе книг, коробок, укомплектованной паллеты.

№ заказа Наименование Заказчик	Книга (парам)	0	x	0	x	0
	вес книги	0.000				кг
-----	тираж	0				
	книг в пачке	0				
Изображение схемы оптимального размещения коробок на паллете	всего пачек	0				
	из них: полных	0				
	+ 1 непоная	0				книг
	Пачка/Коробка					
	размер пачки	0	x	0	x	0
	коробка (внутр)	0	x	0	x	0
	коробка (внешн)	0	x	0	x	0
	вес полной коробки	0				кг
	Паллета	0	x	0		мм
	коробок в слое	0				
количество слоев	0					
коробок на паллете	0					
высота паллеты	0				мм	
вес коробок на паллете	0				кг	
вес полной паллеты	0				кг	
количество паллет	0					
из них: полных	0					
+ 1 непоная	0				коробок	

Рис. 10. Шаблон документа

Формируемый документ должен иметь возможность быть открытым и отредактированным в приложениях, которые используются на предприятии, а именно – Microsoft Word и Microsoft Excel. Поэтому было принято решения формировать исходный документ в формате xls, который может быть отредактирован в Microsoft Excel.

10. Обоснование выбора программных средств

Перед написанием кода необходимо определить язык программирования, на котором планируется написать код. Язык программирования – формальный язык, предназначенный для записи компьютерных программ. Язык программирования определяет набор лексических, синтаксических и семантических правил, определяющих внешний вид программы и действия, которые выполнит исполнитель под её управлением [7, 8]. СПО должно работать на операционной системе

Microsoft Windows 95 и выше исходя из программных требований. По этой причине было решено использовать язык программирования С#, который активно разрабатывается корпорацией Microsoft и имеет множество Фреймворков и библиотек, облегчающих интеграцию разрабатываемых приложений и продуктов Microsoft.

Приложение имеет графический интерфейс пользователя, в качестве графической оболочки которого, был выбран Windows Forms. Windows Forms – интерфейс программирования приложений, отвечающий за графический интерфейс пользователя. Он помещает в управляемый код стандартные элементы управления Windows, доступные благодаря Win32 API [9].

Для облегчения процесса разработки следует воспользоваться библиотекой для формирования документов. Выбор языка С# предоставляет возможность использования COM библиотек, для подобных целей.

СПО имеет простую архитектуру в силу простоты своей функциональности. Код разделен на два основных слоя: логика, визуализация. Данный подход позволит, при необходимости, использовать бизнес логику приложения отдельно от интерфейса в качестве библиотеки.

В слое логики расположена вся бизнес-логика приложения, он содержит в себе следующие динамические классы: книга, пачка, коробка, паллета, полная паллета. Экземпляры данных классов создаются при запуске программы и содержат в себе поля, которые были описаны ранее в таблицах, значения в данных полях заполняются по мере выполнения расчетов. Также в данном слое находится статический класс формирующий документ в формате xls.

В слое визуализации располагается статический класс, связывающий бизнес-логику приложения и элементы графического интерфейса. Выделение визуализации в отдельный слой усложняет понимание кода, однако открывает возможность использования другого интерфейса пользователя без необходимости переписывать бизнес-логику приложения.

Выводы

В данной работе был описан процесс разработки программного обеспечения для оптимизации упаковки готовой продукции на полиграфическом предприятии. Данное приложение позволяет повысить эффективность упаковочных и транспортных работ на предприятии; освобождает менеджеров отдела логистики от рутинных операций; предоставляет начальникам производственных отделов, складов и всего предприятия простой и понятный документ с необходимой информацией.

Список литературы: 1. Reengineering relational database on analysis functional dependent attribute Authors Filatov, V., Radchenko, V. Year the Document was Publish 2015 Source

of the Document Proceedings of the International Conference on Computer Sciences and Information Technologies, CSIT 2015 с. 85-87 **2.** Wireless microwave system study for remote monitoring of environmental parameters Filatov, V.A., Smolskiy, S.M. Year the Document was Publish 2014 Source of the Document CriMiCo 2014 - 2014 24th International Crimean Conference Microwave and Telecommunication Technology, Conference Proceedings с. 970-971 **3.** Means of integration of heterogeneous data corporate information and telecommunication systems Authors of Document Filatov, V.A., Rudenko, D.A., Grinyova, E.E. Year the Document was Publish 2014 Source of the Document CriMiCo 2014 - 2014 24th International Crimean Conference Microwave and Telecommunication Technology, Conference Proceedings с. 399-400 **4.** Автоматизированные информационные системы и технологии в экономике и управлении: Учебник / Под ред. Трофимова В.В. – М.: Юрайт, 2012. – 542 с. **5.** Ефремов Н.Ф. Тара и ее производство / Н.Ф. Ефремов – Москва: МГУП, 2001. – 312 с. **6.** ISO 5807:1985 Information processing – Documentation symbols and conventions for data, program and system flowcharts, program network charts and system resources chart **7.** ISO/IEC/IEEE 24765:2010 Systems and software engineering – Vocabulary **8.** ISO/IEC 2382-1:1993, Information technology – Vocabulary – Part 1: Fundamental terms **9.** Шикуть, А. В. Использование графического интерфейса в приложениях на C++ в решении задач вычислительной математики / А.В. Шикуть, Б.К. Аристов // Инженерный вестник ФГБОУ ВПО "МГТУ им. Н.Э. Баумана". – 2014. – №12. – С. 1024-1034.

Resume

I.O. Chekanov, A.V. Grigoriev

DEVELOPMENT OF PROGRAM FOR OPTIMIZATION OF PRODUCT PACKAGING IN THE PRINTING COMPANY

Background: The questions of external and internal logistics are universally solved by manufacturing enterprises. Internal logistics refers to the movement of objects within the enterprise, to the external - the movement of objects outside of it. In the context of logistics, it is also necessary to solve the tasks of optimal placement of goods on transporting platforms, allocate vehicles and containers, perform

corresponding calculations of materials and resources that are required to ensure transportation.

All of these problems are present in printing enterprises, since they belong to the category of manufacturing enterprises. The development of production, enterprises and commodity turnover – is the reason for the increasing complexity of logistics and related tasks, which makes it important to conduct research and develop specialized software for facilitating and improving the efficiency of solving the above-described questions.

Materials and methods: In context of this paper, an analysis of the system was carried out, the steps of analysis are taken from the Quaid method. The task was to create an application to optimize the placement of boxes with finished products on a pallet. As part of the research was carried out of collecting information, identify alternative software products and tools for solving this problem.

The system, which consists of internal logistics processes and the objects participating in them was dismantled on the example of the active printing company. Key parameters of these objects which influence the system and processes were identified. Technologies were chosen and the software application development process was built at the implementation stage.

Since the implementation of this application is beyond the scope of work, the stage of confirmation and the experimental verification of the solution is not described.

Results: The algorithm for packaging of finished products in printing enterprise was analyzed, basic concepts were singled out. The process of creating application for optimizing the packaging of finished products at a polygraphic enterprise and calculating the quantity and parameters of packaging and tare, has been developed. The importance of this application for the activity of a manufacturing enterprise is substantiated.

Conclusions: The application, the development process of which was described in this article, makes it possible to improve the efficiency of packaging and transport operations in the enterprise; relieves managers of the logistics department from routine operations; provides the chiefs of production departments, warehouses and the entire enterprise with a simple and understandable document with the necessary information.

Поступила в редакцию 22.09.2017

УДК 621.711.3



А.І. Дмитренко, О.О. Супрун, О.О. Усольцев
ХНУРЕ, м. Харків, Україна, olexander.suprun@nure.ua

АНАЛІЗ МОДЕЛІ ОБ'ЄКТИВНОЇ ОЦІНКИ ЯКОСТІ ПЕРЕДАЧІ ВІДЕОПОТОКІВ В ІР-МЕРЕЖАХ

Проведен аналіз суб'єктивних і об'єктивних методів оцінки якості передачі відео в ІР-мережах, також досліджен вплив специфічних властивостей відеотрафіка на суб'єктивні й об'єктивні оцінки якості відеопотоку. Розглянута імітаційна модель фрагмента мережі, що включає в себе модель втрат, яка імітує виникнення втрат у реальній мережі й дозволяє варіювати швидкість і кількість відеопотоків та рівень втрат у мережі й розраховує параметр Хьорста. Проведен аналіз залежності значень параметра Хьорста від розміру пакетів, що курсують у мережі потоків, довжини черги вузла, кроку збільшення швидкості відеопотоку.

МОДЕЛІ ЯКОСТІ ПЕРЕДАЧІ ВІДЕО, ІР- МЕРЕЖІ, IPTV, МЕТОДИ ОЦІНКИ ЯКОСТІ, ВІДЕОПОТІК, ПАРАМЕТР ХЕРСТА

А.И. Дмитренко, А.А. Супрун, А.А. Усольцев. Анализ модели объективной оценки качества передачи видеопотоков в IP-сетях. Проведен анализ субъективных и объективных методов оценки качества передачи видео в IP-сетях, а также исследованно влияние специфических свойств видеотрафика на субъективные и объективные оценки качества видеопотоков. Рассмотрена имитационная модель фрагмента сети, которая включает в себя модель потерь, которая имитирует возникновение потерь в реальной сети и позволяет варьировать скорость и количество видеопотоков и уровень потерь в сети и рассчитывает параметр Хёрста.

МОДЕЛИ КАЧЕСТВО ПЕРЕДАЧИ ВІДЕО, ІР-СЕТІ, IPTV, МЕТОДИ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА, ВІДЕОПОТОК, ПАРАМЕТР ХЕРСТА

A.I. Dimitrenko, A.A. Suprun, A.A. Usoltsev. Analysis of the objective estimation model of the transmission quality of video streams in IP-networks. It is devoted to the analysis of subjective and objective methods for assessing the quality of video transmission in IP networks, as well as to study the influence of specific video flow characteristics on subjective and objective estimates of the quality of video streams. Develop a simulation model of a network fragment that includes a loss model that simulates the occurrence of losses in a real network and allows you to vary the speed and number of video streams and the level of losses in the network and calculates the Hurst parameter. Analysis of the dependence of the values of the Hurst parameter on the size of packets that run in the IP network, the length of the node queue, the step of increasing the speed of the video stream.

MODEL QUALITY TRANSMISSION VIDEO, IP- NETWORK, IPTV, METHODS OF EVALUATION OF QUALITY, VIDEOSTREAM, PARAMETERS HURS

Вступ

Сьогодні послуги Internet Protocol Television (IPTV) завойовують усе більшу популярність серед рядових користувачів, а більшість операторів уже розгорнули або розвертають майданчики для їхнього впровадження. У міру розвитку й ускладнення технологій IPTV, вони звичайно стають більш вимогливими до ресурсів мережі зв'язку, на базі якої вони надаються. Концепція мереж зв'язку наступного покоління Next Generation Network дає більші можливості організації практично необмеженої кількості послуг, у той же час вона ставить нові задачі з погляду створення й впровадження нових методів для оцінки якості сприйняття Quality of Experience. Довгий час у ролі основних методів оцінки якості IPTV розглядалися тільки суб'єктивні методи оцінки якості передачі відео, однак, їхнє широке використання в процесі експлуатації послуг IPTV не представляється можливим у виді складності проведення тестів. Тому, останнім часом, більшу популярність одержали методи об'єктивної оцінки, які ґрунтуються на зборі й аналізі мережних характеристик. Але і їх не

можна назвати універсальними й здатними точно оцінити передане відео, оскільки більшість таких методів не враховує характеристик, специфічних для відеододатків. Тому сьогодні існує досить велика кількість різноманітних методів оцінки якості IPTV як суб'єктивних, так і об'єктивних.

Мета статті – полягає в розробці й дослідженні моделей оцінки якості передачі і якості сприйняття відео в ІР-мережах, аналіз існуючих методів оцінки якості на прикладі надання послуг IPTV, розробка моделі оцінки якості передачі відео по ІР-мережам, що враховує мережні характеристики й параметри, специфічні для відеододатків, аналіз трафіка різних додатків в ІР-орієнтованих мультисервісних мережах з урахуванням властивостей самоподоби, розробка методу об'єктивної оцінки якості сприйняття відео на основі виявлення взаємозв'язків між суб'єктивними оцінками й значенням параметра Хьорста.

1. Аналіз методів оцінки якості передачі відеопотоків

На сьогоднішній день не існує об'єктивного методу оцінки якості передачі IPTV у реальному часі,

який міг би однозначно визначити прийнятне чи ні якість відео з боку користувача. При запуску послуг IPTV оцінку якості відео ділять на кілька етапів, щось перевіряється тільки при впровадженні послуги, інші показники тільки в момент експлуатації. Таким чином, оператор бажаючий впровадити послуги IPTV змушено підтримувати функціонування декількох об'єктивних суб'єктивних методів оцінки якості відео одночасно.

Суб'єктивні методи дозволяють у цілому оцінити послугу IPTV на етапі впровадження. Для методів суб'єктивної оцінки можна виділити три основні етапи тестування: вибір або комбінація способів демонстрації відеопослідовностей; визначення методики збору думок експертів; вибір методики обробки результатів. Комбінації можливих методик у перерахованих етапах дозволяють реалізувати різні методи суб'єктивної оцінки.

Метод Mean Opinion Score (MOS) дозволяє визначити якість передачі відео, одержуване при проходженні сигналу від джерела через мережу зв'язку до приймача, оцінюється як середнє арифметичне від усіх оцінок, що виставляються експертами після перегляду відео, переданого по тестуємому тракту передачі. Експертні оцінки визначаються у відповідності з наступної п'ятибальною шкалою: 5 – відмінно; 4 – добре; 3 – прийнятне; 2 – погано; 1 – неприйнятно. Очевидно, що даний метод не враховує ряд явищ, типових для мереж передачі даних, що й впливають на якість передачі відео в системах IPTV.

Метод Picture Quality Rating (PQR) дозволяє визначити здатність користувача «зауважувати» різницю між еталонним відео й тестуємым, у той час як MOS визначає шкалу експертних оцінок і дозволяє виставляти їх кожному відео. Метод PQR ґрунтується на алгоритмі Just Noticeable Difference (JND), який оцінює сприйняття зорової системи людину.

Метод Difference Mean Opinion Score (DMOS) обчислює різницю між оцінками MOS тестуємого й еталонного відео. У ньому рівняється пара відеопослідовностей: еталонне й тестуємое відео. Глядачі спочатку оцінюють по п'ятибальній шкалі еталонну послідовність, а потім тестуємую. Оцінки MOS тестуємої відеопослідовностей віднімаються з оцінок еталонних послідовностей MOS, що й визначає оцінку DMOS.

Застосовувані на сьогоднішній день методи оцінки якості передачі відео, засновані на аналізі характеристик мережі, є фактично тими ж засобами, що використовуються для контролю якості передачі голосової інформації, тобто вони вимірюють параметри транспортної мережі. На відміну від суб'єктивних об'єктивні методи не дають вистави про те, що ж насправді бачить користувач на екрані свого телевізора, тому що вони, по суті, не роблять відмінності між пакетами, що переносять відео й іншу інформацію. Різні видимі викривлення, такі як мерехтіння, блочність відеокадри, що застигли,

викликані різним рівнем втрат. Таким чином, складно розробити метод об'єктивної оцінки якості передачі відео, заснований на одному або декількох мережних показниках.

Метод Video Quality Measurement (VQM) ґрунтується на тому, що в більшості випадків при оцінці якості зображення спостерігач менш уважний до дрібних деталей, у той час як його основна увага концентрується на великих об'єктах. В основному використовувані сьогодні методи стиску інформації є методами з необоротними втратами, які виникають у ході скорочення просторової, тимчасової й спектральної надмірності. Метод VQM оцінює видимий результат погіршення відео, включаючи змазаність, тремтіння, блочність, шум, викривлення кольору.

Метрика Noise Quality Measure (NQM) підраховує вплив адитивного шуму на вихідний сигнал. Сприймані людським оком ефекти від частотного викривлення й впливу шуму є незалежними, при експерименті розділяють ці два джерела погіршення відео й вимірюють наскільки вироблений ними ефект бачимо.

Метод Peak Signal to Noise Ratio (PSNR) є найбільш традиційним методом виміру якості системи обробки й передачі цифрового відео, вимірюється в дБ. PSNR вимірює пікове відношення сигналу до шуму між вихідним сигналом і сигналом на виході системи.

Для того, щоб виміряти в кількісному відношенні якість послуги IPTV, необхідно ввести певну метрику. На сьогодні не розроблене Рекомендацій, специфікуючих уведення якої-небудь метрики, тому існує ряд методів, які мають істотні відмінності між собою й базуються на різних підходах: MDI, VQM, MPQM, NQM і т.д. Дані методи можна віднести до загальних методів оцінки працездатності мережі, повною мірою не враховуючих особливості додатка. Для більш детальної оцінки якості необхідна розробка моделей, які при розрахунках показників орієнтуються не тільки на параметри мережі, але й на характеристики відеопотоку. Ряд підходів ґрунтується на моделях «втрати – викривлення», тобто моделях, які відображають вплив втрат пакетів на якість відео (у формі викривлень).

При розробці моделі для оцінки якості відео необхідно врахувати дві основні вимоги:

1) придатність моделі, яка оцінює різні мережні параметри й параметри додатків і з високим ступенем точності проектує їх на оцінки якості передачі відео;

2) здатність легко визначити кількісно ці параметри, так щоб дозволити застосовувати оцінку якості передачі відео в реальному масштабі часу для потенційно великої кількості відеопотоків.

Для того, щоб оцінити якість відео, необхідно досліджувати відношення між втратами пакетів і викривленнями в декодованому відео. Важливою проблемою при моделюванні викривлень є визначення меж, у яких помилка розмножується серед

кадрів. Тому що в ІР-мережах втрати відеоданих відбуваються через втрату пакетів, а не блоків кадрів, що впливає, приводить до відображення втрати ІР-пакетів на втрати блоків відеокadra. Коли губиться n ($n \geq 1$) послідовних пакетів за одну подію, $f(n)$ блоків буде порушено, де $f(n)$ є відбиттям числа загублених пакетів на число загублених блоків. Це відношення залежить від реалізації кодека й техніки відновлення втрат. Наприклад, якщо кожний пакет містить рівно один блок і декодер просто пропускає декодування блоків, що втримуються в загубленому пакеті, тоді $f(n) = n$; однак, якщо декодер відкидає відеокadra щораз, коли один з ІР-пакетів загублений, відношення $f(n)$ ухвалює іншу форму.

Незважаючи на те, що більшість стандартів стиску відео підтримують поділ відеокadрів на блоки, кодекси реалізують різні схеми відновлення відеокadra у випадку втрати блоків. Для ілюстрації й порівняння результатів розглянемо кодекси, реалізовані у відповідності зі стандартом MPEG-2 і H.264, які мають різні реакції на що відбувся помилку. У кодекі MPEG-2 при втраті ІР-пакетів відбувається наступне: якщо декодер виявляє, що якийсь число ІР-пакетів, що переносять інформацію одного відеокadra, загублене, то він відкидає весь ушкоджений кадр й заміняє його попереднім декодованим кадром. У кодекі H.264 реалізована інша техніка маскування помилок: усі отримані блоки декодуються, у той час як блоки, стерпні, загубленими ІР-пакетами, відновлюються, використовуючи блоки попереднього кадру й інформацію компенсації руху інших блоків цього ж кадру. У кодекі MPEG-2 втрата торкається не тільки блоків, що перебувають у загублених ІР-Пакетах, але й інші блоки цього кадру, у той час як у кодекі H.264 зачіпаються тільки ті блоки, які входили в загублені пакети. Помітимо, що вищевикладений опис MPEG-2 і H.264 представляє конкретну реалізацію кодекі.

В цілях спрощення аналізу, припустимо, що кожний відео пакет містить s блоків, і що кожний відео кадр передається L пакетами. Також вважаємося, що в кожному кадрові початковий момент події втрати нерівномірно розподілена між першим і останнім пакетом. Після цих допущень стає можливим визначити $f(n)$ для обох кодеків. Для кодека MPEG-2:

$$f(n) = sl \cdot [L - r + 1] / L \cdot (n/L) \cdot ((r-1) / L) \cdot ((n/L) + 1)$$

Для кодека H.264 відображення втрат на блоки простої: $f(n) = s \cdot n$.

Отже, запропонована вище модель дозволяє врахувати наступне:

- 1) модель втрат пакетів, що виражається через n і Pe ;
- 2) бітову швидкість передачі, що виражається через число ІР-пакетів, що передають відеокadra, і число блоків у відеокadroві (визначається s і L);
- 3) схему пакетизації, що виражається через L – число ІР-пакетів, що передають відеокadra;
- 4) механізми відновлення від втрат, обумовлені вираженням $f(n)$ для кодеків MPEG-2 і H.264;

5) чутливість відеопослідовності до помилок.

Оскільки викривлення визначає, що результуюча якість відео може бути виражене за допомогою пікового відношення сигнал/шум (Peak Signal-to-Noise Ratio – PSNR), тобто, $PSNR = 10 \log_{10}(2552/D)$.

Однак PSNR не дає чіткої представлення про те, як оцінить глядач якість передачі відео, тобто співвідношення сигнал/шум показує, що якість прийнятну, а насправді відбувається систематична втрата I кадрів відеопослідовності й користувач спостерігає картинку низької якості із завмираннями й артефактами, тобто PSNR може оцінити суб'єктивну якість відео. Внаслідок особливостей формування відеопотоку об'єктивні й суб'єктивні методи можуть давати різні оцінки якості передачі відео. PSNR не приводить до поліпшення якості відео, яке буде помітно для людського ока. Графік показує взаємозв'язок між об'єктивними й суб'єктивними оцінками якості передачі відео. При досягненні значень об'єктивних оцінок «крапки перегину» далі поліпшувати якість передачі недоцільно, оскільки особливості людського зору такі, що користувач уже не помітить різниці. Внаслідок особливостей формування відеопотоку об'єктивні й суб'єктивні методи можуть давати різні оцінки якості передачі відео (ЯПВ).

Графік на рис. 1 показує взаємозв'язок між об'єктивними й суб'єктивними оцінками якості передачі відео. При досягненні значень об'єктивних оцінок «крапки перегину» далі поліпшувати якість передачі недоцільно, оскільки особливості людського зору такі, що користувач вже не помітить різниці.



