

# БИОНИКА ИНТЕЛЛЕКТА

ИНФОРМАЦИЯ, ЯЗЫК, ИНТЕЛЛЕКТ

---

---

№ 2 (85)

2015

---

---

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

**Основан в октябре 1967 г.**

Учредитель и издатель  
*Харьковский национальный университет радиоэлектроники*

Периодичность издания – *2 раза в год*

## СОДЕРЖАНИЕ

<i>Шабанов-Кушнарченко Ю.П.</i> Информатизация и проблема бессмертия.....	3
<b>ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВАНИЯ ИНФОРМАТИКИ И КИБЕРНЕТИКИ. ТЕОРИЯ ИНТЕЛЛЕКТА</b>	
<i>Левыкин В.М., Чалая О.В.</i> Модель иерархического представления времени в темпоральных знаниях.....	31
<i>Дяченко В.А., Михаль О.Ф.</i> Интеллектуальный аспект обучения модифицированных самоорганизующихся карт Кохонена .....	35
<i>Вечірська І.Д., Гончаров І.Е., Хамітов Т.М.</i> Побудова логічної мережі для діагностики та управління надзвичайними ситуаціями .....	41
<i>Михаль О.Ф.</i> Парадоксы «неожиданной казни» и «сатанинской бутылки Стивенсона» в нечётко-логической интерпретации.....	52
<b>МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ. СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ. ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЙ</b>	
<i>Асеев Г.Г.</i> Совершенствование метода многокритериальной оптимизации в электронном документообороте, основанного на локальной геометрии множества Парето .....	58
<i>Жолткевич Г.Н., Высоцкая Е.В., Носов К.В., Рак Л.И., Ахназарянц Э.Л.</i> Математическое моделирование структуры отношений параметров функционирования сердечно-сосудистой системы организма человека .....	62
<i>Михаль О.Ф.</i> Математическая модель динамики формирования и оценки опасности аневризмы.....	67
<i>Омаров М.А., Цехмистро Р.И., Трубицин А.А.</i> Поиск способов оценивания тяжести заболевания атопическим дерматитом с использованием модели нечеткого вывода .....	74
<i>Кривошеев К.В.</i> Метод побудови графічних стимулів для системи підтримки прийняття рішень при діагностуванні зору.....	81
<b>ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ. РАСПОЗНАВАНИЕ ОБРАЗОВ</b>	
<i>Перова И.Г., Бодянский Е.В.</i> Нейро-фаззи система для задач обработки медицинских данных в ситуациях множества диагнозов .....	86
<i>Гончаренко М.О.</i> Сравнительный анализ методов формирования дескрипторов изображений в контексте задачи сегментации видеопотока .....	90
<i>Кораблев Н.М., Иващенко Г.С.</i> Краткосрочное прогнозирование временных рядов, содержащих аномальные значения, при помощи моделей искусственных иммунных систем.....	95
<i>Дрофа В.О., Єфіменко Т.М.</i> Інформаційно-екстремальний алгоритм розпізнавання нестационарних за яскравістю зображень .....	100
<i>Жемчужкина Т.В., Носова Т.В., Носова Я.В., Губанов А.В., Дуплий Д.Р., Котульский И.В.</i> Статистический анализ спектральных характеристик ЭМГ-сигнала с целью дифференцирования поясничных болей.....	105
<b>ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ПРОГРАММНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ</b>	
<i>Тимофеев В.О., Гуца О.М., Єльчанінов Д.Б.</i> Інформаційна технологія аудиту складу на основі імітаційного моделювання .....	109
<i>Колтун Ю.Н., Подпрудников П.М., Радченко В.А., Тарануха О.А., Токарев В.В.</i> Компьютерная информационная система учета людей с врожденными и приобретенными заболеваниями сетчатки зрительного анализатора человека.....	113
<i>Табакowa І.С.</i> Намотування корда автомобільних шин за геодезичними траєкторіями .....	116
<i>Шавінський Ю.В.</i> Відпрацювання алгоритмів розрахунку даних для підвищення ефективності вогневого ураження великорозмірних цілей.....	120
<b>СТРУКТУРНАЯ, ПРИКЛАДНАЯ И МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ЛИНГВИСТИКА</b>	
<i>Лазаренко О.В., Панченко Д.И., Буряк Е.Ю.</i> Разработка алгоритма смыслового анализа текста для синтеза реферата в системе автоматического реферирования .....	127
Памяти Ю.П. Шабанова-Кушнарченко.....	131
Об авторах .....	133
Правила оформления рукописів для авторів науково-технічного журналу «Біоніка інтелекту».....	135

## ИНФОРМАТИЗАЦИЯ И ПРОБЛЕМА БЕССМЕРТИЯ

### Введение

Многие крупнейшие научные авторитеты приходят к выводу, что нет принципиальных ограничений для искусственного воспроизведения с помощью ЭВМ каких бы то ни было функций человеческого интеллекта. Приведем некоторые из характерных высказываний на этот счет. А. Тьюринг: “Мы можем надеяться, что машины в конце концов будут успешно соперничать с людьми во всех чисто интеллектуальных областях” [1, с. 57]. Академик А. Колмогоров: “...человек является действительно сложной материальной системой, но системой конечной сложности и весьма ограниченного совершенства, а поэтому доступной имитации” [2, с. 28]. Академик В. Глушков: “...никаких границ для применения средств автоматизации в умственной деятельности человека не существует. Более того, даже нынешние так называемые универсальные электронные цифровые машины в принципе пригодны – хотя далеко не всегда еще хорошо приспособлены – для автоматизации интеллектуальной деятельности любого вида” [2, с. 198]. Академик А. Дородницын: “Пока электронно-вычислительные машины делают первые шаги. Они только считают, производят простейшие логические операции. Они остаются еще совершенно безвольными, выполняя лишь то, что человек им прикажет. И все-таки уже сейчас ясно: в принципе этим машинам человек может поручить любую вычислительную работу. На этот счет теперь ни у кого сомнений нет. Больше того: известно, что можно создать и такие машины, у которых будут собственные чувства... В возможности добиться этого теперь сомневаются лишь немногие. Марксизм утверждает, что мир познаваем, что все процессы в нем имеют материальную основу. Психические процессы также имеют материальную основу и также познаваемы, а это значит воспроизводимы. Больше того: поскольку процессы в технике могут быть стремительнее, чем процессы биологические, значит, и искусственный мозг можно сделать совершеннее нашего” [3, с. 293-4].

Основное содержание подобных высказываний сводится к тому, что в настоящее время в связи с появлением цифровых вычислительных машин перед человечеством открылись ничем не ограниченные перспективы автоматизации интеллектуальной деятельности человека. Похоже на то, что справедливость этого заключения начинает подтверждаться всем ходом развития и применения цифровой вычислительной техники на протяжении последних десятилетий. В рекордно короткие сроки вычислительная техника выдвинулась на передний край прогресса, стала одним

из важнейших рычагов научно-технической революции, основой механизации и автоматизации самых различных производственных процессов и процессов управления экономикой. По темпам роста вычислительная техника и основанные на ней средства автоматизации относятся к наиболее быстро развивающимся отраслям народного хозяйства.

Хотя до полной автоматизации умственной деятельности человека еще очень далеко, однако уже сегодня уместно и даже необходимо обсудить, к каким последствиям в будущем, как ближайшем, так и более отдаленном, может привести появление и совершенствование искусственного интеллекта, носителем которого являются цифровые вычислительные машины. Такое обсуждение важно по ряду причин. Во-первых, проблема искусственного интеллекта серьезно затрагивает вопрос о перспективах дальнейшего развития человеческого общества, поэтому она имеет большое общественно-политическое звучание. Во-вторых, эта проблема тесно связана с такими фундаментальными категориями, как материя, сознание, цель, развитие, поэтому она имеет большое философское и мировоззренческое значение. В-третьих, серьезное изучение возможностей и перспектив в области создания искусственного интеллекта будет способствовать формированию более реалистического, а следовательно, и более эффективного подхода к решению задач автоматизации умственной деятельности человека, создаст иммунитет против мифотворчества и “шапкозакидательских” настроений в этой важной области знания. Проблема перспектив развития искусственного интеллекта слишком важна, чтобы ее можно было отдать на откуп фантастам.

### 1. Человек в условиях информатизации

Рассмотрим основные идеи, которые высказывались видными учеными по вопросу “человек и информатизация”. Обращалось внимание на опасности, которые таит в себе передача функций человеческого интеллекта машинам, происходящая в результате автоматизации умственного труда. Прежде всего, такая передача предъявляет все более высокие требования к человеческому интеллекту, Высвобождая человека от простых операций, она требует от него освоения более сложных видов работ. Основатель кибернетики Н. Винер пишет: “...первая промышленная революция – революция “темных сатанинских фабрик” – была обесценением человеческих рук вследствие конкуренции машин. Любая заработная плата, на которую мог бы прожить землекоп в Соединенных

Штатах, будет слишком высокой, чтобы позволить ему конкурировать с экскаватором, Современная промышленная революция должна обесценить человеческий мозг, по крайней мере, в его наиболее простых и рутинных функциях. Разумеется, подобно тому, как квалифицированный плотник, квалифицированный механик или квалифицированный портной пережили так или иначе первую промышленную революцию, квалифицированный ученый и квалифицированный администратор могут пережить и вторую. Но представим себе, что вторая революция завершена. Тогда средний человек со средними или еще меньшими способностями не сможет предложить для продажи ничего, за что стоило бы платить деньги» [4, с. 77].