Рис. 1. Відношення між PSNR і якістю передачі відео

2. Дослідження запропонованої моделі оцінки якості відеопотоку

Метою оцінки запропонованої моделі є довести точність і придатність моделі для оцінки ЯПВ при різному рівні втрат і різних кодеках. Для цього проводиться імітаційне моделювання й експеримент, у ході якого рівняються значення ЯПВ, отримані при використанні моделі, з оцінками суб'єктивних і об'єктивних методів оцінки якості передачі відео. Порівняння із суб'єктивними методами оцінки проводиться для перевірки здатності моделі враховувати специфічні характеристики відеодатків при оцінці ЯПВ. Порівняння з об'єктивними

методами покликано довести точність моделі при розрахунках мережних показників.

Оцінка розробленої моделі проводилася декількома методами: по-перше, за допомогою програмного продукту компанії IXIA (Ixchariot), і використовується для тестування пакетних мереж [5]. Ixchariot видає результати значення часу очікування, джиттера, пропускну здатності, а також розраховує значення MDI для відеопотоку. Це дозволяє розрахувати значення PSNR для моделі залежно від різного рівня втрат зрівняти його зі значеннями MDI.

З результатів (рис. 2) видно, що при збільшенні втрат, виникає більше викривлення, що приводить до зниження значень PSNR і погіршенню якості передачі відео. Графік на рис. 3 показує, що модель при оцінці якості передачі відео повністю показує ситуацію, що відбувається у мережі, також видно при досягненні значень об'єктивних оцінок деякої величини, далі поліпшувати якість передачі недоцільно, оскільки це вже не відбивається на суб'єктивній оцінці якості відео.

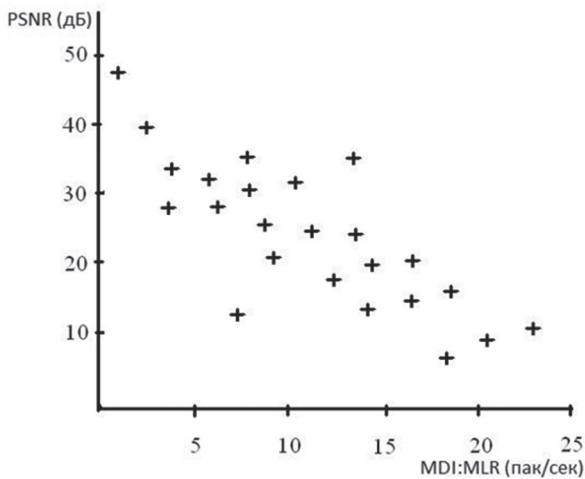


Рис. 2. Відносна залежність PSNR від MDI:MLR

При збільшенні втрат у мережі погіршуються значення PSNR і MDI. Модель, заснована на методі PSNR, ураховує різний рівень втрат і може бути використана для оцінки якості передачі відео.

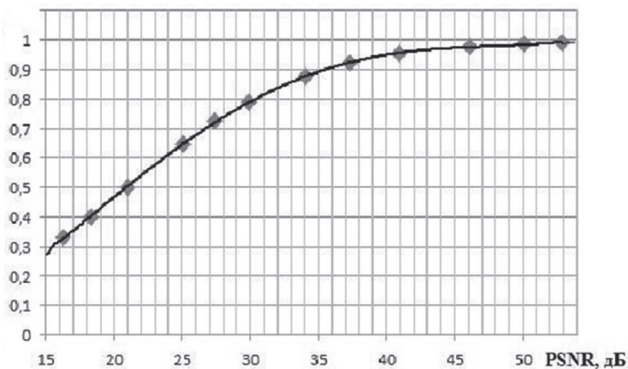


Рис. 3. Відношення між PSNR і КПВ для формату QCIF

Кількість загублених пакетів є домінуючим чинником, що впливають на якість відео в кожній конфігурації відео. Зокрема, для даної схеми пакетизації (представленої s і L), розміру кадра, вибору кодека,

пачечності (тобто, n) викривлення пропорційні ймовірності події втрат Pe . Наприклад, для MPEG-2 відео, закодованого у формат QCIF з $s = 2$, $L = 1$ і втратами по Бернуллі, швидкість втрат 2 % відповідає викривленню в 18,94, у той час як 16 % відповідає викривленню в 1 733,55 для періоду оцінки 180 с.

Вплив пакетизації залежить від типу кодека. Для кодека MPEG-2 викривлення збільшуються зі збільшенням L . Це відбувається, тому що одиночна втрата пакета торкається не тільки блоку в цьому пакеті, але й усі інші блоки цього кадра.

Вплив розміру відео кадра на якість передачі відео залежить від функції схеми маскування, реалізованої в кодекі. Рисунок 3 показує, що при однаковому рівні втрат схема маскування помилок у кодекі H.264 виконана краще для QCIF формату, чому для CIF. При більшому розмірі кадра загублені пакети/блоки вважаються для маленької частини всього кадра, що полегшує маскування помилок. З іншого боку, тверда схема маскування помилок кодекі MPEG-2 показує протилежну поведінку. Це відбувається, тому що мультиплікативний фактор $(n+L-1)$ вище для кадрів з великим розміром, так що кожна подія втрати перетворюється у велику кількість загублених блоків.

Представлена модель «втрати-викривлення» повинна вміти оцінювати якість передачі відео в реальному часі для цього всі параметри, використовувани в моделі повинні бути або легко доступні, або легко вимірювані в реальному часі. Якість відео оцінюється залежно від специфічних характеристик окремого відео. Звідси при однаковому шляху й моделі втрат якість двох отриманих відео може значно відрізнятись. Більш того для однакових відеопослідовностей навіть, якщо умови шляху залишаються незмінними, якість може мінятися зі зміною сцени.

Як результат оцінка абсолютної якості відео на шляху вимагає динамічної оцінки впливу характеристик відео. Це не просто й звичайно вимагає «граматичного розбору» або декодування переданого відеопотоку. На практиці здійснення такого процесу в реальному часі й для великої кількості потоків дуже важко, та означає, що представлена модель, усе ще далека від мети – здійснювати точну оцінку якості відео в реальному часі. Точніше, щоб досягти цієї мети, потрібно вилучити з моделі будь-яку залежність, пов'язану з характеристиками певного відео.

Для цього введемо метрику відносного PSNR, основна задача якого оцінити якість передачі відео на даному шляху не як абсолютну метрику, як відносну на деякому іншому шляху з відомою реалізацією. Звичайно це відповідає шляху, чия реалізація відома, що приводить до прийнятної якості відео, тобто засноване на встановленні контрольних крапок на мережі оператора й сервіс-провайдера. Відносна якість шляху або $opsnr$ визначається як різниця між дійсним PSNR і опорним (еталонним) PSNR (тобто PSNR переданого відео по опорному

шляху). Іншими словами оPSNR вимірює наскільки далекий шлях, відносно якості, від опорного шляху.

У реальній мережі крім відеотрафіка існують і інші види трафіка. Наприклад, мовний трафік, який, хоча й не вимагає від мережі підтримки настільки ж високої швидкості передачі як відео, але, проте, ця швидкість повинна бути постійною й при проектуванні мережі, введенні нових послуг і їх підтримці необхідно враховувати присутність іншого трафіка. В IP-мережах для передачі трафіка часто використовується об'єднання або статичне мультиплексування трафіка від різних джерел. Таким чином, якщо одне джерело генерує самоподібний трафік, те загальний потік також буде мати властивість самоподоби. Визначення самоподоби дається через автокореляційну функцію. Ступінь самоподоби характеризується параметром Хьорста. Разом зі зміною значення параметра Хьорста можуть змінюватися й інші характеристики об'єднаного потоку, що може приводити до виникнення ряду проблем при керуванні мережею, наприклад, виборі адекватної моделі побудови черг, механізмів керування потоком перевантаженням, слухного розподілу ресурсів.

Параметр Хьорста характеризує ступінь самоподоби потоків відеотрафіка. У процесі моделювання для оцінки ступеня самоподоби застосовувалися різні методи. У якості основного методу був обраний метод аналізу графіка зміни дисперсії. У реальних умовах оперують із певними наборами даних, тому немає можливості перевірити трасу трафіка на самоподобу. Тому встає необхідність досліджувати різні властивості самоподібності в реальному обмірюваному трафіку, не маючи повної інформації про всі масштаби.

Однієї із проблем, що часто виникає при оцінці параметра Хьорста, є те, що навіть якщо підтверджуються деякі властивості самоподоби, не можна відразу укласти, що проаналізовані дані мають самоподібну структуру, тому що вони могли бути піддані зовнішнім впливам, які привели до таких же властивостей, наприклад, присутність нестационарності [6]. Тому говорячи про ступінь самоподоби для того або іншого потоку, слід враховувати самоподібну структуру в заданому масштабному діапазоні для заданого набору даних. Також при розрахунках параметра Хьорста необхідно враховувати вплив багатьох факторів, таких як методика оцінки, розмір вибірки, масштаб часу і т.д.

На сьогоднішній день відомий ряд методів оцінки самоподоби. Одним з популярних методів оцінки параметра Хьорста в тимчасовій області є метод аналізу нормованого розмаху або R/S статистики. Але R/S метод не занадто точний, тому що дає оцінку тільки рівня самоподібності в тимчасовому ряді. Тому даний метод в основному використовується для перевірки чи є часовий ряд самоподібним і, якщо є, одержати досить грубу оцінку параметра Хьорста. У якості основного методу оцінки значень параметра Хьорста був обраний метод аналізу графіка зміни дисперсії, який дозволяє оцінити

ступінь самоподоби агрегированного потоку, і який розглянутий більш докладно далі [7].

Параметр Хьорста H змінюється в інтервалі від 0 до 1 і визначає ступінь самоподоби процесу. Чим ближче цей параметр до одиниці, тим більше яскраво проявляються фрактальні властивості. Однак, рівність $H=0,5$ свідчить про відсутність самоподоби. Тому часто, проводячи дослідження на визначення ступеня самоподоби, значення параметра Хьорста відображають у діапазоні від 0,5 до 1. Самоподоба у вузькому змісті означає, що функції розподілу вихідного й агрегированих процесів однакові, а ступінь самоподоби характеризують параметром Хьорста.

У досліджуваній моделі втрати відбувалися на четвертому вузлі транспортної мережі. Частка загублених пакетів змінювалася в діапазоні від 5 до аномально високих 95 %. Результат моделювання представлено на рис. 3, втрати суттєво не впливають на показник Хьорста при вступі в мережу потоків VBR. При досягненні рівня втрат 95 % ступінь самоподоби небагато менше, чим при 5 %.

За результатами моделювання доведено, що додавання потокам відеотрафіка зі змінною швидкістю (Variable Bit Rate) не впливає на значення параметра Хьорста аж до аномально високого рівня втрат в 95 %.

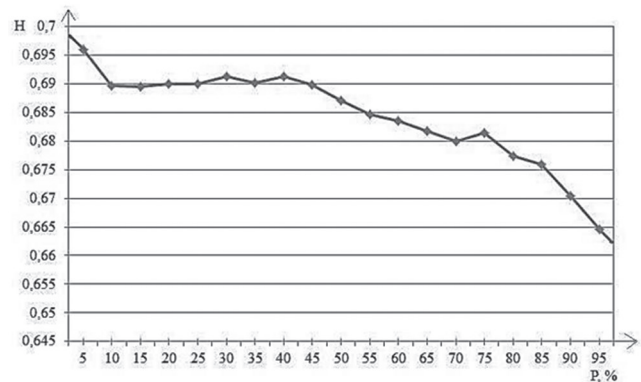


Рис. 4. Залежність показника Хьорста від рівня втрат

При зменшенні кроку моделювання швидкості потоку від 10 000 кбіт / с до 1 000 кбіт / с. Значення параметра Хьорста лежать в середньому від 0,496 до 0,520. При експерименті, в якому не враховувався розмір пакета для трафіку CBR, значення параметра Хьорста в середньому перебували в діапазоні 0,606 ч 0,709. Спостерігався сплеск на швидкості 60 Мбіт/с, оцінка параметра Хьорста склала 0,7 (метод «Аналізу графіка зміни дисперсії») – 0,9 (метод Хігучі). Результати даного експерименту представлені на рис 4. Також можна відзначити нестабільність оцінок параметра Хьорста різними методами при даних умовах.

При відключенні відеопотоків з законом розподілу Парето, зміні тільки швидкості CBR, спостерігалася зниження значень параметра Хьорста до 0,456 ч 0,442. Також досліджувалася залежність значення параметра Хьорста від довжини черги на четвертому вузлі, чергу варіювалася від 5 до 25%. Значення параметра Хьорста склали в середньому

0,724 × 0,684. У той же час установлене, що додавання до потоків відеотрафіка трафіка з постійною швидкістю (Constant Bit Rate) уже при досить невеликих швидкостях приводить до значимої зміни параметра Хьорста. Що, є підставою для використання значень параметра Хьорста для виявлення аномальних змін при передачі трафіка.

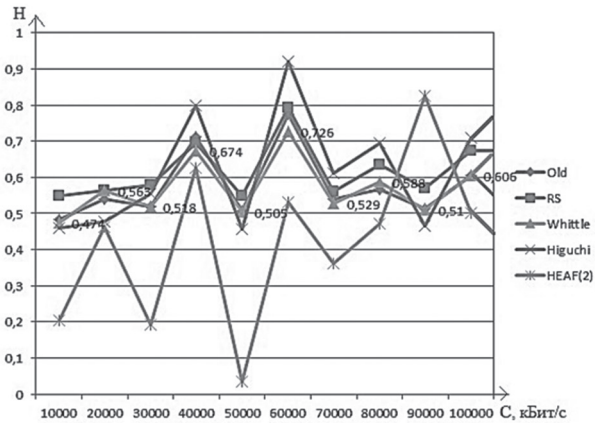


Рис. 5. Залежність параметра Хьорста від швидкості потоку CBR

Висновки

Таким чином, були отримані наступні результати: розроблена математична модель, заснована на відношенні «втрати – викривлення», яка дозволяє оцінити якість передачі відео й може бути використана в існуючих IP-мережах. Проведене моделювання залежно від різного рівня втрат, типу кодека, схеми маскуванню помилок, періоду дослідження й формату відеокадра, у результаті якого доведений вплив різної реалізації кодеків на якість переданого відео залежно від різного рівня втрат і розміру відеокадра. Установлене, що одним з домінуючих факторів при оцінці якості передачі відео є кількість загублених пакетів.

На остаточну оцінку якості також впливають специфічні параметри відео, такі як спосіб пакетизації, розмір відеокадра, схема маскуванню помилок, які залежно від конфігурації кодека по різному реагують на однаковий рівень втрат. Запропоноване використання коефіцієнта, що дозволяє відобразити взаємозв'язок суб'єктивних і об'єктивних оцінок якості передачі відео, що й урахує характеристики відеопотоку при оцінці викривлень, що виникають ході втрати окремих блоків відеокадра. Розроблена імітаційна модель фрагмента мережі, навантаженої потоками різно-типного трафіка, що дозволяє проводити дослідження, націлені на оцінку параметра Хьорста при різних умовах роботи мережі. Визначений склад факторів, що впливають на процес оцінки ступені самоподоби агрегированого потоку. Встановлене, що при моделюванні залежності параметра Хьорста від рівня втрат додавання до відеопотоків трафіка зі змінною швидкістю не впливає на значення параметра Хьорста аж до аномально високого рівня втрат в 95 %. У той же час, додавання

до потоків відеотрафіка потоку з постійною швидкістю, наприклад, трафіка мови, при досить невеликих швидкостях приводить до значимої зміни параметра Хьорста. Визначене, що розмір пакета досліджуваного потоку впливає на значення параметра Хьорста для всього агрегированного потоку. Також на оцінку ступеня самоподоби впливає довжина черги у вузлі й крок збільшення швидкості потоку. Запропонований метод об'єктивної оцінки якості сприйняття відео на основі виявленого взаємозв'язку шляхом виміру параметра Хьорста.

Список літератури: 1. Рекомендація ІТУ-Т Y.1910. Функціональна архітектура IPTV: – 2008. 2. Пескин, А. Е. Світове віщальне телебачення, стандарти й системи // А. Е. Пескин, В. Ф. Труфанов. - М.: Гаряча лінія – Телекому, 2004. – 310 с. 3. RFC 2236. Протокол Internet Group Management Protocol, Icmpv2. – 1997. 4. Recommendation Y.1540. Internet protocol data communication service – IP packet transfer and availability performance parameters. ІТУ-Т. – 2009, November. 5. Вегешна, Ш. Якість обслуговування в мережах IP // Ш. Вегешна. – М.: Видавничий будинок «Вільямс», 2013. – 368 с. 6. Кожанів, Ю. Ф. Інтерфейси й протоколи мереж наступного покоління / Ю. Ф. Кожанів. - Спб.: Альфарет. 2016. – 218 с. 7. Рекомендація ІТУ-R BT.500-13. Методика суб'єктивної оцінки якості телевізійних зображень. – 01/2012.

Resume

A.I. Dimitrenko, A.A. Suprun, A.A. Usoltsev.
ANALYSIS OF THE OBJECTIVE ESTIMATION
MODEL OF THE TRANSMISSION QUALITY OF
VIDEO STREAMS IN IP-NETWORKS

Background: Development and study of a model for assessing the quality of the transmission and quality of video perception in IP networks, analyzing existing methods for assessing the quality of the video stream in IPTV, developing a model for assessing the quality of video transmission over IP networks, taking into account network characteristics and parameters specific to video applications and various codecs, the analysis of traffic of various applications in IP-oriented multi-service networks, taking into account the self-similarity properties, the development of a method of objective evaluation of the quality of video perception based on the identification of the interrelationships between and subjective assessment value and Hurst parameter.

Materials and methods: This work uses statistical methods of analyzing the normalized span or R/S statistics, also the recommended metrics: MDI, VQM, MPQM, NQM.

Results: A mathematical model is developed that allows estimating the quality of video transmission and can be used in existing IP-networks. The simulation was performed depending on different loss levels, such as the codec, the error masking scheme, the research period and the video frame format, which resulted in the effect of different codec implementations on the quality of the transmitted video, depending on the different level of loss and the size of the video frames. The use of the coefficient is suggested, it allows reflecting the interrelation between subjective and objective estimates of the quality of video transmission, which takes into account the characteristics of the video stream when estimating the distortions that occur during the loss of individual video frame blocks. A method is proposed for an objective estimation of the quality of video perception based on the measurement of the Hurst parameter.

Conclusion: The article investigates the influence of specific video flow characteristics on subjective and objective estimates of the quality of video streams. The developed simulation model of a network fragment loaded with flows of different types of traffic makes it possible to carry out studies aimed at evaluating the Hurst parameter under various network conditions. The composition of the factors influencing the process of estimating the degree of self-similarity of the aggregated flow is determined.

Надійшла до редакції 22.09.2017

УДК 681.5 + 659.11



М.А. Омаров, Т.В. Тиха

ХНУРЕ, м. Харків, Україна, murad.omarov@nure.ua;

ХНУРЕ, м. Харків, Україна, tetiana.tykha@nure.ua

ЛЕНДІНГ – ЙОГО АНАЛІЗ ТА МОДЕЛЮВАННЯ

Обґрунтовується доцільність та актуальність теоретичних досліджень в галузі інтернет-маркетингу, зокрема при проведенні інтернет-маркетингових кампаній. Аналізується використання лендінгу (landing page) у сучасному інтернет-маркетинзі, визначаються властивості посадкових сторінок та їх обмеження. Досліджується сприйняття посадкової сторінки. Надається огляд методів розробки посадкових сторінок. Розглядається доцільність використання лендінгу при проведенні інтернет-маркетингових кампаній та критерії, за котрими вона визначається.

ІНТЕРНЕТ-МАРКЕТИНГ, ЛЕНДІНГ, ПОСАДКОВА СТОРІНКА, ВИКОРИСТАННЯ ЛЕНДІНГУ, КОНВЕРСІЯ В ПОКУПЦЯ, СПРИЙНЯТТЯ СТОРІНКИ САЙТУ

Омаров М.А., Тиха Т.В. Лэндинг – его анализ и моделирование. Обосновывается целесообразность и актуальность теоретических исследований в области интернет-маркетинга, в частности при проведении интернет-маркетинговых кампаний. Анализируется использование лендинга (landing page) в современном интернет-маркетинге, определяются свойства посадочных страниц и их ограничения. Исследуется восприятие посадочной страницы. Предоставляется обзор методов разработки посадочных страниц. Рассматривается целесообразность использования лендинга при проведении интернет-маркетинговых кампаний и критерии, по которым она определяется.

ІНТЕРНЕТ-МАРКЕТИНГ, ЛЭНДИНГ, ПОСАДОЧНАЯ СТРАНИЦА, ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЛЭНДИНГА, КОНВЕРСИЯ В ПОКУПАТЕЛЯ, ВОСПРИЯТИЕ СТРАНИЦЫ САЙТА

Omarov M.A., Tykha T.V. Landing – analysis and modeling. The expediency and relevance of theoretical research in the field of Internet marketing, in particular, during Internet marketing campaigns, is substantiated. The use of landing page in modern internet marketing is analyzed, the properties of landing pages and their limitations are determined. The perception of the landing page is studied. An overview of landing page development methods is provided. The expediency of using landing in the conduct of Internet marketing campaigns is considered. The criteria of expediency is determined.

INTERNET MARKETING, LANDING, LANDING PAGE, LANDING USE, CONVERSION INTO BUYER, ADOPTION OF PAGES OF THE SITE

Вступ

Інтернет-маркетинг є однією зі складових сучасних ІТ-технологій, що використовує методи класичного маркетингу для ведення маркетингової діяльності у Інтернеті. Класичній маркетинг розглядають як систему знань, що направлена на управління споживчим попитом з позицій виробника товарів та постачальника послуг. Інтернет-маркетинг стрімко розвивається як практична діяльність так і як теорія. Інтернет-маркетинг використовує методи традиційного(класичного) маркетингу та розвиває свої власні методи, що базуються на можливостях та специфіці інформаційних технологій, які використовуються в Інтернеті. Ринок Інтернет-реклами зростає значно швидше ніж інші сектори ринку реклами – телереклама, радіо реклама, реклама у часописах і газетах і т.п.