Указывалось также на возможность “бунта” машин. Этот “бунт” может проявиться в виде поломок и отказов в системах искусственного интеллекта. Так, выход из строя цифровой вычислительной машины, обслуживающей автоматизированную систему управления современного машиностроительного завода, может полностью парализовать его функционирование. Другое проявление “бунта” машин состоит в нерассчитанном применении систем искусственного интеллекта, когда неожиданно обнаруживаются не предвиденные заранее неблагоприятные для человечества последствия применения ЭВМ. Наконец, возможно использование систем искусственного интеллекта в преступных антигуманных целях (например, подготовка и развязывание войн с широким применением средств вычислительной техники). “Таким образом новая промышленная революция является обоюдоострым мечом. Она может быть использована на благо человечества, однако только в том случае, если человечество просуществует достаточно длительное время, чтобы вступить в период, когда станут возможны такие блага. Она может быть также использована для уничтожения человечества и если ее не использовать со знанием дела, то она может очень быстро развиваться в этом направлении” [4, с. 167].

Перед лицом этих возможностей и угроз высказываются различные прогнозы о будущем. Некоторые специалисты оценивают перспективы человечества весьма пессимистично. Винер пишет: “Прогресс создает не только новые возможности для будущего, но и новые ограничения. Кажется, что как будто сам прогресс и наша борьба против возрастания энтропии, по существу, должны окончиться на ведущей нас к гибели стезе, с которой мы стараемся сойти” [4, с. 58]. Другие полагают, что развитие искусственного интеллекта людям не угрожает. К их числу относится Дородницын: “Но, если машины будут иметь собственную волю, не превратятся ли они сами по себе во врагов человека? Нет, человек в состоянии надежно обеспечить подчинение машин, дав им с самого начала нужную целевую установку... Вот почему меня совсем не пугает эра “мыслящих” машин. Я думаю, что

они действительно увеличат возможности человека” [3, с. 295-6].

Многие видные ученые высказываются в том духе, что следствием развития искусственного интеллекта явится коренное усовершенствование природы самого человека. Так, например, академик С. Соболев утверждает: “В моем представлении будущие кибернетические машины это, в частности, — будущие люди. Люди эти, кстати говоря, будут гораздо совершеннее современных нам людей” [2, с. 88]. Известный московский математик Г. Н. Поваров в предисловии к русскому изданию книги Винера “Кибернетика” пишет: “Действительно, научно-технический прогресс ставит перед человечеством серьезные проблемы. Стремительное развитие науки и техники возлагает на нас колоссальную ответственность за разумное использование полученного нами могущества. “Кто живет в стеклянном доме, тот не должен бросать камней”, — гласит старинная пословица. Человек стал настолько могущественным, что любое его нерассчитанное движение: с роботами, с атомной энергией, с химией — может иметь тяжелые непредвиденные последствия. Это — парадокс могущества. Нельзя забывать, однако, что наука и техника не только возлагают новую ответственность на человека, но и доставляют ему новые средства справиться с нею. Это относится и к роботам. Альтернатива “человек или робот”, “опасное развитие искусственного разума или своевременный отказ от него”, чем ограничивается большинство авторов, имеет третье, более необычайное и, пожалуй, более вероятное решение, если только искусственный разум и искусственная жизнь вообще возможны. Человек, научившийся создавать искусственный разум и искусственную жизнь, не остановится перед коренной переделкой самого себя. Не роботы вместо людей, а новый человек вместо старого! Человек будущего вряд ли останется таким же “натуральным” существом, таким же теплокровным позвоночным, каким он вышел из горнила естественного отбора. Почти наверное, он будет искусственно развивать свой мозг и свое тело, будет по воле лепить и изменять свою физическую оболочку. Ему по силам быть впереди любого возможного робота. Это будет биологическая революция, и если смелые гипотезы оправдаются, она будет означать преобразование всего человеческого существования. Быть может, далекий смысл “безумной” винеровской идеи о передаче человека по телеграфу и есть достижение человеком репродуктивности? Позволим себе минуту фантазии: не станет ли тогда человек новым могущественным космическим существом, свободным от земных ограничений?” [4, с. 26-7].

В числе сторонников достижимости “переплощаемости” человека, судя по всему, состоит и Тьюринг. Формулируя возражение “со страусовой точки зрения” против возможности машинного разума и отвечая на него, он пишет: “Последствия

машинного мышления были бы слишком ужасны. Будем надеяться и верить, что машины не могут мыслить”. Это возражение редко выражают в столь открытой форме, как это сделано выше. Но оно звучит убедительно для большинства из тех, кому оно вообще приходит в голову. Мы склонны верить, что человек в интеллектуальном отношении стоит выше всей остальной природы. Лучше всего, если бы удалось доказать, что человек необходимо является самым совершенным существом, ибо в таком случае он может не бояться потерять свое доминирующее положение... Это чувство, вероятно, особенно сильно у людей интеллигентных, так как они ценят силу мышления более высоко, чем остальные люди, и более склонны основывать свою веру в превосходство человека на этой способности. Я не считаю, что это возражение является достаточно существенным для того, чтобы требовалось какое-либо опровержение. Утешение здесь было бы более подходящим: не предложить ли искать его в учении о переселении душ?» [1, с. 34-5].

## 2. Проблема бессмертия

Рассмотренные соображения вновь вызвали к жизни идею о достижимости человеком бессмертия — идею, которая на протяжении многих веков волновала воображение людей. Сам основатель кибернетики Винер отрицательно отнесся к идее бессмертия. Он писал: “Как-то я присутствовал на обеде в кругу врачей. Непринужденно беседуя между собой и не боясь высказать вещи необычные, они стали обсуждать возможности решительного наступления на болезнь, называемую дегенерацией человеческого организма, или попросту старостью. Они не рассматривали этот вопрос вне конкретных возможностей и средств необходимых для такого наступления, но основное внимание спорящих сосредоточилось на его конечных результатах. Собеседники стремились заглянуть вперед, в тот, быть может, не такой уже далекий завтрашний день, когда момент неизбежной смерти можно будет отдалить, вероятно, в необозримое будущее, а сама смерть станет столь же случайной, как это бывает у гигантских секвой и, кажется, у некоторых рыб. Я не утверждаю, что они были правы в своих предположениях (и я совершенно уверен, что они и не претендовали на что-либо большее, чем предположения), но имена ученых, поддерживающих эту гипотезу, были настолько авторитетны — среди них был даже нобелевский лауреат, — что я не мог себе позволить отнестись к их высказываниям пренебрежительно. И хотя гипотеза будущего сверхдолголетия человека на первый взгляд могла показаться чрезвычайно утешительной, ее осуществление было бы страшным несчастьем, и прежде всего для врачей. Ибо сразу становится ясным одно — человечество не смогло бы долго вынести бесконечного продления всех жизней, которые рождаются на Земле» [5, с. 77-8.].

Несмотря на такое неблагоприятное заключение “отца” кибернетики, идея о возможности бессмертия получила в научных кругах большой резонанс, причем с годами она все более связывается с перспективами создания искусственного интеллекта. Вот как представляет себе процесс “перевосплощения” человека известный советский хирург и кибернетик Н. М. Амосов. Он пишет: “А может быть выход в создании искусственного мозга? Такой выход можно себе представить в очень далекой и туманной перспективе, в конце длиннейшего пути, на который только еще вступила кибернетика. И если немного помечтать, представляется такое: искусственный мозг подключается к естественному, еще здоровому. Какое-то время они работают параллельно, и искусственный обучается всем привычкам и вкусам “своего хозяина”. Потом истощенный живой мозг отключается, и человек продолжает жить с искусственным, который унаследовал от естественного и память, и знания, и вкусы, и характер. Если к тому же представить, что к искусственному мозгу присоединено тело с протезированными органами, то получается, что “сам” человек умирает, умирает его тело и даже мозг, но он продолжает жить как интеллект, передав свое “я” искусственному мозгу” [6].

Следующая часть статьи посвящена обсуждению проблемы бессмертия. Тема бессмертия затрагивает важнейшие проблемы, выдвигаемые перед человечеством информатизацией. Они в ней собираются все вместе как лучи в фокусе линзы. Обсуждение вопроса о бессмертии позволяет быстро и легко выявить и обозреть единым взглядом все эти проблемы. Попытка представить комплекс работ, которые необходимо выполнить для достижения бессмертия, наглядно демонстрирует грандиозную сложность человека и его интеллектуальной деятельности. Для обсуждения проблемы бессмертия используется форма диалога. Диалог ведут два персонажа — Гилон и Фадий, косвенно фигурирует в них и третий — Теоген. Имена персонажей древнегреческого происхождения, однако они ниоткуда не заимствованы и поэтому не несут в себе какой бы то ни было побочной информации. С ними не следует связывать никаких конкретных исторических или литературных имен.

Идеи, высказываемые в ходе диалога, не следует воспринимать чересчур всерьез. В силу своей специфической формы диалог всегда ориентирован на популярное, а следовательно в какой-то мере упрощенное обсуждение проблемы. С помощью диалога можно рассчитывать лишь на предварительную, черновую проработку проблемы. Недостаток диалога еще и в том, что он не может дать вполне объективного анализа проблемы, которая неизбежно рассматривается с позиций участвующих в диалоге персонажей, последние же далеко не беспристрастны. Тем не менее, форма диалога имеет одно важное преимущество: она позволяет быстро “распахать” проблему, выявить

в ней множество граней, вскрыть широкий спектр интересных вопросов. Диалог создает необходимый фон для последующего более объективного обсуждения вопроса, хотя сам он такого обсуждения обеспечить не может. Последующий анализ, выполненный в заключительных частях статьи, посвящен обсуждению некоторых из проблем, вскрытых в ходе диалога.

### 3. Диалог о бессмертии

Итак, нет конца жизни, конца разуму и совершенствованию человечества. Прогресс его вечен. А если это так, то невозможно сомневаться и в достижении бессмертия.

Смело же идите вперед, великие и малые труженики земного рода, и знайте, что ни одна черта из ваших трудов не исчезнет бесследно, но принесет вам в бесконечности великий плод.

*К. Э. Циолковский*

Дар напрасный, дар случайный,  
Жизнь, зачем ты мне дана?  
Иль зачем судьбою тайной  
Ты на казнь осуждена?

*А. С. Пушкин*

#### 3.1. Неизбежна ли смерть?

**ФАДИЙ:** Я уже стар и знаю, что скоро умру. Страшно, жутко сознавать, что меня ждет могила. Хочется жить, и невозможно примириться с мыслью о том, что я буду казнен природой и перестану существовать. Горько покидать этот мир, с которым меня связывает многое. Печально и тяжело расставаться с детьми и внуками, друзьями и близкими, с незавершенными делами и планами. Но я не ропщу на судьбу, ибо знаю, что таков закономерный финал жизни. Смерть – удел всего живого. Все, что родилось, непременно должно погибнуть.

**ГИЛОН:** Меня поражает, эта рабская покорность перед лицом смерти. Люди с детских лет знают, что они обречены на неминуемую казнь, и тем не менее не прилагают ни малейших усилий для спасения от смерти самих себя или хотя бы своих потомков. Такая беспечность мне кажется не только непростительной, но к тому же и преступной.

**ФАДИЙ:** Дело не в беспечности. Просто люди знают, что смерть неизбежна и бороться с нею бессмысленно.

**ГИЛОН:** Откуда этот фатализм? Почему ты считаешь, что смерть неизбежна и люди будут вечно осуждены на казнь? Я не вижу, чтобы из факта рождения человека логически вытекало, что он обязательно должен умереть.

**ФАДИЙ:** Я, конечно, не взялся бы чисто логически, как некую математическую теорему, доказать неизбежность смерти человека. Но слишком много фактов убеждает меня в этом. Никто из людей, родившихся, скажем, за 250 лет до наших дней

или ранее, не избежал смерти. Мы знаем также, что не только люди, но и вообще все организмы, когда-либо обитавшие на Земле, смертны.

**ГИЛОН:** Однако, известно, что отдельные экземпляры секвойи, баобаба и некоторых других видов деревьев живут в течение многих тысячелетий. Ученые предполагают, что такие деревья могут жить неограниченно долго, если их оградить от случайных причин гибели.

**ФАДИЙ:** Не думаю, чтобы это предположение было правильным.

**ГИЛОН:** Многие одноклеточные организмы, например инфузории, не знают естественной смерти. Если предохранить их от насильственного уничтожения, то в течение неограниченно долгого времени не появляется ни единого трупа. Инфузория размножается простым делением, и обе ее части продолжают жить. Подобными свойствами обладают и половые клетки человека – яйцеклетки и семенные тела. Принципиально бессмертны также и некоторые многоклеточные организмы, например отдельные виды полипов и червей. Они также размножаются путем деления организма.

**ФАДИЙ:** Вряд ли все эти живые существа бессмертны. Я думаю, что в момент деления родительский организм перестает существовать, а вместо него появляются два новых индивидуума.

**ГИЛОН:** Некоторые ученые считают недоказанной неизбежность естественной смерти человека. Как это ни странно, но еще никто не наблюдал, чтобы кто-либо из людей умер естественной смертью. Даже в тех случаях, когда смерть наступала без каких-либо видимых признаков болезни, вскрытие трупа всегда обнаруживало то или иное серьезное повреждение органов.

**ФАДИЙ:** Все же ясно, что человек не может жить неограниченно долго. Его мозг состоит из нервных клеток, а они не размножаются. Эти клетки не могут жить вечно. Поэтому продолжительность жизни человека не может превысить срока жизни его нервных клеток.

**ГИЛОН:** Однако человечество в целом можно считать бессмертным.

**ФАДИЙ:** Почему же? Всех людей на Земле может уничтожить термоядерная война или же какая-нибудь эпидемия. Земля может погибнуть от столкновения с повстречавшейся ей звездой.

**ГИЛОН:** Но каждая из этих причин вовсе не обязана проявиться с неизбежностью. При благоприятном стечении обстоятельств человечество будет существовать неограниченно долго.

**ФАДИЙ:** Все же в конце концов погаснет Солнце, и люди, если они даже к тому времени сумеют сохраниться, во что я не верю, попросту замрзнут.

**ГИЛОН:** Солнце погаснет не так-то скоро, и к тому времени люди что-нибудь придумают для поддержания огня в солнечной топке. У них будет также возможность перебраться на другие планеты Вселенной.

**ФАДИЙ:** Но ведь, наконец, иссякнет способность людей к продолжению полноценного потомства. Люди вырождаются и исчезнут с лица Земли.

**ГИЛОН:** Конечно, такое вырождение вполне мыслимо. Но оно может и не произойти. Ведь на протяжении многих сотен миллионов лет на Земле поддерживается и развивается жизнь, значит, не все виды организмов вымирали, но некоторые из них постоянно давали потомство и даже совершенствовались. Кроме того, я полагаю, в будущем люди смогут взять свою эволюцию под сознательный контроль.

**ФАДИЙ:** Но, развиваясь, люди со временем станут совершенно иными существами, чем теперь. Не будет ли это означать гибель человечества?

**ГИЛОН:** Не думаю, чтобы совершенствование человечества можно было бы трактовать как его гибель. Впрочем, хочу привести тебе еще один пример возможного бессмертия. Возьмем в качестве объекта книгу. Хотя это и не живое существо, все же можно говорить о рождении и смерти книги. Легко представить книгу бессмертной, поскольку ее можно переиздавать неограниченное число раз.

**ФАДИЙ:** При переиздании книги возможны опечатки, а при многократном переиздании такие опечатки совершенно неизбежны. А ведь речь идет о неограниченно большом числе переизданий. Причем тысячное издание будет сверяться по 999-му, а не по первому. Книга, выдержавшая миллион таких переизданий, исказится настолько, что в ней, ровным счетом, ничего нельзя будет понять.

**ГИЛОН:** Однако представь себе, что эта книга — научный трактат, например, по физике. А люди, которые готовят книгу к переизданию, — это ученые-физики, непрерывно расширяющие свои знания о мире. Я думаю, что при переиздании книги они не только исправят вкравшиеся в нее опечатки, но даже смогут внести в книгу ряд улучшений. Таким образом, с каждым новым изданием книга будет совершенствоваться. В этом случае о смерти книги не может быть и речи.

**ФАДИЙ:** Бессмертие такой книге должны дать люди, а они не вечны.

**ГИЛОН:** Это — серьезное препятствие, но его можно преодолеть. Представь какую-нибудь машину, например автомобиль или арифмометр, или, еще лучше, сложную электронную вычислительную машину. Я утверждаю, что такая машина может существовать неограниченно долго. Этого можно достичь, периодически заменяя ее изношенные детали новыми.

**ФАДИЙ:** А где брать сведения, необходимые для изготовления новых деталей и способа их монтажа?

**ГИЛОН:** Их можно черпать из книги, в которой помещены чертежи машины и все необходимые к ним пояснения, содержащие полную информацию о конструкции машины и технологии ее изготовления. Имея такое описание машины, мож-

но не только обеспечить ее вечное существование, но даже “воскресить”, если машина поломается.

**ФАДИЙ:** Мне непонятно, каким образом будет обеспечена неограниченно долгая сохранность книги с описанием машины.

**ГИЛОН:** Это сделают люди.

**ФАДИЙ:** Дорогой Гилон, ты снова пришел к препятствию, которое собирался преодолеть!

**ГИЛОН:** Минуточку терпения! А разве люди — не машины? Человек, как и любая другая машина, может быть исчерпывающим образом описан в виде книги.

**ФАДИЙ:** Таких книг нет.

**ГИЛОН:** Пока — да, но в будущем подобные книги появятся.

**ФАДИЙ:** Не верю. Человек — слишком сложная система, чтобы ее можно было исчерпывающим образом описать.

**ГИЛОН:** Да, человек — очень сложная система, но сложность этой системы все же конечна. Поэтому полная информация о человеке может быть записана на конечном числе страниц.

**ФАДИЙ:** Таковую книгу не удастся написать прежде, чем люди познают себя до конца. Решение же этой задачи не под силу человеку.

**ГИЛОН:** Одному — да. Но все человечество в целом рано или поздно справится с этой задачей. Когда же люди будут располагать книгами с описанием самих себя, они получают возможность переиздавать эти книги, сверяя их не только с предыдущими изданиями, но и с собой. Все результаты трудов человечества над улучшением природы людей также найдут отражение в новых изданиях этих книг. Вместе с тем, самих людей будут сверять с книгами и в их организмы будут вносить соответствующие исправления и улучшения. Не кажется ли тебе, Фадий, что в этом случае люди станут бессмертными?

**ФАДИЙ:** Нет, не кажется. Если все это и станет возможным, то самое большее, что можно будет делать — это воскрешать людей, погибших насильственной смертью. Против естественного же старения никакие книги не помогут. Старение будет идти независимо от воли людей, и они будут регистрировать его в своих книгах.

**ГИЛОН:** Зная все о себе, люди сумеют внести такие изменения в свои организмы, чтобы они не старели.

**ФАДИЙ:** Как знать? А если проблема избавления от старения так же неразрешима, как создание вечного двигателя?

**ГИЛОН:** Я верю, что она разрешима.

### **3.2. Нужно ли бессмертие людям?**

**ФАДИЙ:** Только что ты пытался доказать мне, что бессмертие возможно и что оно может быть достигнуто, если мы полностью познаем человеческий организм. Но нужно ли бессмертие людям? Я не вижу веских причин, ради которых стоило бы прилагать огромные усилия для решения столь сложной проблемы.

ГИЛОН: И тебе недостаточно того факта, что люди не хотят умирать? Я еще не видел человека, который, находясь в нормальном состоянии, желал бы себе смерти. И это относится не только к молодым людям, но также и к глубоким старикам. Жажда жизни у человека настолько велика, что он не хочет покидать этот мир, даже будучи тяжело больным и испытывая сильнейшие боли и страдания. Люди предпочитают продолжать жить и в том случае, если их постигает большое горе, если они становятся слепыми или лишаются рук и ног.

ФАДИЙ: Стоит ли считаться с желанием людей жить?

ГИЛОН: А разве человечество трудится не для удовлетворения потребностей людей? И не является ли стремление сохранить свою жизнь важнейшей потребностью человека?