Одним з інструментів Інтернет-маркетингу є лендінг. Термін «лендінг» впевнено увійшов в обіг у середовищі Інтернет-маркетологів. Цей термін походить від англійського *Landing page*, який можна перекласти як «посадкова сторінка». За визначенням Литовченко В.І. [1] «це завершальна сторінка воронки продаж, також — веб-сторінка, яка відкривається при натисканні на рекламне оголошення чи ланку (лінк). «Цільова сторінка» є

логічним продовженням рекламного оголошення або посилання».

Як видно із цитати термін *Landing page* також перекладають як «цільова сторінка», що більш адекватно характеризує його значення в Інтернет-маркетинзі.

Задача аналізу лендінгу, як інструмента сучасного інтернет-маркетингу, є актуальною через активне використання лендінгу у практиці та через відсутність одностайної оцінки цього інструменту.

Метою цього дослідження є визначення умов, коли використання лендінгу є доцільним при організації та проведенні інтернет-маркетингових кампаній, а також проаналізувати властивості посадкової сторінки, що впливають на її ефективність, а також сформулювати критерії за якими можна передбачати ефективність посадкової сторінки. Цю мету планується досягнути як розв'язання наступних задач:

– проаналізувати використання лендінгу у сучасному Інтернет-маркетингу;

– визначити які властивості повинна мати посадкова сторінка;

– сформулювати критерії для прийняття рішення з використання лендінгу при плануванні конкретної Інтернет-кампанії.

1. Аналіз використання лендінгу у сучасному інтернет-маркетинзі

Як вже було зазначено посадкові сторінки активно використовуються у сучасному Інтернеті. Посадкова сторінка спонукає користувача виконати якусь дію, наприклад, купити товар, замовити номер у готелі, підписатись на отримання інформаційних листів і т.п.. Користувачі Інтернету постійно бачать контекстну рекламу на сторінках які вони відвідують. Наприклад, користувач хоче узнати прогноз погоди або результати спортивних змагань. Сторінка, на яку він потрапить, скоріш за все, буде мати рекламні майданчики в яких розміщені рекламні оголошення, через те, що розміщення рекламні це механізм фінансування таких сайтів як прогноз погоди або спортивний сайт. Переважна частина цих рекламних оголошень це посилання (лінки - *links*) на посадкові сторінки.

Авторами у [2] було наведено розбиття Інтернету на сектори (B2B, G2C, G2B і т.п.) за ознакою «власник сайту» – «відвідувач» і показано, що найбільш ємними ділянками для інтернет-маркетингу є сектори B2B (business-to-business) та B2C (business-to-customers). Саме відносини «бізнес-бізнес» та «бізнес-клієнт» є основною нішею для інтернет-маркетингу, як і для традиційного маркетингу взагалі. Найчастіше лендінг використовується у секторі B2C, бо саме в цьому секторі Інтернету відбувається переважна кількість фінансових обороток. Тобто це оборотки типу продаж товарів через інтернет-магазин або інтернет-вітрину, замовлення усіляких послуг і тому подібне. Учасники інших секторів (B2B, G2B) виконують, зазвичай, фінансові оборотки поза Інтернетом через їх складність та необхідність. Головна мета лендінгу – конверсія, тобто перетворення відвідувача посадкової сторінки у покупця, щоб він став учасником ланцюжка «товар–гроші» (рис.1).



Рис. 1. Ланцюжок «товар–гроші»

Власники сайту, в рекламних майданчиках яких розміщені лінки на посадкові сторінки, є одними з учасників фінансового ланцюжку «товар–гроші». Головними учасниками цього ланцюжку безумовно є власник товару (підприємець) і споживач (клієнт). Сучасний бізнес ускладнився і тому для створення цього ланцюжку використовуються різні методи. Інструмент лендінгу є ефективним засобом формування такого ланцюжку, але він має свою нішу та обмеження.

Таким чином, лендінг, як інструмент інтернет-маркетингу використовується переважно у секторі B2C з метою конверсії відвідувача сайту у клієнта (покупця). У інших секторах Інтернету лендінг використовується, переважно, у спробі перетворити відвідувача сайту у потенційного клієнта, з подальшою взаємодією поза посадковою сторінкою (листування, телефонія, особисті зустрічі і т.п.).

2. Аналіз вимог до посадкової сторінки

Як відомо, маркетингова діяльність спрямована на підвищення конкурентноздатності власника бізнесу. У підвищенні конкурентноздатності бізнесу є багато шляхів. Один з них це застосування довгострокової інтернет-маркетингової кампанії, що включає в себе створення максимально ефективного (привабливого, швидкого, функціонально наповненого і т.п.) інтернет-ресурсу за допомогою якого потенційний споживач може задовольнити свої потреби – придбати товар, отримати інформацію про послуги і т.п. Наступним кроком є розміщення інформації про інтернет-ресурс на рекламних майданчиках відповідних сайтів (довідкові сайти, сайти новин, інші сайти з високим рейтингом). Дуже важливим є просування інтернет-ресурсу у рейтингах пошукових сайтів. В Україні найбільш популярним пошуковим сайтом є Google.ua. Також доцільним є розробка мережі партнерських сайтів – сайтів, що містять статті, фото, відео про різні аспекти пов'язані з тематикою продукції власника бізнесу та використовувати їх як рекламні майданчики свого інтернет-ресурсу. Останнім часом інтернет-маркетинг характеризується стрімким зростанням використання соціальних мереж. Тому дуже важливо створити власні сторінки та кола друзів у різних соціальних мережах. Це дозволить робити посилання на позитивні відгуки на здійснені послуги та оперативно реагувати на негативні відгуки – з'ясувати причини цих відгуків і, у випадку їх об'єктивності, намагатися усунути відповідні причини або наслідки. Для великих компаній взаємодія з соціальними мережами перетворюється у постійний процес до якого залучені фахівці з public relations.

Дослідники у галузі психології інтернет-покупців [3] зазначають, що «основними прийомами збільшення продаж для інтернет-магазинів є вплив на емоційну сферу потенційних покупців. Сучасний маркетинг, в першу чергу, використовує мимовільну реакцію мозку на різні психологічні прийоми». І далі [3] наводить декілька таких прийомів.

Перед маркетингологами ставиться задача утримання уваги відвідувачів сайту, надати їм інформацію про переваги продуктів або послуг, а також сформувати у них інтерес до таких дій:

- можливість придбати запропонований товар або послугу;
- залишити заявку на замовлення товару або послуги;
- зареєструватися або підписатися на розсилання.

Виходячи з того, що мета(місія) посадкової сторінки це конверсія відвідувача у покупця, сформулюємо, які властивості повинна мати така сторінка. Перша і головна властивість такої сторінки – не відлякати потенційного клієнта. Тобто оформлення сторінки повинно бути таким, щоб у відвідувача не виникло бажання закрити цю сторінку, бо закриття сторінки означає що місія сторінки провалена і мета не досягнута. Це накладає вимоги на стилістику та

структуру сторінки. На основі знань з психології [4] та практики Інтернет-маркетингу можна вказати на такі властивості посадкової сторінки:

- сторінка повинна бути оформлена у заспокійливих тонах;
- мати невелике інформаційне навантаження (якомога менше тексту);
- ілюстраційне дублювання – по можливості текст дублювати за допомогою образного статичного малюнку або фото;
- відсутність на сторінці постійної анімації (активованого відео, ротаторів і т.п.), будь яка анімація тільки як реакція на дії користувача;
- містити самоідентифікацію, наприклад назву фірми або компанії – відвідувач має розуміти з ким має справу;
- заклик до дії та відсутність вибору при прийнятті рішення, тобто тільки одна кнопка з назвою дії, яка очікується від відвідувача, наприклад «КУПИТИ», «ЗАКАЗАТИ», «ПІДПИСАТИСЬ» і т.п.;

– чесність – дотримання обіцянок, що були дані відвідувачу до потрапляння на посадкову сторінку. Тобто якщо відвідувач потрапив на посадкову сторінку через посилання на банері на якому була обіцянка скидки на товар або позачерговість записи на прийом фахівця, то необхідно, у разі конверсії, дотримуватись цих обіцянок;

– «демонстрація духу корпорації» – не обов'язковий, але бажаний елемент, що у вигляді слогана, який формулює девіз корпорації, наприклад, «Інтернет кожному», «автомобіль не розкіш, а образ життя» або універсальне – «клієнт завжди правий».

Тепер розглянемо структуру посадкової сторінки на прикладі сайту компанії Wix [5] (рис. 2).

Ця сторінка містить наступні елементи:

- самоідентифікацію, у даному випадку це назва компанії (Wix), що розташована у лівому верхньому куті сторінки;– «демонстрацію духу корпорації» – це слоган «It All Starts with Your Stunning Website», який можна перекласти як «Все починається з Вашого приголомшливого веб-сайту»;

– ілюстративне дублювання, у даному випадку конструктор сайтів, яке можна сформулювати як «Людина на тлі ранкового міста»;

– стислий опис продукту («Wix unites beauty and advanced technology to create your stunning website. It's easy and free. « – «Wix об'єднує красу та сучасні технології для створення приголомшливого веб-сайту. Це легко і безкоштовно. «);

– заклик до дії («Start now» – «Почни зараз»), а саме до створення веб-сайту і прямо зараз.

Ця сторінка відповідає зазначеним вище вимогам. Постійна анімація відсутня. Анімація виникає лише при наведенні курсору миші на кнопки «Создать сайт» та «Войти».

Проаналізуємо типове сприйняття цієї сторінки (рис. 2). Це сприйняття поділяється на свідоме і підсвідоме. З психології [6] відомо, що підсвідоме сприйняття формується долі секунди і впливає на свідоме сприйняття. Якщо на підсвідомому рівні буде сформоване відторгнення сторінки, то тільки якась додаткова мотивація буде спонукати відвідувача залишитись на сторінці.

На першому кроці, коли формується підсвідоме сприйняття, сторінка наведена на рис. 2 не викликає відторгнення, бо вона виконана у не агресивному стилі. Фоновий малюнок сторінки має плавний перехід у «холодних» кольорах, які не викликають у людини роздратування.

На наступному кроці починає формуватись свідоме сприйняття. Зазвичай людина починає сприймати текстову інформацію що має найбільший шрифт і розмішену у середині або у верхній частині сторінці. На рис. 2 найбільшим шрифтом надано слоган який центрований по горизонталі і розташований трохи вище середини екрану. Тому, скоріш за все, відвідувач спочатку прочитає слоган.

Люди мають різну швидкість читання. На думку авторів у даному випадку люди з високою швидкістю читання (зазвичай це люди з вищою освітою) прочитають слоган як єдине висловлювання без внутрішнього приговорювання. Люди з повільною швидкістю читання сприймуть цей слоган як

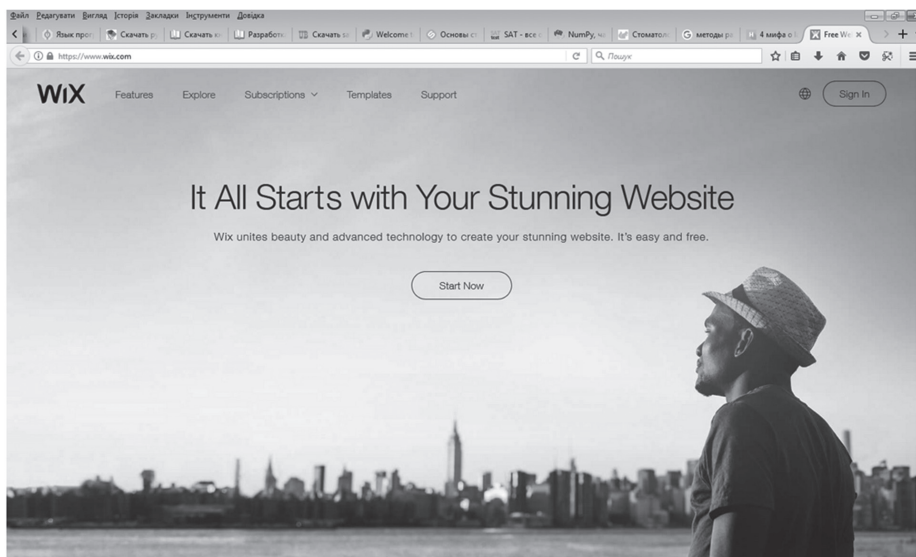


Рис. 2. Приклад посадкової сторінки

сукупність двох двослівних словосполучень поєднаних союзом, можливо затримавшись на сприйнятті слова «великолепного». Саме це слово трохі ускладнює сприйняття слогану.

Після усвідомлення сенсу слогану людина, скоріш за все, з ним погодиться сформувавши власну оцінку на штатт «мабуть так».

Другим кроком свідомого сприйняття буде звертання уваги на кнопку «Start now», тому що вона розташована так, що навколо неї багато вільного місця, а овал навколо напису робить цю кнопку другим за розміром об'єктом.

Послідовність наступних кроків свідомого сприйняття сторінки не є такою очевидною як перші два кроки. Але після цих двох кроків виконана дуже важлива частина місії – у відвідувача не виникло відторгнення сторінки і почалось формування зацікавленості через сприйняття двох факторів:

– перше, відвідувача скоріш за все зацікавив слоган;

– друге, відвідувач усвідомив, що він може створити сайт прямо зараз і безкоштовно.

Власне кажучи перше враження вже сформувалося і воно, скоріш за все, позитивне. Подальші дії відвідувача залежать від багатьох факторів, аналіз яких автори відкладають на потім.

У якості ще одного аналізу посадкової сторінки приведемо аналіз наведений на сайті <http://rusefusion.ru> [6] (рис. 3).

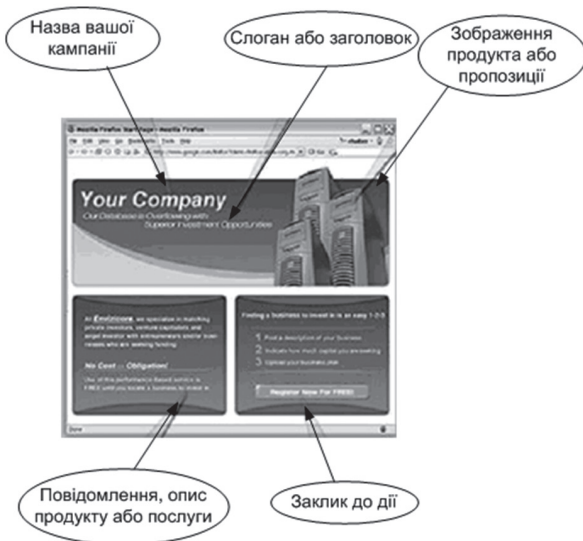


Рис. 3. Приклад структури посадкової сторінки

Автор цього аналізу формує наступні тези, яких необхідно дотримуватись при створенні посадкової сторінки [6]:

– «не залишайте вибору» – ви повинні чітко сформулювати вимогу для відвідувача сторінки, тобто що від нього очікується;

– «будьте чесними» аналізуйте за яким посиланням прийшов відвідувач, якими обіцянками його заманили на цю сторінку;

– «позначте заклик до дії» не перевантажувати сторінку зайвою інформацією – заклик до дії має бути максимально зрозумілим;

– «максимально збільшить довіру» розмістіть логотипи ваших клієнтів або партнерів, які, на вашу думку, підвищують довіри до вашої компанії;

– «намагайтесь використовувати мінімум слів» вербальна інформація сприймається клієнтом довшо ніж візуальна;

– «зведіть до мінімуму всі візуальні подразники» анімація, різнокольорові тексти відволікають від сприймання основної ідеї посадкової сторінки.

Підсумовуючи ці тези автор статі на <http://rusefusion.ru> [6] робить висновок «чим зрозуміліша сторінка для клієнта, чим менш вона його дратує, тим більше шанс того, що він виконає ту дію, якої Ви від нього вимагаєте».

Автори цілком згодні з тезами викладені у [6]. А останню тезу можна розширити, додавши ще звукові подразники, бо з власного досвіду знають, що несанкціоноване звукове супроводження сторінки інколи дуже дратує і викликає бажання закрити таку сторінку навіть не проглядаючи її.

Таким чином, автори вважають, що посадкова сторінка повинна мати такі властивості (упорядковані за важливістю):

– не дратувати, тобто мати заспокійливий стиль оформлення (дизайн);

– максимально скорочене інформування про пропозицію;

– наявність заклику до дії і без альтернативності цієї дії;

– дублювання пропозиції у нетекстовому форматі (образне подання пропозиції);

– самоідентифікацію;

– чесність;

– наявність тільки вкрай необхідної інформації.

3. Розробка посадкової сторінки

При розробці посадкової сторінки можна скористатися різними методами.

Розглянемо метод персонажів. Головне правило, для створення сторінки що продає, це формування торгової пропозиції виходячи з потреб користувача, з визначення його потреб, а не з того, що ви можете і готові продавати. Метод персонажів полягає в тому, щоб знайти підхід до кожного клієнта, і зрозуміти, що конкретно йому необхідно. Цей метод допоможе правильно сегментувати цільову аудиторію і визначити основні потреби. Визначивши аудиторію, ви отримаєте кілька різних персонажів з унікальними потребами, з різними інтересами і абсолютно різними пропозиціями.

Метод «принципу послідовності» [7] пропонує алгоритм покрокового створення посадкової сторінки. На відміну від методу персонажів метод «принципу послідовності» розпочинається з намагання з'ясувати якого клієнта хоче отримати власник продукту (послуги). Тобто замовник лендінгу обирає собі цільову аудиторію – інакше кажучи визначає які потреби (бажання) повинні мати клієнти, і вже виходячи з цього формувати посадкову сторінку.

4. Доцільність створення посадкової сторінки

Доцільність створення посадкової сторінки залежить від кількох факторів. Як було зазначено вище створення посадкової сторінки для секторів B2B, G2B, B2G не є характерним явищем. В цих секторах посадкові сторінки доцільно створювати у випадках масовості потенційних клієнтів і якщо за мету перед сторінкою ставити залучення потенційних клієнтів до прямих переговорів. У зазначених секторах і надалі переважають інші засоби ведення бізнесу, що не концентруються на Інтернет-технологіях.

У секторі B2C діють такі фактори:

- необхідність підвищити кількість реалізацій пропозицій (товару, послуг і т.п.);
- потенційна можливість подання пропозиції як посадкової сторінки;
- наявність позитивного досвіду використання лендінгу для подібних пропозицій, власного або у конкурентів;
- бізнес-план впровадження лендінгу обіцяє прибутковість;
- у даній сфері відсутній досвід застосування лендінгу.

Критерії зі прийняття рішення про використання лендінгу у секторі B2C можна сформулювати наступним чином:

- якщо хоча б один із перелічених факторів присутній і ресурси на впровадження лендінгу не є критичними, то автори рекомендують впровадити лендінг;
- якщо витрати на впровадження лендінгу є критичними, то обов'язковим є прибутковість бізнес-плану і ще хоча б одного із зазначених факторів.

У будь-якому випадку автори цього дослідження не беруть на себе фінансової відповідальності за результати впровадження лендінгу.

У даний час автори працюють над більш детальною моделлю прийняття рішення про впровадження лендінгу для власників малого та середнього бізнесу у галузі медичних послуг із залученням інформаційної технології пошуку логічних помилок в текстових описах розгалужених процесів [8].

Висновки

У дослідженні розглянуто лендінг як інструмент сучасного інтернет-маркетингу. На основі розбиття користувачів Інтернету на сектори, показано у яких секторах використовується лендінг і наведено причини цього. Виконано аналіз структури посадкових сторінок, визначено які властивості повинна мати посадкова сторінка, сформульовані критерії для прийняття рішення з використання лендінгу.

Авторами ведеться науково-дослідна робота з аналізу та моделювання сучасного інтернет-маркетингу, метою якої є розробка методів та моделей, що дозволять розробити об'єктивні критерії оцінки ефективності інтернет-маркетингових кампаній, та допомогти у їх організації, проведенні і аналізі.

Список літератури: 1. Литовченко І.Л. Інтернет-маркетинг / І.Л. Литовченко – К.: Центр учбової літератури, 2011. – 332 с. 2. Омаров М.А., Тиха Т.В. Аналіз та моделювання

інтернет-маркетингу // Вісник НТУ «ХПІ». 2016. № 37 (1209) – С. 67-72. 3. *Психологические приемы продаж через Интернет: что надо учитывать?* [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://witget.com/blog/psixologicheskiepriemu-prodazh-cherez-internet-chno-nado-uchityvat/> – Дата звертання: 18 вересня 2017. 4. Чалдини Р. Психологія впливу «Книжковий Клуб «Клуб Сімейного Дозвілля», 2017, ISBN 978-617-12-3352-2, с. 352. 5. *Free Website Builder | Create a Free Website | Wix.com.* [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://wix.com/> – Дата звертання: 18 вересня 2017. 6. *Посадочные страницы (Landing page)* [Електронний ресурс]. Режим доступу: http://rusfusion.ru/articles.php?article_id=103 – Дата звертання: 18 вересня 2017. 7. *Пошаговый алгоритм создания Landing Page (посадочных страниц)* [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.youtube.com/watch?v=EIHtO-GWbvk> Дата звертання: 14 листопада 2017. 8. Hutsa, O. Development of the information technology for checking textual procedures for logical coherence and completeness [Text] / Oleh Hutsa, Nataliya Igumentseva, Nina Dovgopol, Sofiia Yakubovska / Eastern-european Journal of Enterprise Technologies, Vol.5, No 2(89) 2017 – p. 55-64.

Resume

МА. Омаров, Т.В. Тыха

LANDING — ANALYSIS AND MODELING

Background: Internet marketing is the development of classical marketing, which uses the capabilities of modern information technology in organizing, conducting and analyzing the results of Internet marketing campaigns. Internet marketing is rapidly developing as a practical activity and as a theory. Internet marketing uses traditional (classical) marketing methods and develops its own methods based on the capabilities and specificities of information technology used on the Internet. The Internet advertising market is growing much faster than other sectors of the advertising market - TV advertising, radio advertising, advertising in magazines and newspapers, and the like. One of the tools of Internet marketing is the landing. The task of the analysis of the landing as an instrument of modern Internet marketing is actual due to the active use of the landing in practice and due to the lack of a generally accepted assessment of this tool, i.e. the opinion about this tool is in the formation stage.

Materials and methods: The paper uses methods of analysis of human perception of information presented on the landing page - visual, textual, and sound. The results of this analysis are used to evaluate the effectiveness of landing pages for human decision-making. In addition, the work uses the division of Internet users and site owners into classes (classification of Internet users).