ФАДИЙ: Потребности бессмертия у людей нет. Просто каждый человек хочет еще немножко пожить на белом свете. Жажда жизни, о которой ты говоришь, и которой, сознаюсь, в какой-то мере подвержен и я сам, проистекает оттого, что человек живет очень короткий срок и поэтому не успевает “нажиться”. Если удастся продлить жизнь до ее естественных пределов и человек не будет умирать преждевременно от болезней, переживаний и переутомления, то у людей в конце их жизненного пути само собой возникнет желание умереть, подобно тому как вечером клонит ко сну.

ГИЛОН: Известны случаи, когда отдельные люди жили дольше обычного срока, достигая возраста 150 – 180 и более лет. И все они в один голос заявляли, что еще не хотят умирать. Всем известно, что чем дольше живешь, тем больше хочется жить. Обычно старики более дорожат жизнью, чем молодые люди.

ФАДИЙ: И тем не менее иногда старых людей “клонило” к смерти. Так, одна старуха в возрасте 93 лет перед смертью сказала своему внуку: “Если ты доживешь до моего возраста, то увидишь, что смерть становится точно такую же потребностью как и сон”.

ГИЛОН: Такие случаи чрезвычайно редки. Не исключено, что здесь мы имеем дело с патологическим явлением.

ФАДИЙ: Желание умереть, возникающее в преклонном возрасте, вполне естественно. Природа наделила человека умом, и он осознал весь ужас смерти. Вместе с тем она дала ему и противодействие – инстинкт смерти, появляющийся в конце жизненного пути.

ГИЛОН: Тот, кто пытается примирить человека со смертью, придумывая ему для утешения “инстинкт смерти”, “загробную жизнь” и другие столь же беспочвенные версии, приносит людям огромный вред, ибо внушает им пассивность и покорность судьбе. Я же думаю, что ум и отвращение к смерти даны человеку для того, чтобы он не сидел сложа руки, а неустанно трудился над достижением бессмертия.

ФАДИЙ: Но бессмертие – это совершенно немислимая вещь! Неужели ты веришь, что человек будет жить триллионы лет? Даже звезды – и те не вечны.

ГИЛОН: Представляя бессмертную жизнь, вовсе не нужно уходить мыслью в дали космических эпох. Просто люди будут знать, что их существованию ничто не грозит, что завтра, через год и через десять лет они будут продолжать жить, что времени им хватит для выполнения любого задуманного дела. Вряд ли найдется человек, который откажется от такого бессмертия.

ФАДИЙ: Все же, люди, желая жить вечно, поступают неразумно. Природа, которая ничего не делает напрасно, не зря сотворила человека смертным. Очевидно, у нее были к тому веские причины. Если б людям вдруг было даровано бессмертие, это привело бы к очень плохим последствиям. Ведь смерть служит двигателем эволюции живых существ. В процессе борьбы за существование слабые должны погибать, иначе не будет никакого развития в органическом мире. Смерть является творцом жизни.

ГИЛОН: Все это так. И тем не менее, хотя человек сам вышел из горнила естественного отбора, в настоящее время законы борьбы за существование утратили свою власть над людьми. Для современного человека смерть из двигателя развития превратилась в тормоз. Для целей дальнейшего совершенствования людей смерть стала ненужной.

ФАДИЙ: А я полагаю, что смерть – великое благо для человечества. Обществу не надо содержать бесполезных стариков и старух. Умирая, пожилые люди освобождают жилье и служебные должности для молодежи. Немаловажное значение имеет также передача имущества по наследству.

ГИЛОН: Но если старости и смерти не будет, тогда не будет и бесполезных дряхлых людей. Наоборот, чем старше человек, тем он будет полезнее для общества, поскольку за свою долгую жизнь он накопит большие знания и опыт. Что же касается жилья и служебных мест, то этого также не стоит опасаться ввиду расширения жилищного строительства и масштабов производства. Смерть не только бесполезна, она чрезвычайно вредна для человечества. Вместе с людьми умирают знания и опыт, накопленные ими. А это – огромная потеря, если учесть, как много времени, усилий и средств тратится на обучение каждого человека. В будущем же удельный вес учебы еще более возрастет, так что человеку на полезную деятельность времени вовсе не останется, вследствие этого прогресс прекратится. Огромный вред прогрессу приносит также достаточно широко распространенный пессимизм и связанные с ним пассивность, пьянство, прожигание жизни. Несомненно, что в значительной степени пессимизм связан с мрачной перспективой предстоящей смерти. Люди в пожилом возрасте планировали бы свой труд со значительно большим размахом, если б знали, что у них впереди еще

долгая жизнь. Особенно большой урон от смерти терпит наука. Едва ученый по-настоящему развернет свои работы, а это, как правило, происходит к 50 – 60 годам жизни, как ему пора в могилу.

**ФАДИЙ:** Знания и опыт не гибнут вместе с человеком, они усваиваются новыми поколениями людей.

**ГИЛОН:** Частично – да. Но все же смерть уносит значительную часть информации, накопленной человеком. Может ли, к примеру, талантливый ученый в полной мере передать ученикам свое умение ставить задачи и находить пути их решения, свое научное чутье и интуицию?

**ФАДИЙ:** То, что утеряно, будет открыто вновь, в будущем появятся ученые еще более талантливые, чем те, которые умерли.

**ГИЛОН:** Это так, но все эти потери в конечном счете приводят к серьезному снижению темпов прогресса.

**ФАДИЙ:** Люди еще при жизни теряют память и способности и в старости уже ни к чему не пригодны.

**ГИЛОН:** Да, так часто случается. Однако, все это – следствие старения, разрушения организма. Если человек не будет дряхлеть, то он сохранит в полной мере свой умственный потенциал.

**ФАДИЙ:** Старые люди – консерваторы, они – помеха прогрессу. Это происходит от наличия у них устаревших знаний, с которыми они не могут расстаться.

**ГИЛОН:** Здесь виновны не устаревшие знания, а дефекты интеллекта, вызванные дряхлением организма. Человеку, сохранившему способность усваивать новые сведения, а также способность критически относиться к своим знаниям, устаревшая информация – не помеха.

**ФАДИЙ:** Если люди не будут умирать, то придется столкнуться с проблемой перенаселения. Для всех не хватит места и еды.

**ГИЛОН:** Но ведь и сейчас наблюдается быстрый рост населения земного шара. Если б люди не умирали, то их численность увеличивалась бы намного быстрее, чем в настоящее время.

**ФАДИЙ:** Так где же выход? Может быть, людей надо частично истреблять или же в принудительном порядке ограничивать рождаемость?

**ГИЛОН:** Нет, этого не придется делать. Даже при многократном росте числа людей им все равно найдется место на Земле. Со временем же люди выйдут в просторы Вселенной, заселят околосолнечное космическое пространство.

**ФАДИЙ:** Однако человек совершенно не приспособлен к жизни на других планетах. Там и атмосфера не та, и тяготение иное, и температура неподходящая.

**ГИЛОН:** Люди смогут преобразовать другие планеты Солнечной системы в нужном для себя направлении. Кроме того, со временем сам человек усовершенствуется и станет приспособленным к более разнообразным условиям жизни.

**ФАДИЙ:** А почему люди до сих пор не занялись всерьез проблемой борьбы со смертью? Философы, ученые, инженеры и врачи вопрос этот обычно обходят молчанием. Они работают над всеми возможными проблемами, кроме этой. Не говорит ли это об отсутствии интереса к бессмертию?

**ГИЛОН:** Думаю, что нет. Здесь, скорее, сыграл свою роль другой фактор. Проблема борьбы со смертью настолько трудна, что кажется безнадежной. И тот, кто занимается проблемой бессмертия или хотя бы проявляет повышенный интерес к ней, рискует попасть в смешное положение. Его, к тому же, обвинят в эгоизме и скажут, что делает он это с той целью, чтобы самому избежать смерти. И тем не менее, многие посвящали свою жизнь этой проблеме. Достаточно вспомнить многовековые поиски “эликсира бессмертия”.

**ФАДИЙ:** Однако, идея “эликсира бессмертия” наивна, она представляет собой одно из величайших заблуждений.

**ГИЛОН:** Это так, но вместе с тем упорные попытки найти средство от смерти свидетельствуют об огромном интересе к этому вопросу. И в наше время есть ученые, считающие, что нужно работать над проблемой бессмертия. А возьми классическую худо-жественную литературу! Она изобилует жалобами на краткость жизни и на то, что придется умереть. Кто из людей с горечью не задумывался над этим?

**ФАДИЙ:** Но почему же в таком случае работы по борьбе со смертью не приобретают широкого размаха, почему общество не расходует на это дело значительные средства?

**ГИЛОН:** Дело обстоит как раз наоборот. Все развитие науки и техники ведет в конечном счете к совершенствованию человека, к решению проблемы бессмертия.

### 3.3. Успехи биологии

**ФАДИЙ:** Неужели? Какими же конкретными достижениями в борьбе со смертью может похвастаться наука?

**ГИЛОН:** Многое сделано науками биологического цикла в деле познания человеческого организма. Благодаря многовековым анатомическим исследованиям мы располагаем почти исчерпывающими знаниями о строении человеческого тела. Значительные результаты получены в области гистологии – науки о микроскопическом строении живой ткани, и цитологии – науки о клетке. В последнее время успешно исследуются не только внутриклеточные структуры, но и молекулярный уровень организации живого. На протяжении многих столетий ведутся психологические и физиологические исследования, благодаря которым мы весьма многое узнали о функциях организма, о процессах, происходящих в нем. Биологические науки будут развиваться до тех пор, пока организм человека не будет познан до конца. В результате биология подготавливает почву для решения проблемы бессмертия.

Учитывая высокие темпы развития биологии, я полагаю, что это время не за горами.

**ФАДИЙ:** Мне очень бы хотелось тебе поверить, однако я вынужден придерживаться противоположного мнения. Биология развивается уже много сотен лет, и еще не видно конца этим исследованиям. Более того, сейчас механизм человеческого тела представляется еще более запутанным и загадочным, чем прежде. Пройдет еще немало столетий, а может быть и тысячелетий, пока, наконец, биология закончит свои исследования и сможет ринуться на штурм смерти.