Results: The work analyzes for which segments of the Internet is used the leasing. The work also shows how the design of the landing page affects the formation of the visitor's opinion of the site, namely, showing what properties should have landing page to achieve the task of the landing — turning page visitors into the client. Also, the factors of the expediency of using a landing are analyzed. To them, in the Internet sector B2C, relate; the need to increase the number of sales proposals (goods, services, etc.); the potential opportunity to submit a proposal as a landing page; the presence of a positive experience of using a layout for such offers, own or with competitors; The business plan for implementing the layout promises profitability. And the last of the factors — in this area there is no experience of application of a landing.

Conclusion: The criteria for deciding whether or not to use the leasing are reasonable are the criteria formulated in the work - if the costs for the introduction of the landing are not critical and there is clearly at least one of the factors of the advisability of the implementation of the landing, then it is recommended to introduce the landing. In the event that the costs for the introduction of the landing are critical, then the mandatory condition for the profitability of the business plan and the presence of at least one factor of the expediency of the introduction of the landing should be put into the obligatory condition. Also in the work is formulated a list of properties of the landing page influencing the achievement of the goal of Internet marketing campaigns.

Надійшла до редколегії 27.09.2017

УДК 681.518:37.013.32 : 512.816



М.А.Омаров, Р.И. Цехмистро, В.Х.Мурадова
 ХНУРЭ, г. Харьков, Украина, murad.omarov@nure.ua;
 ХНУРЭ, г. Харьков, Украина, 1970ts@rambler.ru
 ХНУРЭ, г. Харьков, Украина, viusalia.muradova@nure.ua

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕОРИИ НЕЧЕТКИХ МНОЖЕСТВ ДЛЯ ЗАДАЧИ СОЗДАНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ОЦЕНИВАНИЯ ЗНАНИЙ СТУДЕНТОВ ДИСТАНЦИОННОЙ ФОРМЫ ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ТЕХНИЧЕСКИХ СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ

Рассматривается подход к способам создания экспертных оценок для определения уровня знаний студентов дистанционной формы обучения путем использования вероятностного подхода на основе Байесовских процессов в сравнении с подходом на основе теории нечетких множеств. Применен метод экспертного оценивания с матричным представлением исходных данных для области дистанционного образования.

ДИСТАНЦИОННОЕ ФОРМА ОБУЧЕНИЕ, БАЙЕСОВСКАЯ ОЦЕНКА, ЭКСПЕРТНАЯ СИСТЕМА, ЭКСПЕРТНАЯ ОЦЕНКА, НЕЧЕТКОЕ МНОЖЕСТВО.

Омаров М.А., Цехмистро Р.И., Мурадова В.Х. Використовування теорії нечітких множин для завдання створення інформаційної системи оцінювання знань студентів дистанційної форми навчання для технічних спеціальностей. У статті розглядається підхід до способів створення експертних оцінок для визначення рівня знань студентів дистанційної форми навчання шляхом використання імовірнісного підходу на основі байєсівського процесів в порівнянні з підходом на основі теорії нечітких множин. Застосовано метод експертного оцінювання з матричним представленням вихідних даних для області дистанційної освіти.

ДИСТАНЦІЙНА ФОРМА НАВЧАННЯ, БАЙЄСІВСЬКА ОЦІНКА, ЕКСПЕРТНА СИСТЕМА, ЕКСПЕРТНА ОЦІНКА, НЕЧІТКА МНОЖИНА

Omarov M.A., Tsekhmistro R.I., Muradova V.X. Use of the theory of fuzzy sets for the problem of creation of information system of estimation of knowledge of students remote forms of training for technical specialties. The article considers the approach to the methods of creating expert assessments for determining the level of knowledge of students of distance learning by using the probabilistic approach based on Bayesian processes in comparison with the approach based on the theory of fuzzy sets. The method of expert estimation with a matrix representation of initial data for the field of distance education is applied.

REMOTE FORM TRAINING, BAJESOVSKAYA ESTSENKA, EXPERT SYSTEM, EXPERT EVALUATION, FUZZY SET.

Введение

Проблема выбора контроля обучения является актуальной, ей посвящено немало количество работ связанных как с поиском технических средств обучения, так и моделированием процесса обучения [1]. Одной из проблем при построении эффективных диагностических (экспертных) систем является необходимость учета большого количества различных параметров и их согласование между собой.

Традиционная архитектура экспертной системы включает в себя базу данных, базу знаний и решающий модуль. Решающий модуль, используя исходные данные из рабочей памяти и знания из базы знаний, формирует такую последовательность правил, которые, будучи примененными к исходным данным, приводят к решению задачи. Выбор и создание последовательности правил и составляет одну из главных проблем построения учебных экспертных систем. Эта проблема непосредственно связана с созданием и эффективным использованием баз данных из которых берутся исходные данные для выбора и применения того или иного правила. Правила представляют собой

один или несколько алгоритмов, моделирующих процесс оценивания знаний студентов дистанционной формы обучения.

Одним из направлений построения экспертных систем является использование Байесовских сетей доверия в сравнении с использованием теории нечеткой логики. Это приобретает особую актуальность в связи с необходимостью эффективного поиска информации в базах данных, что в немалой степени используется в алгоритмах моделирующих процессы диагностики. Например, возникает важный вопрос какой метод (сети Байеса или нечетких множеств по Мамдани) предъявляет менее жесткие требования как к наполняемости баз данных так и к их поиску без потери эффективности. Использование реляционных баз данных позволяет использовать язык SQL-запросов, который на современных компьютерах получать практически мгновенно данные из множества таблиц, содержащих большое количество как символьной, так и числовой информации. Системы подобные MySQL позволяют еще и проводить вычисления в таблицах используя встроенный язык программирования. Однако подобные средства разработки

(Oracle, MySQL и т.д.) созданы исключительно для работы с базами данных и непригодны для построения экспертных систем. Анализ существующих подходов к проектированию баз данных указывает большие возможности объектно-реляционных баз данных, в которых используется языки объектно-ориентированного программирования, в сочетании с технологией SQL.

Однако создание реальных экспертных систем, несмотря на имеющийся прогресс в области проектирования баз данных, по-прежнему сопряжен с трудностями, связанными как с визуализацией полученных результатов (придания наглядности) так и с необходимостью привлечения квалифицированных разработчиков и экспертов.

Следовательно, разработкой конкретной учебной экспертной системы под конкретное знание необходимо с точки зрения программирования начинать с методов моделирования текущих знаний.

В оценке состояния студента для принятия решений, связанных с выбором дальнейшей тактики обучения, важную информацию для преподавателя дает анализ субъективных факторов знаний.

Сложность объективной оценки перечисленных факторов является причиной использования методов, ориентированных на построение моделей, учитывающих неточность исходных данных. Именно в таких случаях применение математического аппарата нечетких множеств (НМ) является наиболее эффективным.

Целью исследования является выработка рекомендаций для разработки математической модели поддержки принятия решений, связанных с оценением студента и принятия решений относительно дальнейшей стратегии обучения.

Выработка практических рекомендаций для построения экспертной системы оценки знания студента на основе базы знаний и алгоритмов теории нечетких множеств путем анализа базы знаний.

1. Постановка задачи

В рамках задачи оценки знания студента в качестве лингвистических переменных использовать такие качественные показатели как: оценка посещаемости (использования) информационного ресурса (например MOODLE), оценка выполненных заданий индивидуально, оценка тестовых заданий, оценка результата собеседования с преподавателем в on-line режиме, оценка выполнения курсовых или расчетно-графических заданий.

1. Лингвистическая переменная «оценки регулярности использования информационного ресурса (например MOODLE)» представлена как:

$$\langle a1, S, X1, G1, M1 \rangle,$$

где $a1$ – использование информационных ресурсов; $S = \{ \text{“ Сежедневная- ежедневная посещаемость (В,А), } S_{\text{знач.}} - \text{ значительная посещаемость } E_x \neq C; \text{ Средняя- средняя посещаемость (Е); Смалая- малая посещаемость (F}_x \text{)”} \}$; $X1 = [0, 30]$ – количество

термов (элементов множества) например, количество скаченных примеров (задач), просмотренных видео уроков; $G1$ – процедура образования новых термов с помощью логических связок “И”, “ИЛИ” и модификаторов типа “очень”, “НЕ”, “слегка” и др.; $M1$ – процедура семантические правила “правильности”, задающие функции принадлежности нечетких термов, порожденных синтаксическими правилами $G1$.

2. Лингвистическая переменная «оценка выполненных заданий индивидуально» представлена как:

$$\langle a2, K, X2, G2, M2 \rangle,$$

где $a2$ – оценка выполненных заданий; $K = \{ \text{“ Котлично-В,А”}, \text{“ Кхорошо-С,В” Кудовл – } E_k, F_x \}$, 0-отсутствует правильное выполнение заданий”; $X2 = [0, 18]$ – количество термов (элементов множества); $G2$ – процедура образования новых термов с помощью логических связок “И”, “ИЛИ” и модификаторов типа “очень”, “НЕ”, “слегка” и др.; $M2$ – процедура семантические правила, задающие функции принадлежности нечетких термов, порожденных синтаксическими правилами $G2$.

3. Лингвистическая переменная «оценка выполненных тестовых заданий в онлайн режиме» представлена как:

$$\langle a3, C, X3, G3, M3 \rangle,$$

где $a3$ – оценка выполненных тестовых заданий в онлайн режиме; $T3 = \{ \text{“ Сотлично-задание выполнено на отлично”}, \text{“ Схорошо- задание выполнено хорошо”}, \text{ Судовл – задание выполнено удовлетворительно”} \}$; $X3 = [0, 20]$ – количество термов (элементов множества); $G3$ – процедура образования новых термов с помощью логических связок “И”, “ИЛИ” и модификаторов типа “очень”, “НЕ”, “слегка” и др.; $M3$ – процедура семантические правила, задающие функции принадлежности нечетких термов, порожденных синтаксическими правилами $G3$.

4. Лингвистическая переменная «оценка результата собеседования с преподавателем в on-line режиме» представлена как:

$$\langle a4, T4, X4, G4, M4 \rangle,$$

где $a4$ – степень знания студента во время проведения лекций в on-line режиме; $C = \{ \text{“ степень знания хорошее”}, \text{“ степень знания среднее”}, \text{“ степень знания плохое”} \}$; $X4 = [0, 10]$; $G4$ – процедура образования новых термов с помощью логических связок “И”, “ИЛИ” и модификаторов типа “очень”, “НЕ”, “слегка” и др.; $M4$ – процедура аналогичная $M3$ для правил $M4$.

Нечеткая база знаний, представляющая совокупности лингвистических высказываний имеет вид:

$$\mu(a_1, a_2, a_3, S, K, C) = \begin{cases} Q_{удовл} \text{ if } ((0 < a_1 \leq S_{\text{ежедневно}}) \text{ and } (0 < a_2 \leq K_{\text{отлично}}) \\ \text{ and } (0 < a_3 \leq C_{\text{отлично}})) \\ \text{ or } ((S_{\text{ежедневно}} < a_1 \leq S_{\text{сред}}) \text{ and } (0 < a_2 \leq K_{\text{отлично}}) \\ \text{ and } (C_{\text{отлично}} < a_3 \leq C_{\text{хорошо}})) \\ Q_{\text{приемлемая}} \text{ if } ((S_{\text{ежедневно}} < a_1 \leq S_{\text{сред}}) \text{ and } (K_{\text{отлично}} < a_2 \leq K_{\text{хорошо}}) \\ \text{ and } (C_{\text{отлично}} < a_3 \leq C_{\text{хорошо}})) \\ Q_{\text{сред}} \text{ if } ((0 < a_1 \leq S_{\text{ежедневно}}) \text{ and } (K_{\text{отлично}} < a_2 \leq K_{\text{хорошо}}) \\ \text{ and } (C_{\text{отлично}} < a_3 \leq C_{\text{хорошо}})) \\ Q_{\text{хорошо}} \text{ if } (S_{\text{ежедневно}} < a_1 \leq S_{\text{сред}}) \text{ and } (K_{\text{отлично}} < a_2 \leq K_{\text{хорошо}}) \\ \text{ and } (C_{\text{хорошо}} < a_3 \leq C_{\text{удовл}})) \\ \text{ or } ((S_{\text{ежедневно}} < a_1 \leq S_{\text{сред}}) \text{ and } (K_{\text{хорошо}} < a_2 \leq K_{\text{удовл}}) \text{ and } \\ (C_{\text{хорошо}} < a_3 \leq C_{\text{удовл}})) \\ \text{ or } ((S_{\text{сред}} < a_1 \leq S_{\text{знач}}) \text{ and } ((K_{\text{хорошо}} < a_2 \leq K_{\text{удовл}}) \text{ and } \\ (C_{\text{хорошо}} < a_3 \leq C_{\text{удовл}}))) \end{cases} \quad (1)$$

В данном соотношении присутствует пять переменных, не считая констант на которые раскладываются переменные S, K, C, G, T что затрудняет построение функции принадлежности в явном виде.

Аналитические зависимости между термом d_i и переменными b_1, b_2, b_3 устанавливается в случае объединения множеств S, K, C, G, T либо рассмотрения по отдельности каждого множества. Например, введя в рассмотрение $a = 0, b = S_{\text{мин}}, c = S_{\text{сред}}, b = S_{\text{знач}}$ получим трапециевидную функцию принадлежности

$$\mu(a_1) = \begin{cases} Q1 = \left(1 - \frac{S_{\text{ежедневно}} - b_1}{S_{\text{ежедневно}}}\right), (0 < b_1 \leq S_{\text{ежедневно}}) \\ Q2 = 1, (S_{\text{ежедневно}} < b_1 \leq S_{\text{сред}}) \\ Q3 = \left(1 - \frac{b_1 - S_{\text{сред}}}{S_{\text{знач}} - b_1}\right), (S_{\text{сред}} < b_1 \leq S_{\text{знач}}) \\ Q4 = \text{"другие варианты"} \end{cases} \quad (2)$$

2. Анализ лингвистических переменных

Аналогичные треугольные или трапециевидные принадлежности можно представить для множеств K и C если рассматривать эти факторы по отдельности, однако это не будет описывать реальную базу знаний для оценки знания, к тому же этот вариант усложнит или сделает невозможным процесс автоматизации (возможность построения экспертной системы).

Однако выражение (1) можно упростить, используя функции принадлежности, введенные в рассмотрение Болдвином [2-5].

Применяя квантификаторы, получим функции принадлежности термов применительно к соотношению (1) в предположении наличия одного нечеткого множества (признака знания), например оценивание регулярности использования информационного ресурса (например MOODLE)[6]:

$$-\mu_{\text{сред}}(X_2) = Q_{\text{сред}}(a_2) = Q_{\text{малая}}(a_2)^2; \quad (3)$$

$$-\mu_{\text{сред}}(X_2) = Q_{\text{знач}}(a_2) = 1 - Q_{\text{малая}}(a_2).$$

Данные соотношения представлены для нечеткого множества K, для нечеткого множества S с константами ($S_{\text{мин}}, S_{\text{сред}}, S_{\text{знач}}$) функции принадлежности имеют вид:

$$-\mu_{\text{хорошо}}(X_1) = Q_{\text{хорошо}}(a_1) = Q_{\text{удовл}}(a_1)^2; \quad (4)$$

$$-\mu_{\text{удовл}}(X_1) = Q_{\text{удовл}}(a_1) = 1 - Q_0(a_1).$$

Для нечеткого множества C определяем следующие функции принадлежности принимая во внимание большее число констант характеризующих границы степеней знания:

$$-\mu_{\text{удовл}}(X_3) = Q_{\text{удовл}}(a_3) = Q_{\text{хорошо}}(a_3)^{1/2};$$

$$-\mu_{\text{сред}}(X_3) = Q_{\text{сред}}(a_3) = Q_{\text{знач}}(a_3)^{1/2}; \quad (5)$$

$$-\mu_{\text{знач}}(X_3) = Q_{\text{знач}}(a_3) = 1 - Q_{\text{лег}}(Q_3);$$

$$-\mu_{\text{сред}}(X_3) = Q_{\text{сред}}(a_3) = Q_{\text{хорошо}}(a_3)^2.$$

Таким образом мы имеем дело с тремя нечеткими множествами S, K, C с разным значением конечных элементов (термов) $b_1 = X_1 = \{0 \dots 100\}$, $b_2 = X_2 = \{0 \dots 18\}$, $b_3 = X_3 = \{0 \dots 20\}$ в каждом множестве и с разным количеством функций принадлежностей, которые обуславливаются образовательные потребности в рассматриваемой ситуации.

Для эффективной оценки знания студента дистанционной формы обучения мы не можем уменьшить количество функций принадлежности и безосновательно пренебрегать количеством функций принадлежности данных на рассмотрение нечетких множествах [4].

В статье [1] были рассмотрены нечеткие отношения, следующие из модели базы знаний (1) на основании импликации и t-нормам, предварительно установив, что множества S, K, C являются входными, а множество D – выходным. Таких как

теоретико-множественные операции объединение и пересечения (правило ассоциативности для трех множеств). Анализируя статью [1] можно сделать выводы, что предложенный метод для решения в случае с входными множествами оказался громоздким. Использование его для случая из пяти входных множеств по мнению авторов приведет к еще более сложным вычислениям. Введенные выше операции над нечеткими множествами основаны на использовании операций \max и \min , что является удобным для их реализации в программных пакетах научного назначения Mathcad и Matlab [3]. Эти соотношения реализуемы и в средах разработки пригодных для создания экспертных систем и баз данных (они есть в языке SQL). В теории нечетких множеств разрабатываются вопросы построения обобщенных, параметризованных операторов пересечения, объединения и дополнения, позволяющих учесть разнообразие смысловые оттенки соответствующих им лингвистических связей естественного языка «и», «или», «не» [7]. Один из подходов к операторам пересечения и объединения заключается в их определении, при помощи нечетких операторов, т.е. треугольных норм. Следует обратить внимание на то, что представленные выше операции пересечения $\min(\mu_A(x), \mu_B(x))$ и объединения $\max(\mu_A(x), \mu_B(x))$, использующиеся как самостоятельно, так и при введении операций разности, симметрической разности и дизъюнктивной суммы – это только один из возможных вариантов определения данных операций, введенный основоположником теории нечетких множеств Л.Заде.

В работе [1] было рассмотрено Треугольная норма для отображения функции принадлежности. Была приведена треугольная норма (t-норма) называется двуместная действительной функций T. Было рассмотрено отображение двух функций принадлежности нормальных нечетких множеств

$\mu_A(x), \mu_B(x)$ в одну функцию принадлежности нормального нечеткого множества и удовлетворяющая следующим условиям, описанным в [1].

Результаты расчетов представленные в [1], показали, что зависимости построенные на реальных практически важных данных даже для небольшого числа элементов множеств гораздо сложнее чем трапецидальных зависимостей.

Этот подталкивает нас к другим методам экспертных оценок для установления более конкретных зависимостей.

3. Применение метода численного анализа

Предшествующие рассуждения, несмотря на относительную несложность базы знаний (1) не привели к конкретной наглядной концепции получения методов оценок. Перейдем к численным методам.

На основании результатов оценивания обучаемых по пяти параметрам: оценка регулярности использования информационного ресурса (например MOODLE), оценка выполненных заданий индивидуально, оценка выполненных тестовых заданий в онлайн режиме, оценка результата собеседования с преподавателем в on-line режиме, коэффициент использования методического обеспечения [6].

Рассмотрим таблицу 1 диагностики 10 (десяти) обучаемых проанализированных за семестр.

Представим их результаты в упрощенном виде при котором количество значащих элементов одинаково, т.е. соответствует 10, однако если одно и то же значение множества встречается более одного раза количество переменных уменьшается. Например, в множестве K значение 5 встречается у 1-ого, 2 и 10 студента, таким образом увеличивается их степень принадлежности значения 5 составляет 0,3.

Таблица 1

Диагностики 10 (десяти) обучаемых проанализированных за семестр

№ Студ.	Оценка регулярности использования информационного ресурса (например MOODLE) MD (max 30)	Оценка выполненных заданий индивидуально S (max 18)	Оценка выполненных тестовых заданий в онлайн режиме C (max 20)	Оценка результата собеседования с преподавателем в on-line режиме K (max 10)	Коэффициент использования методического обеспечения D (max 5)
1	25	15	18	5	4
2	15	10	10	5	3
3	28	8	15	2	2
4	20	12	12	0	1
5	10	7	8	2	0
6	15	10	16	4	3
7	20	6	12	3	2
8	5	15	10	0	4
9	14	5	7	0	1
10	23	3	17	5	3

Таблица 2

Результаты оценивания MD в группе студентов

Степень принадлежности элементов множества MD	0,1	Значение элементов множества MD	25
	0,2		15
	0,1		28
	0,1		10
	0,2		15
	0,2		20
	0,1		5
	0,1		14
	0,1		23

Таблица 3

Результаты оценивания S в группе студентов

Степень принадлежности элементов множества S	0,2	Значение элементов множества S	15
	0,2		10
	0,1		8
	0,1		12
	0,1		7
	0,2		20
	0,1		6
	0,1		5
	0,1		3

Таблица 4

Результаты оценивания C в группе студентов

Степень принадлежности элементов множества C	0,1	Значение элементов множества C	18
	0,2		10
	0,1		15
	0,2		12
	0,1		8
	0,1		16
	0,1		7
	0,1		17

Таблица 5

Результаты оценивания K в группе студентов

Степень принадлежности элементов множества K	0,1	Значение элементов множества K	9
	0,2		8
	0,1		6
	0,2		5
	0,1		7
	0,1		8
	0,1		4
	0,1		3
	0,1		2

Таблица 6

Результаты оценивания D в группе студентов

Степень принадлежности элементов множества D	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1
Значение элементов множества D	4	3	2	1	0

Рассмотрим матрицу оценок знаний десяти студентов конкретным преподавателем.