**ГИЛОН:** Но уже сейчас ведутся работы по борьбе со смертью. Так, в не очень далеком прошлом производилось омоложение обезьян, которое достигалось пересадкой семенников. Результаты этих опытов произвели огромную сенсацию в мире.

**ФАДИЙ:** Тем не менее из этого ничего, кроме конфуза, не вышло. Действительно, после пересадки семенников от молодого самца обезьяны к старому у последнего стали обнаруживаться признаки омоложения. Он сделался более подвижным и как будто на вид даже помолодел. У него восстановились давно угасшие половые функции. Но расплата пришла очень скоро. После недолгой вспышки “второй молодости” наступило окончательное и бесповоротное одряхление животного, которое вскорости умерло.

**ГИЛОН:** Да, действительно, результаты опытов оказались плачевными. Но я хотел сказать о другом. Ведь всем казалось, что задача борьбы со смертью была решена, причем весьма простыми средствами. Пусть на этот раз ученых постигла неудача, но в будущем их может ждать триумф.

**ФАДИЙ:** Уж не думаешь ли ты всерьез, что такая труднейшая задача, как борьба со смертью, может быть решена с помощью этих и им подобных, в сущности, очень наивных средств. Разработка эффективных средств против смерти (если таковые вообще возможны) несомненно должна основываться на глубоких знаниях об устройстве и функционировании человеческого организма.

**ГИЛОН:** Однако нашла же медицина множество лекарств и средств против большого числа различных заболеваний. А что мы знаем о механизме этих болезней? Мы во многих случаях даже не знаем, каков механизм действия лекарства, не знаем, почему оно лечит больного.

**ФАДИЙ:** Не забывай, что болезнь лечится не лекарством, а самим организмом. Лекарство лишь способствует выздоровлению, мобилизуя организм на борьбу с болезнью. Совершенно же иное возникает положение, когда мы говорим о средствах от смерти. Человеческий организм не располагает специальными механизмами для борьбы со смертью. Старение и смерть – это естественный процесс. Поэтому не может быть и речи о лекарстве или препарате, который помог бы организму побороть старость и смерть.

**ГИЛОН:** А как ты относишься к идее гипотермии, замораживания людей? В состоянии анабиоза человек может жить неограниченно долго.

**ФАДИЙ:** Ты называешь анабиоз жизнью? Я бы не стал этого делать.

**ГИЛОН:** Если наука одолеет проблему анабиоза, то людей можно будет размораживать через любой, сколь угодно длительный промежуток времени.

**ФАДИЙ:** Но все равно в общей сложности человек не проживет дольше, чем прожил бы без помощи гипотермии.

**ГИЛОН:** С помощью анабиоза люди получают отсрочку от смерти. Они будут находиться в замороженном состоянии до того момента, когда решится проблема бессмертия человека. И тогда медлительность развития биологии не будет помехой. Даже люди, живущие сейчас, смогут обрести бессмертие. Ведь замораживание может быть осуществлено уже теперь.

**ФАДИЙ:** Слабо верится, что когда-нибудь удастся оживлять замороженные туши людей. Если это все же станет возможным, вряд ли будущие люди сочтут целесообразным оживлять в массовом порядке своих далеких предков. Да и хранить огромное число замороженных тел на протяжении тысячелетий никто не станет.

**ГИЛОН:** Я бы хотел еще сказать о генетике. Эта наука, переживающая в настоящее время период бурного развития, сообщает нам удивительные сведения. Оказывается, вся информация о человеке записана на кодовых цепочках, содержащихся в зародышевой клетке. Достигнуты большие успехи в расшифровке этой записи. Мы стоим на пороге раскрытия тайны жизни. Если удастся расшифровать эти коды, то мы будем иметь полное описание человеческого организма.

**ФАДИЙ:** Но что может дать генетика для решения проблемы борьбы со смертью?

**ГИЛОН:** Для уже живущих сейчас людей генетика, конечно, не даст ничего. Но для будущих поколений овладение механизмами наследственности может привести к полному решению проблемы бессмертия. Если мы разберемся в генетических кодах, то сможем по своему желанию изменять кодовое описание человека, и из таких измененных зародышей будут развиваться бессмертные люди.

**ФАДИЙ:** Не думаю, чтобы в генетических кодах можно было разобраться с большей легкостью, чем в самом организме человека. Подсчитано, что книга, составленная из этих кодов, будет содержать около миллиона страниц! А ведь мы не имеем этой книги, более того, не знаем языка, на котором она написана. Даже в том случае, если бы смысл генетического кода был нами понят, все равно останется открытым вопрос о том; как нужно (и возможно ли вообще) изменить этот код, чтобы сделать людей бессмертными.

**ГИЛОН:** Мне видится еще один путь достижения бессмертия. Он, правда, мало заметен, но тем

не менее эффект может быть велик. Материальный уровень жизни все время возрастает, улучшается система здравоохранения, получает распространение гигиена, физкультура и спорт. В результате этого люди начинают жить все дольше и дольше. Так, в конце прошлого столетия средний срок жизни европейца составлял около сорока лет, а сейчас он равен примерно семидесяти годам. Не получится ли так, что со временем проблема смерти отпадет сама собой? Люди будут жить долго, а за то время, пока они будут жить, наука сумеет еще дальше отодвигать момент наступления смерти и так до бесконечности. Таким образом, люди фактически станут бессмертными.

**ФАДИЙ:** Мне кажется, ты сильно преувеличиваешь возможности естественного роста продолжительности жизни. На протяжении последнего столетия, действительно, средняя продолжительность жизни людей в некоторых странах увеличивается. Но значит ли это, что природа человека заметно изменилась в лучшую сторону? Уже древние греки славились завидным долголетием. То, что сейчас происходит, это, скорее, борьба против искусственного укорочения жизни, а не за ее удлинение. Срок жизни — 40 лет был обусловлен нищенским уровнем жизни, широким распространением губительных болезней, непосильным трудом. Я думаю, что существует предел продолжительности человеческой жизни, и он не превышает 100 — 150, максимум 200 лет. Никакие оздоровительные меры не дадут возможности перешагнуть через этот рубеж.

**ГИЛОН:** Но ведь существует даже специальная наука о старости и борьбе с нею — геронтология.

**ФАДИЙ:** Это так. Однако геронтология весьма беспомощна в деле борьбы со смертью. Кстати, среди геронтологов широко распространено мнение, что со смертью вовсе не нужно бороться и неразумно ставить такую задачу. Отодвинуть смерть, сделать старость деятельной — вот предел мечтаний геронтологов.

**ГИЛОН:** А пересадка органов? Уже сейчас успешно заменяют больное человеческое сердце здоровым, взятым от другого организма. Имеются надежды, что в скором времени можно будет заменять почки, печень и другие органы.

**ФАДИЙ:** Если даже все это и удастся сделать, все равно пересадкой органов невозможно достичь бессмертия. Ведь мозг человеку заменить невозможно!

### 3.4. Возможности техники

**ГИЛОН:** В наш век бурно, сказочными темпами развивается техника. Мне думается, что результаты технического прогресса можно использовать в деле продвижения вперед решения проблемы борьбы со смертью.

**ФАДИЙ:** Какое отношение имеет техника к человеческой жизни? Если что-либо и достигается техникой, так это неблагоприятное влияние на организм. Людей давят на перекрестках автомо-

били, им приходится вдыхать воздух, основательно загрязненный заводами и электростанциями. Скоро даже чистой питьевой воды не найдется для человека — все будет загрязнено отходами производства. К этому следует добавить огромное повышение нервной нагрузки на человека, обусловленное интенсификацией производства и техническими новшествами, которое досрочно сводит его в могилу или делает неврастеником либо душевнобольным.

**ГИЛОН:** Однако же, благодаря техническому прогрессу, человек получил возможность неизмеримо быстрее передвигаться с помощью различных видов транспорта. Радио и телефон позволили людям резко увеличить дальность передачи и приема речи. Телевидение расширило зрительные возможности человека. Благодаря микроскопу и телескопу человек резко повысил остроту своего зрения. Книгопечатание неизмеримо увеличило возможности интеллектуального общения и развития людей. Ракетная техника еще большие расширяет познавательные возможности человека. Энергетика дает людям небывалое могущество. С помощью машин человек многократно увеличил свою мускульную силу. Машины существенно увеличивают точность и скорость выполнения различных операций. Наконец, появившиеся сравнительно недавно электронные вычислительные машины резко усиливают интеллектуальные возможности людей, человек с помощью этих машин получает возможность решать задачи огромной сложности.

**ФАДИЙ:** Ну и что же? Ведь сам-то человек с помощью всей этой техники не совершенствуется. Продолжительность жизни людей не увеличивается за счет использования технических средств, сам человек не становится ни сильнее, ни умнее, скорее наблюдается противоположный процесс — его деградация. Впрочем, я кое в чем соглашусь с тобой: техника, действительно, облагодетельствовала человека — она дала ему зубные протезы и костыли.

**ГИЛОН:** Вот ты насмехаешься, а ведь техника протезирования в настоящее время шагнула значительно дальше зубной пломбы. Уже сейчас ведутся серьезные работы по созданию синтетических сердца и почек. Они, по крайней мере во время операций, с успехом работают в течение нескольких часов вместо отключенных натуральных органов. Во многих научных учреждениях ведутся работы по созданию постоянного искусственного сердца, и, хотя на пути к достижению этой цели встречаются большие трудности, никто из специалистов в этой области не сомневается, что цель будет достигнута.

**ФАДИЙ:** Может быть, когда-нибудь в отдаленном будущем люди с помощью технических средств и научатся заменять некоторые внутренние органы, такие как сердце, легкие, почки, даже печень и органы пищеварения. Но это мало что

даст человеку. Ведь мозг и нервная система человека все равно рано или поздно придут в негодность, и не очень радостно будет умирать с новенькими почками, сердцем и печенью. Однако не только мозг, но даже глаз и руку никогда не удастся протезировать, разве только если считать крючок и стеклянный шарик полноценными протезами руки и глаза.

ГИЛОН: Неужели ты не знаешь, что сейчас ученые уже изготовили протез руки, который управляется непосредственно импульсами, посылаемыми мозгом, причем каждый палец руки движется отдельно? Имеются работы, в которых доказывается, что искусственная рука может чувствовать прикосновение, тепло и холод.

ФАДИЙ: Этого не может быть! Чувствовать могут только живые пальцы.

ГИЛОН: Нет, ты неправ, Фадий. Чувствуют не пальцы, ощущение прикосновения возникает не в пальце, а в мозгу. И только благодаря сложнейшим механизмам локализации, мозг проектирует это чувство снова в палец. Каждый знает, что если передавить руку, то есть прервать путь, по которому информация поступает от пальца в мозг, то рука немеет, и пальцы ничего не чувствуют. И наоборот, если сигналы от пальца синтетической руки передавать в чувствующие центры мозга по сохранившимся нервным волокнам, то у человека возникнет чувство прикосновения, тепла и холода. Более того, после некоторого периода тренировки, это чувство будет локализоваться на кончике синтетического пальца, и человеку будет казаться, что чувство прикосновения возникает, как обычно, в кончике пальца.

ФАДИЙ: Не очень-то верится, что это возможно.

ГИЛОН: Однако ж известно, что люди, лишившиеся руки, чувствуют свои несуществующие пальцы. Такой человек ясно ощущает боль на кончике мизинца, ему кажется, что его несуществующие пальцы касаются предметов. Более того, он чувствует, что шевелит своими отсутствующими пальцами. Все эти иллюзии легко объясняются возбуждением волокон чувствующих нервов, оборванных в культе руки. Этим неопровержимо доказывается, что именно в мозгу, а не в пальце возбуждаются осязательные ощущения.

ФАДИЙ: Ну а как обстоят дела с протезированием глаза?

ГИЛОН: Известны попытки передавать зрительную информацию по другому, сохранившемуся, каналу информации, преобразуя световые лучи в звуки или в вибрацию. Слушая или воспринимая осязанием эти сигналы, человек после некоторой тренировки может воспринимать несложные зрительные картины, например, читать текст книги. Точно так же звуковые сигналы можно преобразовать в зрительные, и этим путем глухой человек снова обретет способность воспринимать звуки, но уже не ухом, а глазом.

ФАДИЙ: Но это же совсем не то. Полноценным протез глаза станет лишь тогда, если он будет видеть, то есть когда у слепого человека будут возникать зрительные ощущения.

ГИЛОН: Сейчас пока еще отсутствуют сведения об успешных попытках протезировать “видящий” орган зрения. Однако, в принципе, полноценный протез глаза вполне возможен. Дело в том, что опять-таки чувствует не глаз, а мозг. Известно, что у слепых людей можно легко возбудить зрительные ощущения в виде вспышек разноцветных огней, электрически раздражая определенные участки коры мозга на затылке. Для создания полноценного синтетического глаза нужно располагать всего лишь достаточно сложным фотоприемником света, а проводники, отходящие от него, соединить с волокнами зрительного нерва.

ФАДИЙ: Ничего себе — “всего лишь”, если учесть, что глаз имеет свыше ста миллионов нервных клеток разных сортов, соединенных между собой весьма замысловатым способом, а информация от глаза к мозгу передается с помощью миллиона нервных волокон. А как ты собираешься соединить провода с волокнами?

ГИЛОН: Здесь, действительно, возникают значительные трудности. В месте контакта живого и искусственной ткани организма быстро омертвляются, трудно получить пучок из миллиона изолированных проводов, каждый из которых имел бы диаметр всего в несколько микронов. Вообще стыковка живого и искусственного — это очень сложное дело. Но если мозг человека тоже удастся сделать синтетическим, то эта трудная проблема стыковки органического с синтетическим отпадет сама собой.

ФАДИЙ: Ну уж это слишком! Ты хочешь сказать, что всерьез допускаешь возможность протезирования мозга? Если еще можно допустить с большими натяжками возможность протезирования когда-нибудь в отдаленном будущем органов чувств и движения, то уж сам мозг, даже в принципе, протезировать никогда не удастся. Ведь ты сам говоришь: чувствует не глаз, а мозг. А что же будет чувствовать, если мы заменим мозг протезом? Поскольку мозг протезировать невозможно, то вся ценность идеи протезирования теряется. Человек, снабженный всем арсеналом протезов, сможет жить не дольше, чем живой, белковый мозг. А мы знаем, что мозг очень часто первым выходит из строя из-за инсульта, склероза и многих других заболеваний. Поэтому успехи протезирования не дают нам ни малейшей надежды на достижение бессмертия.

ГИЛОН: Трудно спорить с тем, о чем ты только что сказал. Но я попробую. Что такое мозг? Это орган, состоящий из многих миллиардов отдельных клеточек — нейронов, соединенных между собой громадным числом нервных волокон. Каждый нейрон — это вполне определенный, хотя и очень сложный преобразователь сигналов. Сейчас уже

многое известно о принципах функционирования нейронов. И все убеждает в том, что любой нейрон — это автоматически действующее устройство, его работа строго машинообразна. А раз это так, то работу каждого нейрона мозга может выполнять искусственный автомат. Представь, что одну из клеток твоего мозга заменили техническим прибором, который преобразует сигналы точно так же, как натуральный нейрон, и соединили этот прибор по той же схеме, что и нейрон, со всеми остальными клетками мозга. Как думаешь, заметишь ли ты подделку? А если все клетки мозга будут точно так же заменены? Если б во время сна кто-то подшутил над тобой и по клеточке заменил весь твой мозг протезом, то, проснувшись утром, ты даже не заметил бы этого.

**ФАДИЙ:** У меня такое чувство, что ты мне подсунул ловкий фокус. Здесь, несомненно, какое-то шарлатанство. Всем своим существом я протестую против вывода, который ты мне навязываешь!

**ГИЛОН:** Что же ты можешь возразить против принципиальной возможности протезировать мозг?

**ФАДИЙ:** А память? Человек с протезом вместо мозга, проснувшись утром (если он вообще проснется), ничего не будет помнить.

**ГИЛОН:** Почему же? Клетки, которые хранили информацию, будут заменены искусственными запоминающими блоками, и потери никакой не произойдет. Информация из этих блоков будет извлекаться точно так же, как раньше она извлекалась из органических структур.

**ФАДИЙ:** А чувства, наконец — сознание?

**ГИЛОН:** Признаешь ли ты, что чувства и сознание — это функции мозга?

**ФАДИЙ:** С этим трудно не согласиться, если стоять на научных позициях. Впрочем, имеются учения, не только религиозные, в которых это оспаривается.

**ГИЛОН:** Так почему же чувства и сознание не могут быть функциями синтетического мозга?

**ФАДИЙ:** Это невозможно себе представить! Ты говоришь, что все во мне, до единой молекулы, в том числе и мозг, можно заменить, и вместе с тем утверждаешь, что это буду все же я сам, Но что же в таком случае мое “я”, моя личность, мой дух, мое сознание и мои чувства, если они, по-твоему, могут быть совершенно отделены от моего организма, моего тела? А именно такой вывод напрашивается, если при полной замене моего тела протезом, я, тем не менее, благополучно буду продолжать существовать в искусственном теле.

### 3.5. Дух и тело

**ГИЛОН:** Я хочу остановиться на том вопросе, который ты мне только что задал. Что такое дух человека, его личность, его “я”? И можно ли духовную сторону человека отделить от его тела и переселить в искусственно созданный механизм? Правильно ли я сформулировал твой вопрос?

**ФАДИЙ:** Да, именно так я ставил вопрос.

**ГИЛОН:** Для того, чтобы ответить на него, я проведу, если позволишь, один мысленный эксперимент. Предположим, что человечество уже научилось делать полноценные искусственные протезы людей. Допустим также, что в данный момент в соседней комнате ученые, инженеры и врачи готовятся осуществить операцию полного протезирования нашего друга Теогена. Представь теперь, что через некоторое время дверь открывается и из этой комнаты выходит... Но заранее неизвестно — кто: прежний ли, натуральный, органический Теоген, если операция почему-то не состоялась, или же его синтетический двойник-протез, если операция была сделана. Поскольку пока неизвестно, кто таков выходящий, назовем его просто Неизвестным. Я тебе предлагаю следующую задачу. Попытайся установить, не прибегая к помощи тех, кто присутствовал при операции, кем является Неизвестный: прежним ли Теогеном или же его синтетическим дубликатом.

**ФАДИЙ:** Я не понимаю, как можно так ставить вопрос, когда еще совершенно неясно, можно ли создать полноценный синтетический дубликат человека или нет!

**ГИЛОН:** Давай пока оставим в стороне вопрос о возможности полного протезирования человека. Этот мысленный эксперимент мне нужен лишь для того, чтобы объяснить тебе, что такое дух человека и в какой связи он находится с телом. Я во все настаиваю на том, что такой эксперимент в принципе возможен.

**ФАДИЙ:** Хорошо, я принимаю твои условия.

**ГИЛОН:** Итак, представь, что пред тобой находится Неизвестный, и ты должен без подсказки со стороны очевидцев операции установить, кто это: прежний ли Теоген или же его синтетический дубликат. Ты можешь задавать любые вопросы Неизвестному, осматривать и ощупывать его и вообще делать с ним все, что тебе заблагорассудится. Я же буду тебе сообщать, каков результат всех предпринимаемых тобой действий. Итак, с чего ты начнешь свое обследование Неизвестного?

**ФАДИЙ:** Я, естественно, прежде всего посмотрю, как выглядит Неизвестный. Если у него вместо носа будет электронная лампа, вместо глаз — фотоэлементы, вместо ушей — микрофоны, а сам он обладает прямоугольными формами и походкой шагающего экскаватора, то такой Неизвестный — несомненно не Теоген.