Матрица оценок из таблицы 1 представлена на рис. 1

$$M := \begin{pmatrix} 25 & 15 & 18 & 9 & 4 \\ 15 & 10 & 10 & 8 & 3 \\ 28 & 8 & 15 & 6 & 2 \\ 20 & 12 & 12 & 5 & 1 \\ 10 & 7 & 8 & 7 & 0 \\ 15 & 10 & 16 & 8 & 3 \\ 20 & 6 & 12 & 4 & 2 \\ 5 & 15 & 10 & 5 & 4 \\ 14 & 5 & 7 & 3 & 1 \\ 23 & 3 & 17 & 2 & 3 \end{pmatrix}$$

Рис. 1. Матрица оценок

Целесообразно представить все пять качества в системе с одинаковым максимальным количеством баллов для каждой группы. Однако по количеству баллов, которыми пользуются преподаватели для каждого фактора можно судить о степени важности каждого фактора. На рис. 2 представлена зависимость $Cr_i = f(i)$ – усредненное графическое отображение оценок студентов преподавателем по каждому фактору, соотношение

$$Cr_i = \frac{1}{m} \sum_{i=0}^{m-1} M_i ; \quad (6)$$

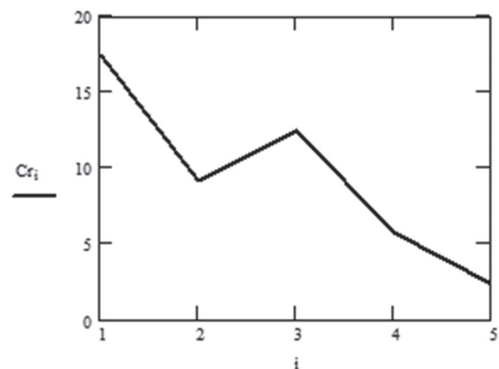


Рис. 2. Усредненное графическое отображение оценок студентов по каждому фактору

На рис. 3 представлена зависимость $E_{ksptrj} = f(j)$ – усредненное графическое отображение общей оценки знания конкретного студента по соотношению:

$$E_{ksptrj} = \frac{1}{n} \sum_{j=0}^{n-1} (M^T)_j ; \quad (7)$$

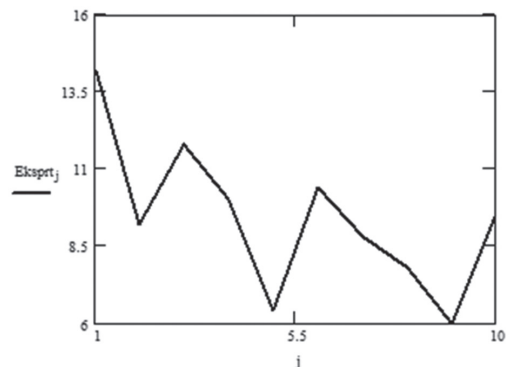


Рис. 3. Общая оценка знания конкретного (j-) студента

Указанные оценки имеют как количественную, так и качественную составляющую.

Из сопоставления зависимостей вытекает вывод о том, что разброс абсолютных значений по первому графику составил 10 раз, по второму около 20 раз.

Расчет весовых коэффициентов по результатам аттестации студентов проводится по соотношению:

$$a_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \left(\frac{M_{j,i}}{\sum_{i=1}^m M_{j,i}} \right); \quad (8)$$

$$\alpha = \begin{pmatrix} 0.368 \\ 0.197 \\ 0.264 \\ 0.124 \\ 0.048 \end{pmatrix}$$

$$a^T = (0.368 \ 0.197 \ 0.264 \ 0.124 \ 0.048); \quad (9)$$

Расчет средневзвешенной оценки результатов аттестации студентов в баллах:

$$K_m := \frac{1}{n} \cdot \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m (\pm M_{j,i}); \quad (10)$$

$$K_m = 12.346$$

Весовые коэффициенты i (строка) фактора знания (переменной) в общей оценке знания каждого студента j (столбец):

$$a_{i,j} = \frac{M_{j,i}}{\sum_{i=1}^m M_{j,i}}; \quad (11)$$

$$\alpha = \begin{pmatrix} 0.352 & 0.326 & 0.475 & 0.4 & 0.313 & 0.288 & 0.455 & 0.128 & 0.467 & 0.479 \\ 0.211 & 0.217 & 0.136 & 0.24 & 0.219 & 0.192 & 0.136 & 0.385 & 0.167 & 0.063 \\ 0.254 & 0.217 & 0.254 & 0.24 & 0.25 & 0.308 & 0.273 & 0.256 & 0.233 & 0.354 \\ 0.127 & 0.174 & 0.102 & 0.1 & 0.219 & 0.154 & 0.091 & 0.128 & 0.1 & 0.042 \\ 0.056 & 0.065 & 0.034 & 0.02 & 0 & 0.058 & 0.045 & 0.103 & 0.033 & 0.063 \end{pmatrix}$$

Оценка результирующего вывода о успеваемости студентов при равной значимости весовых коэффициентов:

$$K1_m := \frac{1}{n} \cdot \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m \left(\frac{M_{j,i}}{n} \right); \quad (12)$$

$$K1_m = 4.71$$

Численные значения весовых коэффициентов для пяти видов оценивания.

В числителях находятся коэффициенты, величина которых зависит от приоритетности видов оценивания. Вид оценивания MD=0.95 для (1), S=0.8 для (2), C=0.6 для K = 0,5 для D = 0,4 для (5). Поскольку приоритеты уже учтены баллах отводимые на каждый вид оценивания:

$$a1 = \frac{0,95}{n}, a2 = \frac{0,8}{n}, a3 = \frac{0,6}{n}; \quad (13)$$

$$a4 = \frac{0,5}{n}, a5 = \frac{0,4}{n}$$

Оценка степени успеваемости студента, при разном значении весовых коэффициентов учитывающих приоритеты видов оценивания представлена как:

$$K1 := \frac{1}{n} \cdot \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m (M_{j,i} \cdot \alpha_i); \quad (14)$$

$$K1 = (6.063 \ 4.841 \ 4.982)$$

$$\sum K1_m = 15.886$$

Данное оценивание нельзя назвать абсолютно четким исследование показало, что средневзвешенная оценка успеваемости студентов преподавателем составило 12,5 усл.балов. При предположении равно значимости весовых коэффициентов оценка знания студентов падает до 4,7 усл. баллов. При учете приоритета вида оценивания итоговая оценка знания составляет 15,8 усл. баллов. Данный метод экспертного оценивания основывается на гипотезе равной значимости весовых коэффициентов, значения которых четко зависят от максимального количества баллов, которые определяются преподавателями по определению.

К тому же его нельзя назвать методом четкого оценивания, поскольку есть необходимость учета приоритета вида оценивания (контроля).

Для установления влияния приоритетности, ввиду их важности видов оценивания проведем дополнительное Байесовское оценивание.

Рассмотрим определения важности одного из пяти приведенных диагностических признаков. Разделим приведенные диагностические признаки в зависимости от их важности (табл.5). Важность определим следующим образом высокая важность вида оценивания MD, достаточно высокая важность S, средняя важность оценивания C, низкая важность оценивания K, малозначимая важность оценивания D. Таким образом рассматривая конкретный критерий существует пять варианта. Оценка по критерию имеет одно из пяти значений. Примем, что 50% преподавателей считают, что оценка результата собеседования с преподавателем в on-line режиме имеет среднюю важность. 20% преподавателей считают, что имеют оценка регулярности использования информационного ресурса (например MOODLE) достаточную важность и 30% преподавателей считают, что оценка выполненных заданий индивидуально имеют малую значимость. Априорные вероятности в данном случае P(B1)= 0,5, P(B2)=0,3, P(B3)=0,2, P(B4)=0,1, P(B5)=0,1. Одними из критериев важности того или иного вида оценивание является использование его преподавателями и указывание на него студентами.

Существенный признак используют 80% процентов преподавателей. 50% процентов преподавателей используют признак средней важности, и 20% процентов преподавателей также учитывают виды оценивание имеющие малосущественные значения. Укажем также на то, что на высокую

важность вида оценивания отмечается 30% студентов $P(A2/B1)=0,3$, на достаточно высокую важность оценивания отмечается 20% студентов, на среднюю важность отмечается 30% студентов $P(A2/B3)=0,3$, на низкую важность отмечается 10% и на малозначимую важность отмечается 10% студентов $P(A2/B1)=0,1$.

Вероятность того, что важность оценивания "MD" для себя приоритетным считают указывает 20 проц. преподавателей $P(A1/B1)=0,2$. Вид оценивания "S" приоритетным для себя считают 20 проц. преподавателей. На вид оценивание "C" 30 проц. На низкую важность оценивания "K" приоритетным считают 10 проц. и 10 проц. преподавателей считают необходимым учитывать важность вида оценивания "D".

Таблица 5

Распределение вероятностей по приоритетности видов оценивания

Вероятность	1 высок. важн. вида оценив. MD	2 достаточно высокая важность S	3 средняя важность оценивания C	4 низкая важность оценивания K	5 мало-значимая важность оценивания D
$P(B_i)$	0,3	0,2	0,3	0,1	0,1
$P(A1/B_i)$	0,2	0,5	0,25	0,25	0,15
$P(A2/B_i)$	0,2	0,2	0,4	0,4	0,4
$P(A3/B_i)$	0,3	0,4	0,2	0,1	0,2
$P(A4/B_i)$	0,1	0,6	0,8	0,3	0,3
$P(A5/B_i)$	0,1	0,8	0,5	0,25	0,15

$$P\left(\frac{B_i}{A_i}\right) = \frac{P\left(\frac{A_i}{B_i}\right) * P(B_i)}{\sum_{k=1}^5 P\left(\frac{A_i}{B_i}\right) * P(B_i)}; \quad (15)$$

$$= \frac{0,2 * 0,3}{0,2 * 0,3 + 0,5 * 0,2 + 0,25 * 0,3 + 0,25 * 0,1 + 0,25 * 0,1} =$$

$$= \frac{0,06}{0,285} = 0,21$$

$$P\left(\frac{B_2}{A_2}\right) =$$

$$\frac{0,5 * 0,2}{0,2 * 0,3 + 0,5 * 0,2 + 0,25 * 0,3 + 0,25 * 0,1 + 0,25 * 0,1} =$$

$$= \frac{0,1}{0,285} = 0,35$$

$$P\left(\frac{B_3}{A_3}\right) =$$

$$= \frac{0,25 * 0,3}{0,2 * 0,3 + 0,5 * 0,2 + 0,25 * 0,3 + 0,25 * 0,1 + 0,25 * 0,1} =$$

$$= \frac{0,075}{0,285} = 0,26$$

$$P\left(\frac{B_4}{A_4}\right) =$$

$$= \frac{0,25 * 0,1}{0,2 * 0,3 + 0,5 * 0,2 + 0,25 * 0,3 + 0,25 * 0,1 + 0,25 * 0,1} =$$

$$= \frac{0,025}{0,285} = 0,08$$

$$P\left(\frac{B_5}{A_5}\right) =$$

$$= \frac{0,25 * 0,15}{0,2 * 0,3 + 0,5 * 0,2 + 0,25 * 0,3 + 0,25 * 0,1 + 0,25 * 0,1} =$$

$$= \frac{0,0375}{0,285} = 0,131$$

После результатов опроса студентов на предмет практической важности видов оценивания полностью подтвердились, доверия к предположениям B2 и B3 потеряло важность, т.е. виды оценивания средней и меньшей значимости подтверждаются как мнением преподавателей так и мнением студентов с меньшей вероятностью. Событие A1 - использование преподавателем видом оценивания как главного A2 - опроса студентов на вид оценивания успеваемости. B1 – вид оценивания знаний имеет существенную важность, B2 – вид оценивания имеет среднюю важность, B3 - имеет малую важность (выделяется меньше баллов).

Если независимость событий A2 и A3 объективна, то при верности гипотез B1, B2, B3 проведем оценки по формуле Байеса в следующем виде :

$$P\left(\frac{B_i}{A_1 A_2 A_3 A_4 A_5}\right) =$$

$$= \frac{P\left(\frac{A_1}{B_i}\right) * P\left(\frac{A_2}{B_i}\right) * P(B_i)}{\sum_{k=1}^5 P\left(\frac{A_1}{B_i}\right) * P\left(\frac{A_2}{B_i}\right) * P(B_i)}; \quad (16)$$

$$P\left(\frac{B_1}{A_1 \dots A_5}\right) = 0,000045$$

$$P\left(\frac{B_2}{A_1 \dots A_5}\right) = 0,0048$$

$$P\left(\frac{B_3}{A_1 \dots A_5}\right) = 0,003$$

$$P\left(\frac{B_4}{A_1 \dots A_5}\right) = 0,000094$$

$$P\left(\frac{B_5}{A_1 \dots A_5}\right) = 0,0000675$$

Данные оценки не противоречат результатам экспертного оценивания по соотношениям. Практика показывает, что совокупность таких факторов как средне модульная успеваемость студентов теряет актуальность. Например, провести тестовую оценку знаний одновременно не представляется возможным. То есть к концу модуля студенты проходят тест так или иначе, но если один студент провел его в рекомендованный срок, а

другой в не рекомендованный срок результаты теста оказываются разными априорно одинаково подготовленных студентов [8].

Выводы

В результате проведенного исследования были получены следующие результаты:

- построена модель базы знаний, которое наполнена правилами для определения важности вида оценивания;
- выполнен численный анализ и построена функция принадлежности термов от их значений ;
- применен метод экспертного оценивания с матричным представлением исходных данных для области дистанционного образования;
- выяснено, что использование функций одной и более количеством переменных для определения важности вида оценивания используется для построения базы знаний;
- было показано, что экспертное оценивания с представлением исходных данных в виде матриц согласуется с Байесовским оцениванием;
- дальнейшее развитие исследования авторы видят в использовании теории нейронных сетей для получения более весомых научных результатов.

Список литературы: 1. *Омаров М.А., Цехмистро Р.И., Трубицин А.А.* Поиск способов оценивания тяжести заболевания атопическим дерматитом с использованием модели нечеткого вывода // Бионика интеллекта: наук.-техн. журнал. – 2015.-№2 (85). С.74-80. 2. *Baldwin J.F.* Fuzzy logic and fuzzy reasoning. - London, Academic Press, 1981.] 3. *Штовба С.Д.* Проектирование нечетких систем средствами MATLAB / С.Д. Штовба. – М.: Горячая линия-Телеком, 2007. – 288с. 4. *Е.В. Брежнев.* Модель прогнозирования риска с использованием нечеткого вывода/ Е.В. Брежнев, А.А. Адаменко // Системы обработки информации, 2009, вип. 2(76). 5. *Леоненков А.* Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH / Леоненков А. СПб.: БХВПетербург, 2005. 736 с. 6. *Омаров М. А.* О функционировании системы дистанционного образования в современном образовательном пространстве / М. А. Омаров, В. Х. Мурадова // Ученые записки Азербайджанского Технического Университета. – 2011. – Т. 1. – 2016 № 3. С. 204-214. 7. *Мурадова В.Х.* Модель устойчивой детерминированной системы дистанционного образования / Мурадова В.Х. // Весник НТУ ХПИ Системный анализ,

управления и информационные технологии. Харьков. 2016. №37 (1209). С. 73-78. 8. *Левыкин В.М.* Разработка моделей при разработке требований к информационной системе на уровне знаний / Евланов М., Неумывакина О. // Восточно-Европейский журнал передовых технологий ISSN 1729-3774 5/2 (89) 2017.

Resume

M.A. Omarov, R.I. Tsekhmistro, V.X. Muradova USE OF THE THEORY OF FUZZY SETS FOR THE PROBLEM OF CREATION OF INFORMATION SYSTEM OF ESTIMATION OF KNOWLEDGE OF STUDENTS REMOTE FORMS OF TRAINING FOR TECHNICAL SPECIALTIES

Background: Expert systems are widely used in various fields of science, technology, and economics. When building expert systems aimed at solving specific practical problems, there are often problems of filling the knowledge base with sets of adequate rules. One of the directions for building expert systems is the use of Bayesian networks of trust in comparison with the use of fuzzy logic theory. This is especially relevant in connection with the need to effectively search for information in databases, which is to no small extent used in algorithms that model the diagnostic processes.

Materials and methods: The work uses methods of expert evaluation to determine the level of knowledge of students of distance learning. Linguistic variables are used for the task of assessing a student's knowledge. Analytical dependencies between different terms of linguistic variables are analyzed and quantifiers used to obtain membership functions of terms. In addition, the paper uses a probabilistic approach based on the Baus processes and its comparison with the approach based on the theory of fuzzy sets.

Results: As a result of the study, a knowledge base model was built, which is filled with rules for determining the importance of the type of assessment. Numerical analysis is also performed and the function of membership of terms from their values is constructed, the data of calculations are presented in tables, schedules are given for displaying students' scores for each factor and general assessment of the knowledge of a particular student. The paper also clarifies that the use of functions by one or more variables to determine the importance of the type of evaluation is used to build a knowledge base;

Conclusion: The work uses the method of expert evaluation with a matrix representation of the initial data for solving some theoretical problems in the field of distance education. It was also shown in the paper that expert evaluation with the representation of the initial data in the form of matrices is consistent with the Bayesian estimation.

Поступила в редколлегию 05.10.2017

УДК 004.043



О.Ф. Лановий, А.К. Кульмінський

ХНУРЕ, м. Харків, Україна, oleksiy.lanovyy@nure.ua

ХНУРЕ, м. Харків, Україна, kulminsky@gmail.com

ВИКОРИСТАННЯ ДАНИХ ЯК СЕРВІСУ ЗА ДОПОМОГОЮ ХМАРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Описані перспективні принципи агрегування та зберігання даних за допомогою хмарних технологій із використанням принципів Data as a Service (DaaS) та Big Data as a Service (BDaaS)

DaaS, BDaaS, ХМАРА, БАЗА ДАНИХ, ВЕБ-ПРИЛАД, СЕРВЕР

Лановой А.Ф., Кульминский А.К. Использование данных как сервиса при помощи облачных технологий.

Описаны перспективные принципы агрегирования и хранения данных при помощи облачных технологий с использованием принципов Data as a Service (DaaS) та Big Data as a Service (BDaaS)

DaaS, BDaaS, ОБЛАКО, БАЗА ДАННЫХ, ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЕ, СЕРВЕР

Lanovii A.F., Kulminsky A.K. Using data as a service by clouds technology. The perspective principles of aggregation and data storage with the help of cloud technologies are described with the use of the principles of Data as a Service (DaaS) and the Big Data as a Service (BDaaS)

DaaS, BDaaS, CLOUD, DATABASE, WEB APPLICATION, SERVER

Вступ

У теперішній час одним з ключових напрямків розвитку інформаційних технологій є використання інформації в якості сервісу за допомогою хмарних технологій на основі принципів DaaS та BDaaS. Експерти Gartner вважають, що прагнення користувачів ділитися своїми даними і мати до них доступ з різних цифрових пристроїв приведе до того, що до 2020 року половина всіх даних буде зберігатися в «хмарах».

У 2011 році, за підрахунками аналітиків, тільки 7% даних зберігалось на «хмарних» сервісах, а до 2018 року ця цифра має зрости до 36%. За прогнозами Gartner, якщо в 2011 користувачі зберігали приблизно 329 екзобайт даних, то до 2018 року ця цифра збільшиться до 7,3 зеттабайт. Основну частку зазначених обсягів, зазвичай, представляють мультимедійні файли і аналітичні копії існуючих серверів пошукових машин [4].

Суть хмарних технологій, таким чином, полягає в перенесенні обробки даних з персональних комп'ютерів і робочих станцій на сервери всесвітньої мережі. В області комп'ютерного моделювання це означає розгортання програмних комплексів на ресурсах Інтернет. Користувач стає не покупцем обчислювальних програм і комплексів, а їх орендарем, якому надаються різноманітні послуги. Форма купівлі—продажу товару з відчуженням прав власності від продавця до покупця змінюється на форму оренди, в даному випадку – продажу не продукту, а послуг з його використання клієнтом без зміни власника продукту. При цьому забезпечена повна відповідність виробничих потужностей інфраструктури фактичним потребам користувача. Хоча термін “хмарні технології” є сталим, в українській мові він має інше значення, ніж оригінал. “Cloud” окрім хмари має й інше значення – розсіяний; власне значення “розсіяний” і мається на увазі в англійській термінології [3].

Відмінності хмар від традиційних хостинг-рішень

Розглянемо основні відмінності хмар від традиційних хостинг-рішень:

- на відміну від dedicated-серверів, установка і налаштування яких займає багато часу, хмарні сервіси повинні бути доступні для використання відразу після покупки, те ж саме стосується більшості класичних послуг дата-центрів;
- на відміну від shared-хостингу, в хмарах є можливість нарощувати обсяг закуплених потужностей миттєво, без звернення до служби технічної підтримки оператора;
- на відміну від того, що було на ринку хостингу до хмар, хмарні продукти надають схему оплати за фактом, тобто оплату тільки тієї потужності, яку користувач дійсно використовує з досить коротким проміжком тарифікації.

Це основні принципи, за якими можна чітко відрізнити хмарні продукти. Однак, вони досить широкі, хоч і строгі. У поняття хмарного продукту вкладається три види поставки продукту користувачеві за ступенем гнучкості. Це надання інфраструктури як сервісу (в оренду), платформи як сервісу або програми як сервісу.

Характеристики великих даних (Big Data) даних

Згідно з принципом IBM 4V, великі дані мають такі характеристики [1]:

- Розмір: розмір даних дуже великий (вимірюється терабайтами і петабайтами), 90% сьогоденних даних було створено всього за останні 2 роки.
- Різноманітність: різноманітність цих даних сягає між структурованими (наприклад, файлами, базами даних), неструктурованими (наприклад, текстові) і напівструктурованими (наприклад, XML), 90% даних неструктурованих, це включає в себе твітів, фондових показників, історію придбання покупців та обслуговування дзвінків клієнтів.

- **Швидкість:** швидкість передачі (наприклад, швидкість твітів відрізняється від швидкості віддалених сканерів чи датчиків для кліматичних змін), 50.000 Гб за секунду є оціночною швидкістю глобального Інтернету трафік до 2018 року.

- **Вертикальність:** визначеність даних, 2 з 3 керівників підприємств мають довіряти інформацію, яку вони використовують для прийняття рішень.

Огляд хмарних сервісів

На ринку представлено кілька типів хмарних сервісів зберігання, призначених для користувача даних:

1. Сервіси, в яких користувачеві надається екземпляр СУБД на віртуальній машині.

2. Сервіси, в яких користувачеві надається СУБД без прив'язки до віртуальних машин і управління віртуальними машинами, масштабованість і відмовостійкість зберігання даних забезпечується постачальником сервісу.

3. Сервіси, в яких користувачеві надається можливість зберігання даних у вигляді таблиць, написання простих додатків для обробки цих даних деякою спеціалізованою мовою.

4. Сервіси зберігання файлів.

В контексті створення хмарного сервісу зберігання даних користувачів за допомогою DaaS-приладів інтерес викликає друга група, як найбільш повно реалізує переваги від застосування хмарних технологій і максимально зручна для користувача, що пов'язано з розробкою спеціального ПЗ для збірки різнорідних джерел даних за запитом клієнтів. Це дозволяє усунювати дозвілні дані за рахунок програмної інтеграції і запобігти невинуватим надмірності даних в мережі на основі сервіс-орієнтованої архітектури та відповідних протоколів. Інтеграція даних підтримує операції з композицією, агрегацією і тимчасовим (віртуальним) поданням даних, що зберігаються у різних власників. Дані залишаються під контролем власника і витягуються на вимогу клієнтів для інтегрованого доступу, можливо на комерційній або вільній основі.

У той же час клієнт — споживач інтегрованої інформації за рахунок єдиного для всіх потреб інтерфейсу позбавлений необхідності витягувати і погоджувати дані від різних джерел в різному форматі, що суттєво економить час і ресурси на розробку свого оригінального програмного забезпечення. При цьому він може і не знати в якій системі, де і як зберігаються цікавлять його дані: реляційна СУБД, файлові ресурси постачальників, результат роботи пошукових сервісів, фіксовані провайдери довідкових даних та ін. Усю роботу з пошуку і перетворення даних можна автоматизувати в рамках єдиної системи зберігання та доступу. Рішення про найкращий спосіб створення цього уніфікованого подання часто вибирається розробниками локальних систем з урахуванням доступності інструментарію, досвіду, кваліфікації та рівня інформаційної

культури організації. При використанні традиційних архітектур час, зусилля і витрати, пов'язані з інтеграцією, можуть звести нанівець її перевага для бізнесу. При реалізації в сервіс-орієнтованої середовищі підхід, заснований на використанні інформаційних сервісів на основі об'єднання у федерацію загальних даних, може істотно поліпшити характеристики повторного використання і знизити його вартість.

Концепції хмарного сховища

Загальноновизнаним стандартом представлення даних на транспортному рівні є XML. Якщо на транспортному рівні використовувати XML-подання, то опис структури збережених даних стає синонімом файлу визначення синтаксису XML-файла DTD (<http://ru.wikipedia.org/wiki/DTD>) або XML Schema ([Http://ru.wikipedia.org/wiki/XML_Schema](http://ru.wikipedia.org/wiki/XML_Schema)). XML-схеми витіснили DTD в силу їх великих можливостей і універсальності. В цьому випадку схеми подання інформації в XML файлі стає деяким аналогом таблиці в реляційній СУБД або класу об'єктів в об'єктно орієнтованих базах даних.

Таким чином, на основі підходу з використанням проміжного подання даних, що передаються в форматі документів на мові XML можна побудувати сховище даних, які делегуються в нього окремими власниками цих даних як на вільній, так і на комерційній основі. У ролі мови маніпулювання даних в цьому випадку буде виступати мова XQuery, дозволяє виконувати запити до наборів даних, представлених як документами XML, так і традиційними таблицями СУБД. На відміну від мови SQL мову XQuery дозволяє створювати запити до гетерогенним джерел даних, що робить його хорошим інструментом для роботи з розподіленими сховищами, наданими різними провайдерами, що входять у федерацію.

У такого сховища буде єдиний інтерфейс для маніпулювання сервісними даними, в тому числі і для дистанційного поповнення з подальшим модеруванням нових даних власниками фізичних копій для забезпечення їх цілісності і коректності. Для розробки дослідного зразка програмного забезпечення в якості полігону можна використовувати публікуються в мережі дані про банках, страхових компаніях, класифікатори адрес і інші джерела колективних даних. Як правило такі дані змінюються не часто і вибірки з них можуть кешуватися на локальних вузлах клієнтів для повторного використання. Оновлення кеша виконується адміністратором за запитом або регулярно за розкладом.

Якщо орієнтуватися на створення універсальної функціонально повної системи зберігання структурованих даних з використанням віртуальних схем на основі загальноприйнятої ідеології використання XML на транспортному рівні, то для такого уявлення потрібно розробити мову і систему інтерпретації для створення довільної схеми даних і її використання при передачі даних між

Рівня агрегації (Aggregation або Distribution). На цьому рівні також функціонують комутатори 3 рівня, основне призначення яких – розподіл навантаження між локальними мережами дата-центру.

Рівня доступу (Access). На цьому рівні розташовуються кінцеві точки (сервера, робочі станції та ін.) і мережеве обладнання, що зв'яже кінцеві точки з рівнем агрегації. На рівні доступу функціонують кластера дата-центрів, що складаються з множини фізичних серверів і великої кількості віртуальних машин на кожному з них. На цьому ж рівні найчастіше розташовується загальна мережа зберігання даних SAN (Storage Area Network). Група, що складається з взаємозв'язаних компонентів зберігання даних, обчислювальних і мережевих ресурсів, які працюють спільно на рівні доступу, щоб надати сервіс або додаток клієнту називається точкою доставки або POD (Point of delivery).

Висока готовність віртуального ЦОД досягається за рахунок дублювання мережних пристроїв на кожному рівні та використання резервних маршрутів та методів балансування навантаження.

Компоненти найнижчого рівня - сервера, які об'єднуються в кластера. На кожному фізичному сервері функціонує декілька віртуальних машин, тобто на одному фізичному мережному інтерфейсі є декілька віртуальних, обміном між якими управляє програмний компонент гіпервізор (Virtual Machine Monitor /Hypervisor).

Хмарні ІТ-інфраструктури навчального закладу включають в себе наступні компоненти:

- ядро хмари – ядро всієї ІТ-інфраструктури;
- персональні комп'ютери в лабораторіях, які є вузлами хмари.

Можливості мов програмування

Найбільш загальні можливості мають засоби мов програмування, наприклад, Java для обробки XML-документів [5]. Java-розробнику для створення XML-додатків доступні не менш шести розширень Java-платформи:

- Java API для обробки XML (JAXP - Java API for XML Processing);
- Java API для зв'язку XML з Java (JAXB - Java API for XML / Java Binding);
- Довгострокова персистенція JavaBean-компонентів;
- Java API для обміну повідомленнями XML (JAXM – (JAXM – Java API for XML Messaging);
- Java API для RPC XML (JAX RPC – Java API for XML RPC);
- Java API для реєстру XML (JAXR – Java API for XML Registry).

Базові інструменти для роботи з документами JAXP надає розробнику Java і технології для обробки XML документів, які залежать від JAXP. Серед них:

- SAX – простий API для XML;
- DOM – програмний інтерфейс API об'єктної моделі документа (Document Object Model) від консорціуму W3C;

- XSLT – мова перетворень каскадної таблиці стилів XML від консорціуму W3C;

- XPath – мова XML XPath від консорціуму W3C;

- JDOM – API оптимізованої об'єктної моделі документа від jdom.org.

Веб-сервіси є програми сервера і додатки клієнта, які зв'язуються через протокол World Wide Web (WWW) HyperText Transfer Protocol (HTTP). На концептуальному рівні, сервіс є програмним компонентом, доступним через кінцеву точку мережі (endpoint). Споживач і постачальник сервісу використовують повідомлення, щоб обмінюватися викликами запитів і отримання відповідної інформацією в формі самодостатніх документів, які припускають лише деякі припущення про технологічні можливостях одержувача [1].

На технічному рівні, веб-сервіси можуть бути реалізовані різними способами: JAX-WS веб-сервіси "Big" і JAX-RS веб-сервіси "RESTful".

JAX-WS технологія Java EE забезпечує функціональність для сервісів, що використовують повідомлення Extensible Markup Language (XML), які використовуються стандартом Simple Object Access Protocol (SOAP), визначальним архітектурі і формати повідомлень на мові XML. У таких системах часто опис сервісних операцій пропонується записувати на мові Web Services Description Language (WSDL) – варіанти мови XML для синтаксичного визначення інтерфейсів.

JAX-RS веб-сервіси на базі REST (REpresentational State Transfer – "RESTful") є колекціями сервісів, ідентифікованих своїми URI. Кожен документ або процес моделюється веб-ресурсом зі своїм унікальним URI. Ці веб-ресурси управляються діями, які можуть бути специфіковані в заголовку HTTP. Чи не використовуються ні стандарт SOAP, ні WSDL, ні стандарти WS. Замість них обмін повідомленнями може проводитися в різних форматах: XML, JSON, HTML і ін. Часто клієнтом є веб-браузер. Технологія в силу можливостей використовуваних транспортних протоколів не забезпечує захист транспортується інформації від несанкціонованого доступу, що є важливою особливістю RESTful. RESTful добре підходить для основних і оперативних (на льоту) сценаріїв інтеграції. веб-сервіси RESTful часто краще інтегровані в HTTP, ніж SOAP-орієнтовані сервіси.

Засоби JAX-RS в Java EE забезпечують функціональне призначення для сервісу RESTful. Вони не вимагають XML повідомлень або визначень WSDL сервісу. Проект JAX-RS - промислова готова реалізація для JSR 311: JAX-RS: Java API для RESTful Web Services. JAX-RS здійснює підтримку анотацій, визначених у JSR-311, полегшуючи розробникам формування веб-сервісів RESTful для Java і Java Virtual Machine (JVM).

Для роботи з XML документами консорціумом W3C розроблений мова запитів XQuery [4], [5], спеціально орієнтований на витяг даних зі складних структур документів.

На ринку інформаційних технологій існує широкий набір вільних і комерційних процесорів для обробки XQuery: Zorba (<http://sourceforge.net/projects/zorba/>), Xqilla (<http://xqilla.Sourceforge.net/HomePage>) та інші. Повний список продуктів цієї серії можна подивитися на <http://www.w3.Org/XML/Query/#implementations>. прикладом вільного ПЗ для обробки запитів є Xqilla – процесор XQuery написаний на мові C++ і викликається в інтерпретаторі командного рядка: `xqilla [options] <XQuery file>`.

Для виконання вимог розробки сервісного сховища хмарний сервіс зберігання даних користувачів DaaS-додатків повинен включати балансувальник навантаження і кілька однакових вузлів центрального сховища з сервером обробки запитів користувачів сховища (рис. 2).

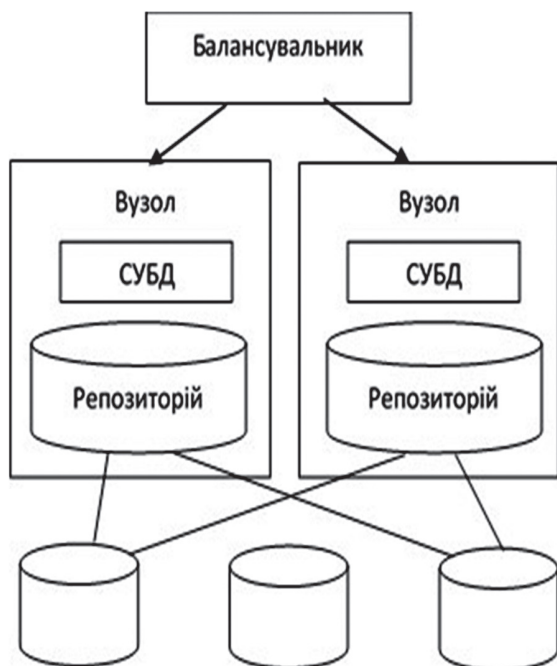


Рис. 2. Архітектура DaaS сховища

Репозиторій містить опис всіх доступних даних сховища, що містить такі відомості:

- внутрішній ідентифікатор запису сховища;
- зовнішнє ім'я блоку даних для ідентифікації користувачами;
- метадані - коментар вмісту блоку даних;
- формату, правил доступу та ін.;
- тип збережених даних: ключ-значення, XML-документ, файл і т.
- адреса зберігання;
- протокол доступу;
- порт доступу;
- Login/Password/рівень доступу користувачів (читання, запис);
- текст запиту але замовчуванням і його параметри;
- XML-схема подання результату запиту;
- місце обробки запиту: локальний вузол користувальницький центральний сервер;
- конвертор результату в XML-документ;
- власник ресурсу;

- ціна одиниці ресурсу;
- дата поновлення ресурсу;
- обсяг ресурсу;
- обробник запиту GET;
- обробник запиту POST;
- інші відомості.

Обробка запиту GET.

У запиті користувача па отримання ресурсу зазначаються:

- ідентифікатор ресурсу в репозиторії сховища;
- характер запиту: за замовчуванням або призначений для користувача;
- параметри для запиту за замовчуванням;
- текст запиту користувача, що включає форму результату.

Результат виконання запиту за замовчуванням завжди у вигляді XML-документа для забезпечення універсальності (прозорості) подання. Призначені для користувача запити формуються самостійно.

Залежно від типу ресурсу і СУБД обробка запиту може бути передана на локальний сервер СУБД зберігання ресурсу або виконана на центральному сервері сховища для запитів на мові XQuery до XML-документа локальних сховищ. Для цього ресурс прошу оформити на центральний сервер і може бути кеш, наприклад, в окремому полі записи про ресурс для економії трафіку в майбутніх запитах.

Якщо вміст ресурсу контролюється тільки локальної SQL СУБД, то контроль дати поновлення утруднений / неможливий. Тому кешувати такий ресурс не має сенсу.

Обробка запиту POST.

У запиті користувача на зміну ресурсу зазначаються:

- ідентифікатор ресурсу в репозиторії сховища;
- текст запиту користувача на зміну записів, в залежності від типу СУБД.

Після обробки запиту коригується поле дати зміни і, можливо, копія в кеші.

Переваги хмарних технологій

Перевагами хмарних обчислень є те, що користувач має можливість не купувати потужні комп'ютери. Зокрема, і організації можуть відмовлятися від придбання потужних серверів і йти "в хмари". Для розробника – контрольованість усього процесу. У разі виникнення проблеми їм істотно простіше буде змодельовати ситуацію, що викликала помилку, – адже усі дані і так зберігаються в них. Користувач оплачує послугу тільки тоді коли вона йому потрібна, а найголовніше він платить тільки за те, що використовує.

Хмарні технології дозволяють економити на придбанні, підтримці, модернізації ПЗ і устаткування [5].

Масштабованість, відмовостійкість і безпека – автоматичне виділення і звільнення необхідних ресурсів залежно від потреб додатку. Технічне обслуговування, оновлення ПЗ здійснює провайдер послуг.

Віддалений доступ до даних у хмарі – працювати можна з будь-якої точки на планеті, де є доступ в мережу Інтернет.

Недоліки хмарних технологій

Розглядаючи переваги “хмарних” обчислень, варто сказати і про недоліки, з якими зв’язаний перехід на “хмари”. Найбільш суттєвий з них – загроза інформаційної безпеки. В умовах жорсткої конкуренції, найбільше компанії бояться витоків даних з мережі “хмарного” провайдера внаслідок перехоплення інформації, втрати контролю над даними і додатками, неможливості знищення даних, дій інсайдера на стороні провайдера або інших користувачів “хмари”. Для захисту можна використовувати шифрування даних або їх знеособлення. При цьому шифрувати треба не лише ті дані, що зберігаються в провайдера, а й канал зв’язку з ним. Проте доки рішення, які дозволяли б ефективно захищати дані в “хмарі”, не вироблені.

Ще одним недоліком можна назвати прив’язку “хмарної” технології до конкретного постачальника послуг, збоїв на стороні провайдера, вихід з ладу інтерфейсу адміністрування, банкрутство і поглинання оператора. Компанії не даремно побоюються цих подій, оскільки це може принести їх бізнесу значний матеріальний збиток.

До інших ризиків можна віднести втрату зв’язку з мережею провайдера, DDoS-атаки і втрату відповідності вимогам регулювальників. Ці ризики можна понизити за допомогою правильного складання угоди про рівень обслуговування (Service Level Agreement, SLA), яке дозволить компенсувати частину збитків. Нормативні вимоги можуть змінюватися з часом, а закон “Про персональні дані” і зовсім робить “хмарні” обчислення непридатними на практиці. Проте, в деяких випадках хмарну систему можна зробити навіть більш захищеною, ніж традиційну архітектуру, за рахунок розподілу обов’язків і правильно складених домовленостей [4].

В першу чергу, це, звичайно, повна залежність користувача від підключення до Інтернету. Без Інтернету відразу пропадає все – листи, документи, контакти, ігри, заплановані завдання, встановлені будильники тощо. Ну і, звичайно, зростає ціна помилки. Якщо у виробника виникає будь-який збій, він ризикує втратити або видати у відкритий доступ усі дані. Так, наприклад, у 2009 році сервіс для зберігання закладок Magnolia втратив усі свої дані. Не можна сказати, що вірогідність цього вища, ніж поломка або втрата ноутбука користувача, але просто масштаб катастрофи може бути дійсно великий.

Користувач не є власником і не має доступу до внутрішньої хмарної інфраструктури. Збереження призначених для користувача даних залежить від компанії провайдера. Зазначимо певні недоліки:

- недолік актуальний для українських користувачів: для отримання якісних послуг користувачеві необхідно мати надійний і швидкий доступ до мережі Інтернет.
- відсутність загальноприйнятих стандартів у напрямі безпеки хмарних технологій.

Висновок

Роботи в області створення корпоративних сховищ у світовій практиці знаходяться в початковому стані, що дозволяє сподіватися на отримання в цьому напрямку результатів світового рівня, отримати пріоритет в просуванні цієї технології як в науковому плані, так і в плані комерціалізації результатів інтелектуальної діяльності. Цьому сприяє готовність ринку вільних інструментальних засобів розробки веб-додатків і веб-сервісів на мовах програмування Java, Python, Ruby on Rails, широко використовуваних в хмарних технологіях, і наявний широкий досвід використання цих інструментів для розробки веб-технологій для хмар.

Список літератури: 1. The Java EE 6 Tutorial – Oracle [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://docs.oracle.com/javaee/6/tutorial/doc/> (дата звернення: 17.08.2017) – Назва з екрана. 2. Построение XML (XQuery). [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://docs.microsoft.com/ru-ru/sql/xquery/xml-construction-xquery> (дата звернення: 10.05.2017) – Назва з екрана. 3. С. М. Саракко, Д. Чамберлін, Р. Ахуджа. DB2 и XML: Запрос XML-данных при помощи Xquery. [Электронный ресурс]. Режим доступу: <http://www.ibm.com/developerworks/ru/library/db2xml-5/index.html> (дата звернення: 30.09.2017) – Назва з екрана. 4. Облачные вычисления (мировой рынок) [Електронний ресурс]. Режим доступу: http://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Облачные_вычисления:мировой_рынок (дата звернення: 15.11.2017). 5. Хорстманн К., Корнелл Г. Java 2. Библиотека профессионала, том 2. Расширенные средства программирования. 10-е издание: Пер. с англ. – М.: Диалектика-Вильямс, 2016. – 968 с.

Resume

Lanovii A.F., Kulminsky A.K. USING DATA AS A SERVICE BY CLOUDS TECHNOLOGY

Background: At present, one of the key areas for the development of information technology is the use of information as a service through cloud-based technologies based on the principles of DaaS and BDaaS. There are several types of cloud storage services available for the user on the market, the features of which are described in this article.

Materials and methods: The article analyzed the concepts of cloud technologies and the possibilities of modern programming languages (for example, Java) for the possibility of implementing the principle of data as a service. The schemes of functioning of corresponding service systems are resulted and processing relevant data requests in their environment.

Results: The analysis provides recommendations on the use of modern programming languages to create systems based on the principles of DaaS data storage formats in these systems, methods and features of access to them.

Conclusion: Work on the creation of corporate storage facilities in the world practice resides in the initial state, which allows us to hope for obtaining in this direction world's class results of the world, to receive the priority in advancing this technology both scientifically and in terms of commercialization results of intellectual activity. This is facilitated by the readiness of the market for free tools for developing web applications and web services in the Java programming languages, Python, Ruby on Rails, widely used in cloud-based technologies, and there is a widespread use of these tools for the development of web technologies for clouds.

Надійшла до редакції 06.10.2017

УДК 615.47



Я.В. Носова

¹ Харьковский национальный университет радиоэлектроники,
г. Харьков, Украина, пр. Науки 14, 61166 nyav007@gmail.com

К ВОПРОСУ О ФОРМАЛИЗАЦИИ ДИАГНОСТИКИ ОБОНЯТЕЛЬНЫХ НАРУШЕНИЙ

Обоснована необходимость использования лингвистических переменных и аппарата нечеткой логики для формализации диагностики обонятельных нарушений с целью повышения объективности диагностики дыхательно-обонятельных нарушений. Предложена классификация степени нарушения восприятия запахов, которая состоит из четырех интервалов. Оценка точности разработанной классификации составила 92 % и проведена на основе разработанной модели нечеткого логического вывода процесса ольфактометрического исследования, которая основана на алгоритме Мамдани, сформулирована база правил нечетких продукций. Модель содержит три входные и одну выходную лингвистическую переменную. Перспективой работы является применение интервальных нечетких множеств, для выявления допустимых отклонений в разработанной классификации чувствительности обоняния.

ОЛЬФАКТОМЕТРИЯ, АНАЛИЗАТОР ОБОНЯТЕЛЬНЫЙ, ОДОРИВЕКТОР, ПЕРЕМЕННАЯ ЛИНГВИСТИЧЕСКАЯ, МАМДАНИ АЛГОРИТМ

Носова Я.В. До питання формалізації діагностики нюхових порушень. Обґрунтовано необхідність використання лінгвістичних змінних і апарату нечіткої логіки для формалізації діагностики нюхових порушень з метою підвищення об'єктивності діагностики дихально-нюхових порушень. Запропоновано класифікацію ступеня порушення сприйняття запахів, яка складається з чотирьох інтервалів. Оцінка точності розробленої класифікації склала 92% і проведена на основі розробленої моделі нечіткого логічного висновку процесу ольфактометричного дослідження, яка заснована на алгоритмі Мамдані, сформульована база правил нечітких продукцій. Модель містить три вхідні і одну вихідну лінгвістичну змінну. Перспективою роботи є застосування інтервальных нечітких множин, для виявлення допустимих відхилень в розробленій класифікації чутливості нюху.