**ГИЛОН:** Но представь, что на самом деле все обстоит иначе. Считай, что Неизвестный по внешнему виду неотличим от Теогена.

**ФАДИЙ:** В таком случае я заключаю, что это и есть Теоген.

**ГИЛОН:** Не торопись, Фадий! Здесь ты проявляешь большую неосмотрительность. Ведь может оказаться, что хирурги и инженеры, осуществлявшие протезирование Теогена, располагали богатым набором различных пластмасс, красок, тканей и других материалов, необходимых для гримиров-

ки. Не исключено, что, несмотря на тождество внешнего облика, Неизвестный может оказаться не Теогеном, а его синтетическим двойником.

ФАДИЙ: Не думаю, чтобы такая совершенная подделка была возможна.

ГИЛОН: Но даже с помощью современных средств гримирования легко ввести человека в заблуждение. В будущем же, благодаря развитию новых средств и приемов, искусство гримировки еще более усовершенствуется. Я не вижу никаких веских возражений против принципиальной возможности такого гримирования, при котором даже самые взыскательные эксперты не смогут отличить по виду копию от оригинала.

ФАДИЙ: Однако же натуральный Теоген и его синтетический двойник имеют различную материальную основу, они созданы из совершенно различных материалов. И это различие я немедленно обнаружу.

ГИЛОН: Не думаю, что это тебе легко удастся. Дело в том, что рассматривая Неизвестного, ты имеешь возможность анализировать только лишь световые лучи, исходящие от поверхности его тела. По этой информации можно судить о фигуре Неизвестного, чертах и цвете его лица, особенностях его телосложения, но никак не о веществе и материале, из которого он создан.

ФАДИЙ: Но кроме зрения, у меня еще есть осязание. Я могу прикоснуться к руке Неизвестного и почувствовать, что в ней нет тепла, что она не обладает привычной мне эластичностью и шероховатостью. Так я узнаю, что неизвестный — это подделка под Теогена.

ГИЛОН: Сообщаю тебе результаты твоего нового испытания: рука оказалась теплой и такой же точно по эластичности и шероховатости, как у Теогена. Однако решишься ли ты сказать, что это натуральный Теоген, без риска снова впасть в ошибку? Ведь не так уж трудно представить, что осуществлен специальный подогрев синтетической руки, а материал подобран так, что эластичность и шероховатость его точно такие же, как у натуральной руки.

ФАДИЙ: Ну что ж, раз ты считаешь, что вопрос о личности Неизвестного остается еще открытым, я прибегну к более тонким пробам. Я попытаюсь войти в контакт с Неизвестным и погляжу на его реакции. Реагирует ли Неизвестный на обращенную к нему речь?

ГИЛОН: Да, в ответ на обращение к нему Неизвестный не только произносит слова и фразы, но также реагирует движениями лица и всего тела.

ФАДИЙ: В таком случае меня интересует тембр голоса Неизвестного, его манера речи, а также движения глаз, рта и вообще все мимические движения его лица. Мне также важно знать, какие Неизвестный принимает позы, каковы характерные движения его рук, головы и туловища.

ГИЛОН: Считай, что Неизвестный во всем этом в точности копирует Теогена. Но достаточно ли этого, чтобы уверенно утверждать, что мы име-

ем, дело с самим Теогеном? Речь Теогена могла быть записана на пластинку или магнитофонную ленту. Кроме того, поскольку мы имеем дело с техникой будущего, вполне возможен полноценный искусственный синтез речи с параметрами голоса Теогена. Даже при современном уровне техники можно создать специальные устройства, по заданной программе вращающие глазами Неизвестного, а также двигающие его веками и челюстями. Нескольким труднее создать механизмы движения губ, щек, языка и бровей, но и это, в принципе, возможно осуществить. Нетрудно также обеспечить движения в суставах рук и ног. Что же касается характерных поз, то они определяются исключительно взаимным положением подвижных частей тела, а эти положения могут воспроизводиться по специальной программе, хранящейся в запоминающем устройстве Неизвестного.

ФАДИЙ: Неужели ты полагаешь, что люди будущего сочтут возможным тратить свои усилия и средства на подобную мистификацию?

ГИЛОН: Давай отложим вопрос о целесообразности проведения работ по полному протезированию человека и не будем отклоняться от нашей ближайшей задачи, которая состоит исключительно в том, чтобы установить, кем же является Неизвестный: прежним Теогеном или же его синтетическим двойником.

ФАДИЙ: Ладно, давай продолжим испытание. Я хочу выяснить, узнает ли Неизвестный тебя и меня, сможет ли он припомнить события из прошлой жизни Теогена, обладает ли он его остроумием, будет ли он способен вести с нами беседы на бытовые, служебные, научные и литературные темы.

ГИЛОН: Все это Неизвестный делает точно так же, как и прежний Теоген.

ФАДИЙ: Так чего же еще можно требовать от Неизвестного? Конечно же, это — Теоген.

ГИЛОН: Опять ты торопишься! Такое поведение Неизвестного может быть обусловлено работой специальной электронной машины, обрабатывающей исходящую от нас с тобой информацию и управляющей речью Неизвестного.

ФАДИЙ: Но эта электронная машина должна содержать в себе весь жизненный опыт Теогена, все его знания!

ГИЛОН: С этим вполне справится ее запоминающее устройство.

ФАДИЙ: Отдаешь ли ты себе отчет в том, сколь сложной должна быть эта электронная машина?

ГИЛОН: Да, конечно. Техника сегодняшнего дня не располагает такими совершенными машинами; но в недалеком будущем их создание станет возможным.

ФАДИЙ: А я думаю, что на создание таких электронных машин уйдут тысячелетия. Скорее же всего, что их вовсе никогда не будут строить.

ГИЛОН: Ты отказываешься от дальнейших попыток установить личность Неизвестного?

**ФАДИЙ:** Ничуть. У меня есть еще в запасе решающее средство проверки. Хотя манекен, начиненный электронной вычислительной машиной, в принципе, вероятно сможет подражать поведению Теогена, но на самом деле он есть всего лишь бесчувственный автомат, не отдающий себе ни малейшего отчета о своем существовании, о своих поступках и действиях. Если Неизвестный — не Теоген, то у него нет и не может быть сознания. Он не осознает того, что говорит и делает, не испытывает никаких ощущений, никаких эмоций, никаких желаний. Есть ли у Неизвестного сознание?

**ГИЛОН:** Судя по поступкам, — да. Неизвестный утверждает, что он существует, что он — действительно Теоген, что он ощущает собственные мысли, чувствует свое тело. Есть у него также эмоции и желания. Его, к примеру, раздражает то, что мы так дотошно надоедаем ему со своими нелепыми расспросами.

**ФАДИЙ:** Но все это — одна лишь видимость сознания. Неизвестный может подделываться под сознательное существо. Слова и поступки в данном случае не имеют никакой цены. Ответь мне, чувствует ли Неизвестный на самом деле или нет.

**ГИЛОН:** Если б ты заранее знал, что Неизвестный — это Теоген, смог бы ты сам ответить на свой вопрос? Обладает ли сознанием сам Теоген? Ведь ты узнаешь о том, что Теоген обладает сознанием, только по его словам и поступкам. А чтобы убедиться, что Теоген действительно ощущает, нужно на время самому стать им, что не так-то просто сделать. Тем не менее, отсутствие такой проверки не мешает тебе считать Теогена сознательным существом.

**ФАДИЙ:** Имея дело с Теогеном, я, действительно, мог бы довольствоваться наблюдением его поведения, и этого мне было бы достаточно, чтобы убедиться, что он обладает сознанием. Ход моих мыслей таков: я знаю, что сам обладаю сознанием; кроме того, сравнивая свою речь и поступки с речью и поступками Теогена, я обнаруживаю полную аналогию; наконец, я вижу, что организм Теогена устроен точно так же, как и мой собственный. Отсюда я по аналогии делаю вывод: Теоген, подобно мне, обладает сознанием. В нашем случае ситуация иная: я не знаю, есть ли сходство между моим организмом и телом Неизвестного. Если у Неизвестного по сосудам течет такая же кровь, как и у меня, а мозг его состоит из таких же живых белковых клеток, что и мой, то я соглашусь считать Неизвестного Теогеном, то есть сознающим субъектом.

**ГИЛОН:** Все это ты говоришь лишь потому, что знаешь, что подделка под Теогена возможна. А если б ты не подозревал о подвохе, разве Неизвестный не показался бы тебе полноценным Теогеном? Неужели, знакомясь с новым для тебя человеком, ты стал бы осведомляться, есть ли у него мозг и натуральная кровь?

**ФАДИЙ:** Действительно, я не стал бы этого делать. Меня, конечно, полностью удовлетворил бы рассмотренный нами Неизвестный, и я принял

бы его за Теогена, не ощущая никакой подделки. Но поскольку сомнение посеяно, я требую обследования организма Неизвестного. Это мне необходимо для того, чтобы узнать, есть ли у Неизвестного сознание.

**ГИЛОН:** Хорошо, чуть позже мы проведем и это испытание. А сейчас я хочу подвести некоторые итоги нашей беседы. Я утверждаю, что все качества Неизвестного, с которыми мы до сих пор имели дело, характеризуют личность Неизвестного, его духовную сторону, но в то же время не имеют ни малейшего отношения к характеристике его тела. Ведь мы до сих пор не знаем, натуральное или синтетическое тело у Неизвестного.

**ФАДИЙ:** С этим я вполне могу согласиться.

**ГИЛОН:** Таким образом, мой мысленный эксперимент позволил полностью отделить дух от тела. Тело человека — это его кости, кровь, мышцы, глаза, уши, мозг, желудок, печень, почки, руки и ноги. Дух — это внешний облик, зрение, слух, манеры, речь, движения тела, позы, мимика, память, мышление, воля, эмоции, жизненный опыт и, наконец, сознание человека.