ОЛЬФАКТОМЕТРИЯ, АНАЛИЗАТОР НЮХОВИЙ, ОДОРИВЕКТОР, ЗМІННА ЛІНГВІСТИЧНА, МАМДАНИ АЛГОРИТМ

Nosova Y.V. On the question of formalizing the diagnosis of olfactory disorders. The necessity of using linguistic variables and the fuzzy logic apparatus for formalizing the diagnosis of olfactory disorders with the purpose of increasing the objectivity of diagnosis of respiratory and olfactory disturbances is substantiated. A classification of the degree of impaired perception of odors is proposed, which consists of four intervals. The estimation of the accuracy of the developed classification was 92% and was carried out on the basis of the developed model of fuzzy logical inference of the olfactometric research process, which is based on the Mamdani algorithm, the basis for the rules of fuzzy products was formulated. The model contains three input and one output linguistic variable. The prospect of work is the use of interval fuzzy sets to identify the permissible deviations in the developed classification of olfactory sensitivity.

OLFACTOMETRY, OLFACTORY ANALYZER, ODORIVEKTOR, VARIABLE LINGUISTIC, MAMDANI ALGORITHM

Введение

Обоняние играет важную роль в нашем взаимодействии с окружающей средой. Обонятельная система действует не только для выявления потенциальных опасностей в окружающей среде, таких как дым, газ или пыль, но и влияет на наше питание, социальное поведение, и общее самочувствие [1].

На сегодняшний день известно много методик тестирования функции обоняния, однако не существует единого общепринятого универсального метода из-за ряда трудностей связанных с формализацией субъективной составляющей процесса диагностики нарушений обонятельного анализатора. В связи с этим возникает необходимость в разработке новых подходов к диагностике обонятельных нарушений, которые позволят повысить объективность диагностики.

Прогнозирование на базе нечеткой логики позволяет осуществить описание причинно-след-

ственных связей между входными показателями и конкретным прогнозом или диагнозом в виде высказываний на естественном языке, и следовательно, дает возможность провести логическую формализацию экспертного заключения [1-2]. Поэтому методы нечеткой логики нашли широкое применение в различных отраслях медицины, например в кардиологии [3] для определения локализации инфаркта.

Особенностью лингвистических переменных используемых в медицине является полное отсутствие их числового значения.

Например, при боли в спине, пациент описывает свои ощущения словами типа «сильная боль», которые трудно формализовать и измерить. Традиционно в математике используют четкое (четко определенное) свойство $P(x)$, то есть свойства, которые являются либо истинными, либо ложными. Каждое свойство задает множество:

{ x | x имеет свойство P }. В 1965 году Л. Заде [3] предложил теорию, объясняющую, как формализовать «нечеткие» свойства: четкое свойство P может быть описано характеристической функцией μ : $X \rightarrow \{0,1\}$. Нечеткое свойство можно описать как функцию μ (функция принадлежности): $X \rightarrow [0,1]$. Значение $\mu(x)$ указывает степень, в которой x обладает свойством (например, какому именно x соответствует степень боли). Пример представления значения «высокая температура» в медицинской науке как нечеткого набора показан на рис. 1 [5].

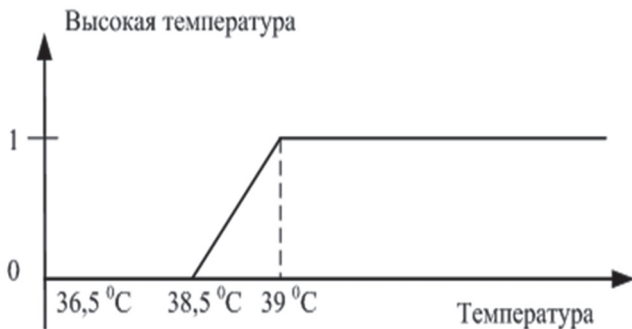


Рис. 1. Пример представления функции принадлежности терма «высокая температура» [4]

Кроме того, набор значений переменной часто зависит от субъективного восприятия врача. В работе [6] предлагается использовать неравномерное распределение значений лингвистических переменных по числовой шкале, с учетом их информативности при создании медицинских интеллектуальных систем принятия решения.

Также аппарат нечеткой логики используют для проверки точности классификации. В работе [7] проводили тестирование электронного носа для восьми различных газов: бутанола, уксусной кислоты, ацетона, бензола, хлороформа, дихлорметана, этилацетата и серной кислоты. Экспериментальные результаты показали, что точность классификации с использованием нечеткого логического подхода может быть получена до 93,75%. В дальнейшем такой подход может быть применен к другим пробам газа для проверки точности классификации газов электронным носом.

Таким образом, применение лингвистических переменных и нечеткой логики в медицине является эффективным инструментом, для повышения качества и объективности диагностики дыхательно-обонятельных нарушений.

1. Цель и постановка задачи

Целью работы является формализация подхода к диагностированию дыхательно-обонятельных нарушений на основе применения лингвистических переменных аппарата нечеткой логики.

Задачами исследования являются:

1. Процесс восприятия запаха человеком необходимо представить в виде структуры нечеткой логики:

– сформулировать входные и выходные лингвистические переменные;

– сформулировать базу правил системы нечеткого вывода;

– разработать модель нечеткого логического вывода процесса ольфактометрического исследования;

2. Разработать классификацию степени нарушения обоняния.

3. Оценить точность классификации с помощью разработанной модели нечеткого логического вывода.

2. Разработка структуры модели нечеткого логического вывода

Оценка функции обоняния является сложным диагностическим процессом, так как основана на субъективном ощущении запаха пациентом.

Для выявления нарушений функций обонятельного анализатора используют методику ольфактометрии.

Ольфактометрия (от лат. *Olfacio* – обоняние и др. греч. *Μετρον* – мера, измерение) – это методика, которая позволяет измерить чувствительность обонятельного анализатора путем воздействия на него специфическими пахучими веществами (одоривекторами).

Также целью ольфактометрии, кроме распознавания запахов, является определение обонятельной чувствительности (порог обоняния), что соответственно влияет на определение степени нарушения функции обонятельного анализатора человека [8].

Словесные субъективные ответы пациента по степени восприятия запаха можно представить в виде субъективных категорий. Например, «плохо», «хорошо», «слабо», «отлично», «не ощущается» запах во время проведения ольфактометрического исследования. Таким образом, имеет место лингвистическая неопределенность, связанная с неточностью описания искомой величины – обонятельная чувствительность. Поэтому целесообразно процесс восприятия запаха человеком представить в виде структуры нечеткой логики.

Для решения поставленных цели и задач проводились исследования с помощью устройства для тестирования респираторных нарушений обоняния, представленного на рис. 2 [9]. Работа выполнялась в рамках сотрудничества между кафедрой биомедицинской инженерии Харьковского национального университета радиозлектроники и кафедрой оториноларингологии Харьковского национального медицинского университета.

Во время исследования обонятельной функции человека пациенту предлагают понюхать несколько различных одоривекторов. Пациент выполняет дыхательные маневры с постепенным увеличением их интенсивности и фиксирует время появления порога ощущения одоривектора, далее выполняются расчеты пневматической мощности и энергии дыхания. Способ повышения объективности ольфактометрических исследований предполагает

применение трех одоривекторов: нашатырный спирт, уксусная кислота, настойка валерьяны [10].



Рис. 2. Устройство для тестирования респираторных нарушений обоняния [9]

Таким образом, для моделирования структуры нечеткого логического вывода предлагается использовать три входные лингвистические переменные и одну выходную.

Лингвистическая переменная представляет собой кортеж вида: $\langle \beta, T, X, G, M \rangle$, где β – наименование переменной, T – множество значений лингвистической переменной, которое состоит из наименований нечетких переменных, X – область определения лингвистической переменной, G – синтаксическая процедура, позволяющая генерировать из множества новые осмысленные значения, M – семантическая процедура, позволяющая поставить в соответствие полученным с помощью процедуры новым значениям, некоторое нечеткое множество [5].

В качестве входных параметров системы нечеткого вывода будем использовать такие лингвистические переменные: «одоривектор_1», «одоривектор_2», «одоривектор_3», а в качестве выходных параметров – нечеткую лингвистическую переменную «обонятельная_чувствительность».

В качестве терм-множества входных лингвистических переменных будем использовать множество $T1 = \{\text{отлично, хорошо, слабо, не_ощущается}\}$, что соответствует степени ощущения одоривектора обследуемым.

Структура нечеткой модели оценки степени нарушения обонятельной функции представлена на рис. 3.

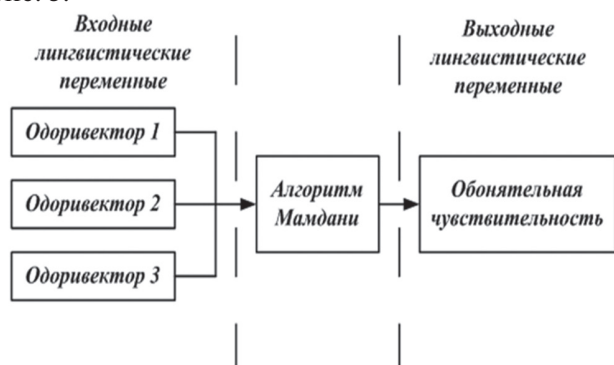


Рис. 3. Структура модели нечеткого вывода «Ольфактометрия»

В качестве терм-множества для выходной лингвистической переменной будем использовать множество $T2 = \{\text{«высокая», «средняя», «низкая», «отсутствует»}\}$.

Область определения лингвистических переменных [0 30] Дж. Синтаксические и семантические процедуры не используются.

3. Выбор параметров модели нечеткого логического вывода

Моделирование проводили с помощью алгоритма Мамдани, так как для задач, где более важным является объяснение, обоснование принятого решения, согласно работы Штовбы С.Д. [11] будут иметь преимущество нечеткие модели типа Мамдани в сравнении с использованием нечетких моделей типа Сугэно.

В системах, где используется алгоритм Мамдани обычно применяются следующие параметры [11–12]:

- для конъюнкции – операция минимума;
- для дизъюнкции – операция максимума;
- для импликации – операция минимума;
- для агрегации – операция максимума;
- для дефаззификации – метод центра тяжести (1).

$$y = \frac{\int_{\min}^{\max} x \cdot \mu(x) dx}{\int_{\min}^{\max} \mu(x) dx}, \quad (1)$$

где y – результат дефаззификации; x – переменная, соответствующая выходной лингвистической переменной «обонятельная_чувствительность»; $\mu(x)$ – функция принадлежности нечеткого множества, соответствующего выходной переменной «обонятельная_чувствительность» после этапа аккумуляции; Min и Max – левая и правая точки интервала носителя нечеткого множества выходной переменной «обонятельная_чувствительность».

Согласно работам Бурцева М.В., Поворознюка А.И. [13] необходимо использовать функцию принадлежности t , π или T класса, так как подавляющее большинство объектов находится в определенном ограниченном интервале. Формализацию термов осуществим с помощью симметричной гауссовской функции принадлежности (2), прямым методом построения.

$$\mu(x) = e^{-\frac{(x-b)^2}{2c^2}}, \quad (2)$$

где x – переменная, $\mu(x)$ – функция принадлежности, b, c – параметры.

В прямых методах построения функций принадлежности эксперт либо группа экспертов задают для каждого $x \in X$ значение функции принадлежности $\mu(x)$. В последующем функция принадлежности может быть уточнена опытным путем на основе анализа результатов решения конкретных задач [11].

Функции принадлежности термов входных лингвистических переменных представлены на рис. 4.

Разработанная база правил нечетких продукций содержит 4 пункта, весовые коэффициенты равны 1:

1. ЕСЛИ «одоривектор 1 отлично» И «одоривектор 2 отлично» И «одоривектор 3 отлично» ТО «чувствительность обоняния высокая».

2. ЕСЛИ «одоривектор 1 хорошо» И «одоривектор 2 хорошо» И «одоривектор 3 хорошо» ТО «чувствительность обоняния средняя».

3. ЕСЛИ «одоривектор 1 слабо» И «одоривектор 2 слабо» И «одоривектор 3 слабо» ТО «чувствительность обоняния низкая».

4. ЕСЛИ «одоривектор 1 не_ощущается» И «одоривектор 2 не_ощущается» И «одоривектор 3 не_ощущается» ТО «чувствительность обоняния отсутствует».

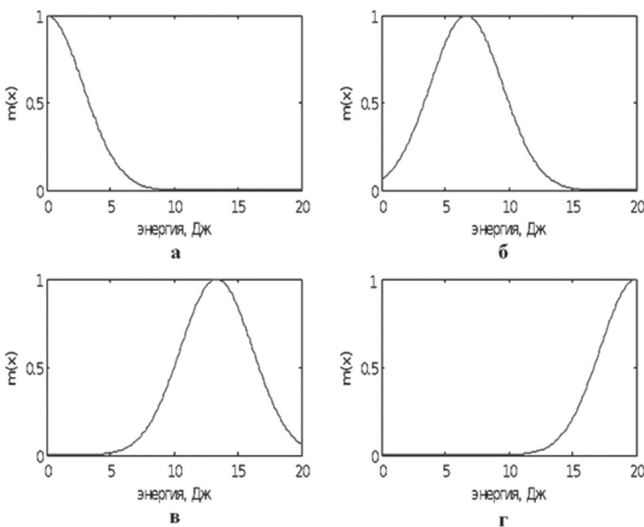


Рис. 4. Функции принадлежности термов (а – «отлично», б – «хорошо», в – «слабо», г – «не_ощущается») входных лингвистических переменных

На рис. 5 представлена программа просмотра правил нечеткого логического вывода после изменения значений входных переменных на [1.5 2.4 1.9] в интерактивной среде программирования MATLAB.

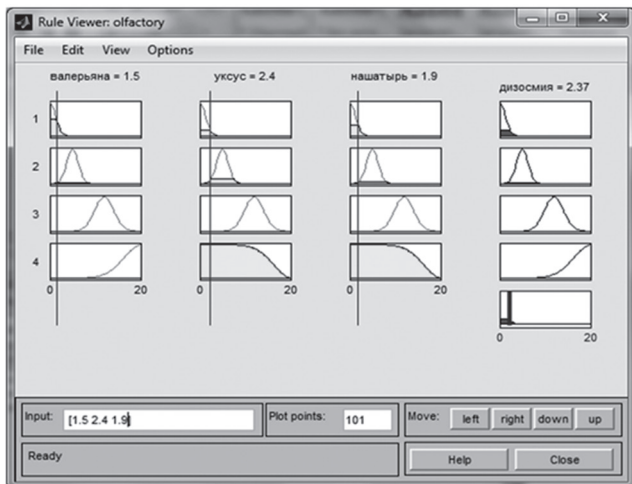


Рис. 5. Программа просмотра правил нечеткого вывода после изменения значений входных переменных на [1.5 2.4 1.9]

При заданных значениях входных лингвистических переменных значение выходной лингвистической переменной равно 2.37, что соответствует интервалу значений первого терма выходной переменной, то есть обонятельная чувствительность высокая.

4. Оценка точности классификации степени нарушения восприятия запахов.

С помощью разработанной модели нечеткого логического вывода процесса ольфактометрического исследования обонятельную чувствительность определяли у 120 больных с нарушением аэродинамики носа и у 100 лиц из контрольной группы. На основе полученных результатов предлагается следующая классификация степени нарушения восприятия запахов:

- $E \leq 2$ Дж – условно нормальное обоняние;
- $2 < E \leq 8$ Дж – средняя степень дизосмии;
- $8 < E \leq 16$ Дж – тяжелая степень дизосмии;
- $E > 16$ Дж – практически полная дизосмия.

Полученные результаты оценки степени нарушения обонятельной функции человека были подтверждены дополнительными лабораторными и клиническими исследованиями, которые проводили эксперты в оториноларингологическом отделении Харьковской областной клинической больницы. Экспериментальные результаты показали, что для выборки, состоящей из 220 пациентов, разработанная модель нечеткого логического вывода степени нарушения обонятельной функции подтвердила диагнозы для 201 пациента, следовательно, точность классификации составляет 92%.

Выводы

Применение современных интеллектуальных систем принятия решений дает возможность произвести выбор из перечня возможных заболеваний, что позволит существенно сократить время на диагностику обонятельных нарушений врачом и ускорит процесс оказания медицинской помощи пациенту.

Таким образом, процесс восприятия запаха человеком представлен в виде структуры нечеткой логики: предложено использовать три входные и одну выходную лингвистические переменные, сформулирована база правил нечетких продукций, разработана модель нечеткого логического вывода «Ольфактометрия». Предложена классификация степени нарушения восприятия запахов, установлено, что практически полная дизосмия наступает, когда энергия E превышает значение 16 Дж. Точность классификации оценки степени нарушений обонятельной функции человека была рассчитана на основе модели нечеткого логического вывода и составила 92%.

Перспективой работы является применение интервальных нечетких множеств для выявления допустимых отклонений в разработанной классификации чувствительности обоняния, что позволит повысить точность диагностики обонятельных нарушений.

Список литературы: 1. *Huart, C.* Plasticity of the Human Olfactory System: The Olfactory Bulb / С. Huart, P. Rombaugh, T. Hummel // *Molecules*. – 2013. – № 18, P. 11586-11600; doi:10.3390/molecules180911586. 2. *Телішевська А. В.* Ідентифікація моделі медичної системи на базі нечіткої логіки / А. В. Телішевська, А. І. Поворознюк // Вісник НТУ «ХПІ». Тематичний випуск: Інформатика і моделювання. – Харків: НТУ «ХПІ». 2013. – № 39(2012). – С. 177–181 3. *Мельник К.В.* Процедура діагностування стану серцево-судинної системи пацієнта на основі нечіткої логіки / Мельник К.В., Голоскоков А.Е. // Вестник НТУ «ХПІ». Тематический выпуск: Информатика и моделирование – Харьков: НТУ «ХПІ». – 2008. – № 49. – С. 101 – 104. 4. *Заде Л.* Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений / Л. Заде. – М.: Мир, 1976. – 166 с. 5. *Phuong N.* Fuzzy logic and its applications in medicine / N. Phuong, V. Kreinovich. // Proc. of Asian Pacific Medical Informatics Conference APAMI-MIC'2000; Hong Kong – 27-30 September 2000. – P. 1–11. 6. *Замковой В.С.* Учет лингвистических переменных при создании систем объективной медицинской диагностики / Замковой В.С., Мустецов Т.Н. // Вестник национального технического университета «ХПИ». – 2006, Вып.23. – С.67-74. 7. *Sharma J.* Fuzzy Logic based Odour Classification System in Electronic Nose / Jayeeta Sharma, Amlan Jyoti Bhagawati, Riku Chutia // *International Journal of Computer Applications* (0975 – 8887) Volume 78 – No.15, September 2013 pp. 18-21 DOI:10.5120/13599-1347 8. *Абизов Р. А.* Нарушения функций обонятельного анализатора и практические аспекты методики их исследования и дальнейшей тактики ведения таких пациентов / Р. А. Абизов, Ю. Д. Павлишин. // СЕМЕЙНАЯ МЕДИЦИНА №4 (48). – 2013. – С. 100–102. 9. Пристрій для тестування респіраторних порушень нюху: пат. 110452 С2 Україна: МПК А61В 5/08(2006.01) / Аврунін О.Г., Журавльов А.С., Шушляпіна Н.О., Носова Я.В., Фарук Х., заявник та патентовласник Харківський національний університет радіоелектроніки. - №а201500603 ; заявл. 26.01.2015 ; опубл. 10.06.2015, Бюл.№11 – 4с. 10. Спосіб підвищення об'єктивності ольфактометричних досліджень: пат. 110453 С2 Україна: МПК А61В 5/08(2006.01) / Аврунін О.Г., Журавльов А.С., Шушляпіна Н.О., Носова Я.В., Фарук Х., заявник та патентовласник Харківський національний університет радіоелектроніки. - №а201500604 ; заявл. 26.01.2015 ; опубл. 25.05.2015, Бюл.№10 – 2 с. 11. *Штовба С.Д.* Идентификация нелинейных зависимостей

с помощью нечеткого логического вывода в системе MATLAB / С.Д. Штовба // *Exponenta Pro*. Математика в приложениях. – М.: Softline, 2003. – № 2. – С. 9–15. 12. *Леоненков А. В.* Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH. – СПб.: БХВ Петербург, 2005. – 736 с. 13. *Бурцев М. В.* Выбор функций принадлежности для описания симптомокомплексов в комбинированном решающем правиле / М. В. Бурцев, А. И. Поворознюк // Вестник Нац. техн. ун-та «ХПИ» : сб. науч. тр. Темат. вып. : Информатика и моделирование. – Харьков : НТУ «ХПИ», 2010. – № 31. – С. 10-15.

Resume

Y.V. Nosova

ON THE QUESTION OF FORMALIZING THE DIAGNOSIS OF OLFACTORY DISORDERS

Background: To date, there are many methods for testing the sense of smell, but there is no single universally accepted universal method due to a number of difficulties associated with the formalization of the subjective component of the process of diagnosing abnormalities in the olfactory analyzer. In connection with this, there is a need to develop new approaches to the diagnosis of olfactory disorders, which will increase the objectivity of diagnosis.

Materials and methods: To achieve the stated goals and objectives, studies were conducted using a device for testing respiratory odor disorders, developed at the Department of Biomedical Engineering. Methods of fuzzy logic were also used.

Results: The experimental results showed that for a sample consisting of 220 patients, the developed model of fuzzy inference with the degree of impairment of the olfactory function confirmed the diagnoses for 201 patients.

Conclusion: The process of perception of a person's smell is presented in the form of a fuzzy logic structure: it is suggested to use three input and one output linguistic variables, a base of rules for fuzzy products is formulated, and a model of fuzzy logical inference "Olfactometry" is developed. The classification of the degree of impaired odor perception is suggested, it is established that almost complete dysosmia occurs when the energy E exceeds 16 J. The accuracy of the classification of the assessment of the degree of violations of the human olfactory function was calculated on the basis of the fuzzy inference model and was 92%.

Поступила в редколлегию 16.10.2017

ОБ АВТОРАХ

Бізюк Андрій Валерійович	132	кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри медіасистем і технологій, Харківський національний університет радіоелектроніки
Бізюк Катерина Андріївна	132	магістрантка кафедри медіасистем і технологій, Харківський національний університет радіоелектроніки
Брюховецький Олександр Борисович	92	кандидат технічних наук, інженер, Центр контролю космічного простору Національного центру управління та випробування космічних засобів, м. Київ
Вовк Олександр Володимирович	138	кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри медіасистем і технологій, Харківський національний університет радіоелектроніки
Гончаренко Антон Сергійович	99	студент кафедри інформатики, Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського «ХАІ»
Горяча Вероніка Олександрівна	84	аспірантка кафедри інформатики, Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського «ХАІ»
Гребеннік Ігор Валерійович	26	доктор технічних наук, професор, зав. кафедри системотехніки, Харківський національний університет радіоелектроніки
Григор'єва Ольга Володимирівна	143	старший викладач кафедри інженерії вбудованих систем управління, Харківський національний університет радіоелектроніки
Григорьев Олександр Вікторович	143, 148	кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри медіасистем і технологій, Харківський національний університет радіоелектроніки
Дмитренко Анастасія Ігорівна	158	студент кафедри медіаінженерії та інформаційних радіоелектронних систем, Харківський національний університет радіоелектроніки
Євдокімов Андрій Анатолійович	119	кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри геоінформаційних систем, оцінки землі та нерухомості, Харківський національний університет міського господарства ім. О. М. Бекетова
Заверуха Ольга Ігорівна	50	студентка кафедри прикладної математики, Харківський національний університет радіоелектроніки
Засоба Євген	106	асистент кафедри систем штучного інтелекту, Національний університет «Львівська політехніка»
Камінський Роман Миколайович	106	доктор технічних наук, професор, професор кафедри інформаційних систем та мереж, Національний університет «Львівська політехніка»
Карташов Олексій Вікторович	31	кандидат фізико-математичних наук, доцент, доцент кафедри інформатики, Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут»
Коробчинський Кирило Петрович	31	старший викладач кафедри інформатики, Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут»
Костенко Олександр Борисович	126	кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри прикладної математики і інформаційних технологій, Харківський національний університет міського господарства ім. О. М. Бекетова.
Кульмінський Андрій Костянтинович	177	студент кафедри програмної інженерії, Харківський національний університет радіоелектроніки
Лановий Олексій Феліксівич	177	кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри програмної інженерії, Харківський національний університет радіоелектроніки

Левикін Віктор Макарович	77	доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри інформаційних управляючих систем, Харківський національний університет радіоелектроніки
Литвин Олег Миколайович	37, 56, 61, 66	доктор фізико-математичних наук, професор, завідувач кафедри вищої та прикладної математики, Українська інженерно-педагогічна академія.
Литвин Олег Олегович	37, 66	доктор фізико-математичних наук, декан технологічного факультету, Українська інженерно-педагогічна академія.
Литвиненко Олександр Сергійович	26	магістр кафедри системотехніки, Харківський національний університет радіоелектроніки
Макогон Оксана Олегівна	138	магістрантка кафедри медіасистем і технологій, Харківський національний університет радіоелектроніки
Манаков Владимир Павлович	119, 132	кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри медіасистем і технологій, Харківський національний університет радіоелектроніки
Манакова Наталія Олегівна	119, 126	кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри прикладної математики і інформаційних технологій, Харківський національний університет міського господарства ім. О. М. Бекетова
Молчанова Наталія Олександрівна	143	студентка кафедри медіасистем і технологій, Харківський національний університет радіоелектроніки
Мочурад Леся Ігорівна	72	асистент Науково-навчальний інститут підприємництва та перспективних технологій національного університету «Львівська політехніка»
Мурадова Вюсаля Худаширін кизи	169	аспірантка, старший викладач кафедри природничих наук, Харківський національний університет радіоелектроніки
Назірова Тетяна Олександрівна	126	аспірантка кафедри прикладної математики і інформаційних технологій, Харківський національний університет міського господарства ім. О. М. Бекетова
Носова Яна Віталіївна	183	аспірант кафедри біомедичної інженерії, Харківський національний університет радіоелектроніки
Омаров Мурад Анверович	164, 169	доктор технічних наук, професор, професор кафедри природничих наук, Харківський національний університет радіоелектроніки
Панкратов Олександр Вікторович	19	доктор технічних наук, старший науковий співробітник, старший науковий співробітник відділу математичного моделювання, Інститут проблем машинобудування ім. А.М. Підгорного НАН України
Пасічник Валентина Олексіївна	56	кандидат технічних наук, доцент кафедри дизайну тканин та одягу, Харківська державна академія дизайну і мистецтв
Погорелов Артем Віталійович	92	аспірант кафедри електронних обчислювальних машин, Харківський національний університет радіоелектроніки
Романова Тетяна Євгеніївна	19	доктор технічних наук, професор, провідний науковий співробітник відділу математичного моделювання, Інститут проблем машинобудування ім. А.М. Підгорного НАН України
Саваневич Вадим Євгенович	92	доктор технічних наук, професор, професор кафедри інформаційних управляючих систем і технологій, Ужгородський національний університет
Сидоров Максим Вікторович	43, 50	кандидат фізико-математичних наук, доцент, доцент кафедри прикладної математики, Харківський національний університет радіоелектроніки
Славик Олексій Валерійович	56	аспірант кафедри вищої та прикладної математики, Українська інженерно-педагогічна академія.
Стоян Юрій Євгенович	19	аспірант відділу математичного моделювання, Інститут проблем машинобудування ім. А.М. Підгорного НАН України

Супрун Олександр Олександрович	158	кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри медіаінженерії та інформаційних радіоелектронних систем, Харківський національний університет радіоелектроніки
Титов Кирило Юрійович	113	аспірант кафедри штучного інтелекту, Харківський національний університет радіоелектроніки
Тиха Тетяна Вікторівна	164	аспірантка, старший викладач кафедри природничих наук, Харківський національний університет радіоелектроніки
Ткаченко Володимир Пилипович	138	кандидат технічних наук, професор, завідувач кафедри медіасистем і технологій, Харківський національний університет радіоелектроніки
Томанова Ірина Сергіївна	61	аспірантка кафедри вищої та прикладної математики, Українська інженерно-педагогічна академія.
Угрюмов Михайл Леонидович	84	доктор технічних наук, професор кафедри інформатики, Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського «ХАІ»
Удовенко Сергій Григорович	92	доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри інформатики та комп'ютерної техніки, Харківський національний економічний університет ім. С. Кузнеця
Усольцев Олександр Олександрович	158	студент кафедри медіаінженерії та інформаційних радіоелектронних систем, Харківський національний університет радіоелектроніки
Хурдей Євгенія Леонідівна	66	асистент кафедри вищої та прикладної математики, Українська інженерно-педагогічна академія.
Цемистро Роман Іванович	169	кандидат фізико-математичних наук, доцент, доцент кафедри природничих наук, Харківський національний університет радіоелектроніки
Циганенко Інна Іванівна	119	аспірант кафедри прикладної математики і інформаційних технологій, Харківський національний університет міського господарства ім. О. М. Бекетова
Чала Оксана Вікторівна	77	кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри інформаційних управляючих систем, Харківський національний університет радіоелектроніки
Чеканов Ігор Олегович	148	аспірант кафедри медіасистем і технологій, Харківський національний університет радіоелектроніки
Черныш Сергей Викторович	84	аспірант кафедри інформатики, Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського «ХАІ»
Чорна Олена Сергіївна	37	асистент кафедри вищої математики, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»,
Чумаченко Дмитро Ігорович	99	кандидат технічних наук, старший викладач кафедри інформатики, Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут»
Шаховська Наталія Богданівна	106	доктор технічних наук, професор кафедри систем штучного інтелекту, Інституту комп'ютерних наук та інформаційних технологій, Національний університет «Львівська політехніка»
Широков Володимир Анатолійович	3	доктор технічних наук, професор, академік НАНУ, директор Українського мовно-інформаційного фонду НАНУ, м. Київ
Яковлев Сергій Всеволодович	31	доктор фізико-математичних наук, професор, професор кафедри інформатики, Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут»
Яловега Ірина Георгіївна	50	кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри математики, Харківський національний педагогічний університет імені Г.С. Сковороди

ПРАВИЛА оформлення рукописів для авторів науково-технічного журналу «БІОНІКА ІНТЕЛЕКТУ»

Науково-технічний журнал «Біоніка інтелекту» приймає до друку написані спеціально для нього оригінальні рукописи, які раніше ніде не друкувались. Структура рукопису повинна бути такою: індекс УДК, відомості про авторів, заголовок, анотація, ключові слова, вступ, основний текст статті, висновки, список використаної літератури, резюме англійською мовою.

Відповідно до Постанови ВАК України від 15.01.2003 №7-05/1 (Бюлетень ВАК, №1, 2003, с. 2), стаття повинна мати такі необхідні елементи: постановка проблеми в загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями; аналіз останніх досліджень і публікацій і виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми в даній області; формулювання цілей та завдань дослідження; виклад основного матеріалу досліджень з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів; висновки з даного дослідження та перспективи подальших досліджень у даному напрямку.

Статті мають бути виконані в редакторі Microsoft Word. Формат сторінки – А4 (210×297 мм), поля: верхнє – 25 мм, нижнє – 20 мм, лівє, правє – 17 мм. Кількість колонок – 2, з інтервалом між ними 5 мм, основний шрифт Times New Roman, кегль основного тексту – 10 пунктів, міжрядковий інтервал – множник (1,1), абзацний відступ – 6 мм. Обсяг рукопису – від 6 до 15 сторінок (мови: російська, українська, англійська).

УДК друкується з першого рядка, без відступів, вирівнювання по лівому краю.

ПІБ автора (-ів), назва статті, назва та адреса учбового закладу необхідно надати повністю російською, українською та англійською мовами.

Назва статті друкується прописними літерами; шрифт прямий, напівжирний, кегль 12.

Назви розділів нумерують арабськими цифрами, виділяють жирним шрифтом. Відступи для назви статті, ініціалів та прізвищ авторів, відомостей про авторів, назв розділів, вступу та висновків, списку літератури: зверху – 6 пт, знизу – 3 пт.

Стаття повинна починатися з *анотації* російською, українською та англійською мовами обсягом 50–100 слів. У тексті анотації відзначається актуальність, постановка проблеми, шляхи вирішення проблеми, результати та висновки (абзац 4–10 рядків, кегль 9).

Після кожної анотації наводяться *ключові слова* мовою анотації (4–10 слів з тексту статті, які з точки зору інформаційного пошуку несуть змістовне навантаження, через кому в називному відмінку, кегль 9) (див. приклад оформлення статті).

Рисунки та таблиці (чорно-білі, контрастні) розміщуються у тексті після першого посилання у вигляді окремих об'єктів і нумерують арабськими цифрами наскрізною нумерацією за наявності більше ніж одного об'єкта. Невеликі схеми, що складаються з 3–4 елементів виконують, використовуючи вставку об'єкта Рисунок Microsoft Word. Більш складні виконують у графічних редакторах у вигляді чорно-білих графічних файлів форматів .tif, .jpg, .wmf, .cdr із розділенням 300 dpi. Рисунки мають міститися у текстовому файлі й обов'язково подаватися окремими файлами з відповідними назвами (наприклад, рис1.jpg).

Усі елементи рисунка, включаючи написи, повинні бути згруповані. Усі написи в рисунках і таблицях мають бути виконані шрифтом Times New Roman, кегль у рисунках – 10, у таблицях – 9.

Рисунок повинен мати центрований підпис (поза рисунком), шрифт 9, відступи зверху і знизу по 6 пт. Ширина рисунка має відповідати ширині колонки (або ширині сторінки).

Формули, символи, змінні повинні бути набрані в редакторі формул **MathType**. Формули розміщують посередині рядка й нумерують за наявності посилань на них у рукописі. Шрифт – Times New Roman. Висота змінної – 10 пунктів, великих і малих індексів – 8 пт, основний математичний символ – 12 (10) пт. Змінні, позначені латинськими літерами, набирають курсивом, грецькі літери, скорочення російських слів і цифри – прямим написанням. Змінні, які є в тексті, також набирають у редакторі формул.

Список літератури вміщує опубліковані джерела, на які є посилання в тексті (принаймі третину таких, що включено до науково-метричних баз (наприклад, SCOPUS)), укладені у квадратні дужки, друкують загальним нумерованим списком, кегль 9 пт, відступ зверху – 6 пт.

Резюме. Обов'язково треба підготувати розгорнуте резюме англійською мовою (0,5 – 1 сторінки, Times New Roman, кегль – 9) з російським перекладом.

Структура резюме: ПІБ автора (-ів), назва статті англійською мовою. Текст: Background: позначається історія питання, похідні дані; Materials and methods: матеріали та методи; Results: результати роботи; Conclusion: висновки.

Після резюме з відступом зверху 6 пт зазначають дату подання статті до редколегії. Число та місяць задають двозначними числами через крапку. Розмір шрифту – 9 пт, курсив, вирівнювання по правому краю.

Разом із рукописом (на аркушах білого паперу формату А4 щільністю 80–90 г/м², надрукований на лазерному принтері, у 2-х примірниках) необхідно подати такі документи:

1. Заяву за наведеним зразком, яку повинні підписати всі автори:

«Прошу прийняти статтю(зазначити прізвища авторів, назву статті) обсягомсторінок (вказати кількість сторінок) для опублікування в науково-технічному журналі «Біоніка інтелекту». Оплату гарантуємо.

Відомості про авторів: (вказати прізвище, ім'я та по батькові, місце роботи, вчений ступінь, наукове звання, контактний телефон, поштову та електронну адресу).

Підписи авторів».

2. Акт експертизи про можливість опублікування матеріалів у відкритому друці (для співр. ХНУРЕ).

3. Рецензію, підписану доктором наук.

4. Відомості про авторів.

5. Електронний варіант рукопису, реферату та відомостей про авторів.

6. Оплату за публікацію.

Необхідно також вказати один з наступних тематичних розділів, якому відповідає рукопис:

1. Теоретичні основи інформатики та кібернетики. Теорія інтелекту.

2. Математичне моделювання. Системний аналіз. Прийняття рішень.

3. Інтелектуальна обробка інформації. Розпізнавання образів.

4. Інформаційні технології та програмно-технічні комплекси.

5. Структурна, прикладна та математична лінгвістика

6. Дискусійні повідомлення.

Приклад оформлення статті

УДК 519.62

Г.Г. Четвериков, І.Д. Вечірська

ХНУРЕ, м. Харків, Україна, chetvergg@kture.kharkov.ua;

ХНУРЕ, м. Харків, Україна, ira_se@list.ru

АЛГЕБРО-ЛОГІЧНІ ЗАСОБИ МОДЕЛЮВАННЯ ПРИРОДНОЇ МОВИ

Проведено аналіз алгебро-логічної структури природної мови. Розглянуто концептуально-методологічний підхід до мови людини, що дозволяє сприймати її як деяку алгебру, а її тексти – як формули цієї алгебри.

МОВА ПРИРОДНА, АЛГЕБРА ПРЕДИКАТИВ, ВІДНОШЕННЯ, АЛГЕБРА ПРЕДИКАТНИХ ОПЕРАЦІЙ

Четвериков Г.Г., Вечирская И.Д. Алгебро-логические средства моделирования естественного языка. Проведен аналіз алгебро-логической структуры естественного языка. Рассмотрен концептуально-методологический подход к языку человека, что позволяет воспринимать ее как некоторую алгебру, а ее тексты – как формулы этой алгебры.

ЕСТЕСТВЕННЫЙ ЯЗЫК, АЛГЕБРА ПРЕДИКАТОВ, ОТНОШЕНИЯ, АЛГЕБРА ПРЕДИКАТНЫХ ОПЕРАЦИЙ

Chetverikov G.G., Vechirska I.D. Algebra-logical methods of natural language modeling. The analysis of the algebra-logical structure of natural language is performed. The conceptual-methodological approach to human language is considered, which allows perceiving it as some algebra, and its texts as a formula of this algebra.

NATURAL LANGUAGE, ALGEBRA OF PREDICATES, RELATIONS, ALGEBRA OF PREDICATE OPERATIONS

Вступ

Формальним моделям семантико-синтаксичних структур мови відводиться вирішальна роль у сучасній проблематиці комп'ютерної лінгвістики та системах штучного інтелекту (ШтІ). Це пов'язано з необхідністю створення програмно-апаратного комплексу генерації та аналізу речень природної мови (ПМ).

1. Дослідження алгебро-логічної структури природної мови

У роботі використовується апарат алгебри предикатів [1]. Множина U може бути як скінченною, так нескінченною. У першому випадку простір U^m називатимемо скінченним, а в іншому – нескінченним.

$$P(x_1, x_2, \dots, x_n) = \begin{cases} 0, & \text{якщо } (x_1, x_2, \dots, x_n) \notin T \\ 1, & \text{якщо } (x_1, x_2, \dots, x_n) \in T. \end{cases} \quad (1)$$

Згідно з (1) можливий перехід від будь-якого відношення T до відповідного йому предикату P . Предикат P , що знаходимо по (1), називатимемо характеристичною функцією відношення T .

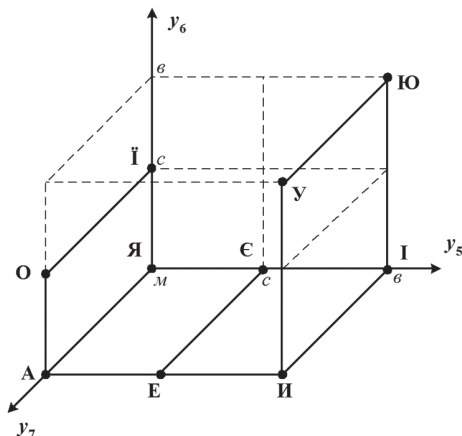


Рис. 1. Тривимірний простір ознак для голосних фонем

2. Шляхи автоматизації обробки мовної інформації

У даний час в системах штучного інтелекту машинний словник та комплекс програм (тезауруси) використовуються, як правило, для виконання будь-якої однієї функції.

Висновки

У статті запропонована узагальнену структуру інтелектуальної системи, яка відповідає новій інформаційній технології рішення задач на ЕОМ, що орієнтовані на досягнення високорівневої технології обробки мовної інформації (отримання нової якості). Істотно новим в роботі є розширення алгебри скінченних предикатів (АСП). Тепер вона охоплює не тільки скінченні предикати, а також – нескінченні. Тепер область її рекомендованого застосування розширена та охоплює довільні відношення, які далі будемо описувати за допомогою ДКАП.

Список літератури:

1. Мальцев А.И. Алгебраические системы. – М.: Наука, 1970. – 392 с.
2. Четвериков Г.Г., Дударь З.В., Вечирская И.Д. Дискретные структуры. – Харьков: НУРЭ, 2015. – 322 с.
3. Машталир В.П., Шляхов В.В., Яковлев С.В. Групповые структуры на фактор-множествах в задачах классификации // Кибернетика и системный анализ. – 2014. – №4. – с. 27–42.

Resume

G.G. Chetverikov, I.D. Vechirska
ALGEBRA-LOGICAL METHODS
OF NATURAL LANGUAGE MODELING

Background: Formal models of semantic-syntactic structures of language are given a decisive role in the modern problems of computer linguistics and systems of artificial intelligence. This is due to the need to create a software and hardware complex for generation and analysis of natural language sentences. Automatic processing of natural language is

an important part in the construction of artificial intelligence systems.

Materials and methods: Predicate algebra apparatus is used in this work. Finite and infinite sets are considered. According formulas described in this study, a transition from any relation T to corresponding predicate P is possible. In this case the predicate P found by formulas is the characteristic function of the relation T .

Results: The algebraic structure of the natural language is analyzed. The conceptual-methodological approach to human language is considered. This approach allows perceiving the language as some algebra, and its texts as a formulas of this algebra.

Conclusion: The article proposes a generalized structure of the intellectual system, which are oriented to the achievement of high-level technology of the processing of language information. Essentially new in the work is the expansion of algebra of finite predicates to infinite ones.

Г.Г. Четвериков, И.Д. Вечирская

АЛГЕБРО-ЛОГИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА МОДЕЛИРОВАНИЯ ЕСТЕСТВЕННОГО ЯЗЫКА

Background: Формальные модели семантико-синтаксических структур языка играют решающую роль в современной проблематике компьютерной лингвистики

и систем искусственного интеллекта. Это связано с необходимостью создания программного и аппаратного комплекса для генерации и анализа предложений на естественном языке. Автоматическая обработка естественного языка является важной составляющей в построении систем искусственного интеллекта.

Materials and methods: В этой работе используется аппарат предикатной алгебры. Рассматриваются конечные и бесконечные множества. Согласно формулам, описанным в этом исследовании, возможен переход от любого отношения T к соответствующему предикату P . В этом случае предикат P , найденный по формулам, является характеристической функцией отношения T .

Results: Выполнен анализ алгебраической структуры естественного языка. Рассмотрен концептуально-методологический подход к человеческому языку. Такой подход позволяет воспринимать язык как некоторую алгебру, а ее тексты — как формулы этой алгебры.

Conclusion: В статье предлагается обобщенная структура интеллектуальной системы, ориентированная на достижение высокоуровневой технологии обработки языковой информации. Существенно новым в работе является расширение алгебры конечных предикатов на бесконечные.

Надійшла до редколегії 15.02.2007

Наукове видання

БІОНІКА ІНТЕЛЕКТУ
інформація, мова, інтелект

Науково-технічний журнал

№ 2 (89)

2017

В.о. головного редактора — *Г. Г. Четвериков*

Відповідальний редактор — *І. Д. Вечірська*

Комп'ютерна верстка — *О. Б. Ісаєва*

Рекомендовано Вченою Радою
Харківського національного університету радіоелектроніки
(протокол № 17 від 20.12.2017 р.)

Адреса редакції:

Україна, 61166, Харків-166, просп. Науки, 14,
Харківський національний університет радіоелектроніки, к. 127
тел. 702-14-77, факс 702-10-13,
e-mail: ira_se@list.ru

Підписано до друку 20.12.2017. Формат 60 × 84 1/8. Друк ризографічний.
Папір офсетний. Гарнітура Newton. Умов. друк. арк. 22,3. Обл.-вид. арк. 22,0.
Тираж 100 прим.

Віддруковано в редакційно-видавничому відділі ХНУРЕ
61166, Харків, просп. Науки, 14.