**ФАДИЙ:** Но мы еще не решили, можно ли сознание человека отделить от органического тела и пересадить в синтетический механизм. Не исключено также, что личность Теогена характеризуется еще чем-то неуловимым, что не вошло в твой перечень духовных качеств. Однако давай возвратимся к обсуждаемой теме. Помнится, ты обещал мне разрешить физическое обследование тела Неизвестного.

**ГИЛОН:** Вот результаты этого обследования: Неизвестный имеет натуральный мозг, натуральную кровь, вообще его организм устроен точно так же, как твой или мой.

**ФАДИЙ:** Чего ж ты мне так долго морочил голову со своими автоматами, зная заранее, что это — Теоген, а не его синтетический двойник!

**ГИЛОН:** Уверен ли ты, что Неизвестный — это Теоген?

**ФАДИЙ:** Еще бы!

**ГИЛОН:** Так давай теперь продолжим наш эксперимент и мысленно пройдем в соседнюю комнату, где должна была происходить операция полного протезирования Теогена.

### **3.6. “Раздвоение” личности**

**ФАДИЙ:** Что же я должен увидеть в операционной?

**ГИЛОН:** На столе под наркозом лежит субъект, как две капли воды похожий на нашего Неизвестного.

**ФАДИЙ:** Как же так могло случиться? Сразу два Теогена?

**ГИЛОН:** Нет, Теоген один, — тот, который лежит на операционном столе. А Неизвестный — это его точная копия.

**ФАДИЙ:** Но скопировать человека молекула в молекулу, атом в атом, электрон в электрон — совершенно немыслимое дело!

ГИЛОН: Конечно, практически это вряд ли удастся сделать, тем не менее, в таком дублировании нет ничего принципиально неосуществимого. Я вовсе не собираюсь предлагать для практики способ протезирования человека путем его точного копирования. Это мне нужно лишь для того, чтобы доказать тебе, что полное протезирование человека, в принципе, возможно.

ФАДИЙ: Что ты понимаешь под полным протезированием?

ГИЛОН: Это такая замена натурального тела человека синтетическим, когда ни он сам, ни окружающие его лица не замечают подделки. Иначе говоря, при полном протезировании духовная сторона человека должна быть в точности сохранена, тело же может быть каким угодно. Пример полного протезирования мы имеем в лице нашего Неизвестного. Тело у него искусственное, но, вместе с тем, как личность — это настоящий Теоген.

ФАДИЙ: Никогда с этим не соглашусь! Неизвестный — это не Теоген.

ГИЛОН: Почему же? Ведь ты сам только что уверял меня в том, что Неизвестный — это Теоген.

ФАДИЙ: Я не учел возможности точного копирования Теогена и поэтому ошибся. Хотя Неизвестный — точная копия Теогена, но это все же не он сам. Настоящий Теоген, как ты сам говоришь, лежит на операционном столе.

ГИЛОН: Ну, а если бы настоящий Теоген к моменту нашего прихода был уничтожен, признал бы ты Неизвестного Теогеном?

ФАДИЙ: Пожалуй бы признал. Но дело-то в том, что сам Неизвестный не признает себя Теогеном.

ГИЛОН: Ну как же? Мы ведь прежде обследовали Неизвестного, и он заявлял нам, что он и есть Теоген. Да иначе и быть не могло, ведь мозг Неизвестного — это точная копия мозга Теогена. Он хранит все воспоминания Теогена, в то же время никаких чужих воспоминаний мозг Неизвестного не содержит. Неизвестному и на ум никогда не придет, что он — не Теоген.

ФАДИЙ: Все это так, но тело-то другое у Неизвестного.

ГИЛОН: А разве твое собственное тело не заменяется совершенно иным в процессе обмена веществ? В течение непродолжительного периода времени вещество твоего мозга полностью обновляется, так что в нем не остается ни единого прежнего атома. И все же при этом ты остаешься самим собой.

ФАДИЙ: Так то ж — замена постепенная, а здесь мы имеем внезапную полную замену организма.

ГИЛОН: Я считаю, что это не имеет ни малейшего значения.

ФАДИЙ: При постепенной замене обновляемые элементы организма сразу же выносятся из него. Параллельно осуществляется монтаж нового и демонтаж старого организма. Поэтому не воз-

никает такого положения, чтобы одновременно существовали два одинаковых организма. В нашем же случае наряду с дубликатом мы имеем в наличии и сам оригинал Теогена. А что произойдет, если мы разбудим настоящего Теогена? Если Неизвестный и Теоген — одна и та же личность, то они должны чувствовать друг друга, должны иметь общие мысли, общие чувства, единую волю. Короче, у них на двоих должна быть одна душа.

ГИЛОН: Ну что ж, давай мысленно разбудим настоящего Теогена. Не хочешь ли задать ему какой-нибудь вопрос?

ФАДИЙ: Хочу. Пусть ответит мне, знаком ли он со своим двойником, составляет ли с ним единое целое и не будет ли он возражать, если мы его сейчас умертвим. Такая перспектива, конечно же, его не должна опечалить: ведь он будет продолжать жить в облике своего двойника.

ГИЛОН: Ответ Теогена таков. Он не знаком с человеком, которого почему-то называют его двойником, ничего общего с ним не имеет, хотя видит, что этот человек поразительно похож на него самого. Теоген вовсе не желает расставаться с жизнью, поскольку его совсем не утешает мысль, что вместо него будет жить кто-то другой, будь то даже собственный двойник.

ФАДИЙ: Отлично! А теперь давай зададим те же вопросы Неизвестному — двойнику Теогена.

ГИЛОН: Неизвестный утверждает то же самое. Именно он — Теоген, а не этот субъект, так ловко загримировавшийся под него. Он не знает этого человека и ради него не хочет жертвовать своей жизнью.

ФАДИЙ: Вот так протезирование получилось! Теоген как пребывал в своем организме, так и остался в нем. Никакой замены натурального тела синтетическим не произошло. Только добавился еще один новый человек — Теоген-второй. Так я предлагаю отныне величать Неизвестного.

ГИЛОН: В таком случае настоящего Теогена надо именовать Теогеном-первым. Ведь они во всем равноправны. Кому из них отдать предпочтение, — это непростой вопрос. Я полагаю, что теперь никому, кроме свидетелей протезирования, не удастся установить, кто из них двоих — настоящий Теоген, а кто — поддельный.

ФАДИЙ: О, этот вопрос легко решить! Конечно же Теоген-первый и есть настоящий Теоген, поскольку у него имеется собственная душа.

ГИЛОН: Но что ты имеешь в виду под словом “душа”? Если это то, о чем мы говорили раньше, то есть память, сознание, мышление, воля, эмоции, то всем этим обладает и Теоген-второй, поскольку у него такой же точно организм, как и у Теогена-первого. Или, быть может, ты имеешь в виду душу в богословском понимании этого слова, то есть нечто такое, что не содержит в своей основе ничего материального?

ФАДИЙ: Мне не хотелось бы становиться на такую точку зрения, хотя она логически допусти-

ма. Но если Теоген-первый и Теоген-второй продолжают одну и ту же личность прежнего Теогена, то почему они не являются одним и тем же лицом? Здесь какой-то парадокс! И тот и другой считают себя одним и тем же Теогеном, но, вместе с тем, они — разные лица.

**ГИЛОН:** В этом нет никакого противоречия. Дело в том, что одним и тем же словом “личность” люди выражают два разных понятия. Теоген-первый и Теоген-второй представляют собой одну и ту же личность в том смысле, что прежде, до некоторого момента времени, они были одним и тем же лицом, а именно Теогеном. Оба они являются преемниками одной и той же личности. Назовем такое понимание личности *преемственным*. Обычно термин “личность” понимают именно в преемственном смысле. В то же время Теоген-первый и Теоген-второй — это разные личности в том смысле, что после раздвоения они не составляют в данный, текущий, момент времени единое целое. Такое понимание личности будем называть *текущим*. Если две личности совпадают в преемственном смысле, то это еще не значит, что они должны совпадать также и в текущем смысле. Для целей протезирования важно, чтобы личность дубликата совпадала с личностью оригинала именно в преемственном смысле, а это условие при протезировании Теогена было выполнено. Как Теоген-первый, так и Теоген-второй в преемственном смысле являются той же личностью, что и Теоген, живший ранее.

**ФАДИЙ:** Ты уверен, что это так?

**ГИЛОН:** Безусловно. Ведь если бы Теоген-второй не был создан, то Теоген-первый в этом случае продолжал бы жизнь Теогена, и ни у кого не возникло бы сомнения в том, что он представляет собой ту же самую личность, что и прежде. Вместе с тем, Теоген-второй во всем равноправен с Теогеном-первым. Поэтому Теоген-второй в той же мере, как и Теоген-первый, продолжает жизнь Теогена.

**ФАДИЙ:** Но почему все-таки Теоген-первый и Теоген-второй не составляют одной личности в текущем смысле? Почему каждый из них не чувствует тела другого, не видит мир также и его глазами, не ощущает мыслей своего дубликата, не считает его желания также и своими собственными?

**ГИЛОН:** Дело в том, что совпадение личностей в текущем смысле достигается только при идентичности сигналов, поступающих к ним из внешнего мира, а это требует полного тождества всех ощущений двух субъектов. Однако в случае с Теогеном это условие не выполняется. Уже в следующее мгновение после раздвоения зрительные ощущения Теогена-первого и Теогена-второго будут неодинаковыми. То же относится к слуховым ощущениям и ощущениям других видов, порождаемым органами чувств двойников. Разными будут также ощущения каждого из тел, поскольку после раздвоения Теогены не будут находиться в одинаковых местах и позах. Под воздействием всех этих

разных ощущений мысли Теогена-первого потекут в ином направлении, чем у Теогена-второго, у них возникнут неодинаковые эмоции и желания. Все это будет сопровождаться возникновением и нарастанием различий в структуре и функционировании мозга Теогена-первого и Теогена-второго. В результате уже нельзя будет считать, что организмы Теогенов идентичны. Поэтому нет ничего удивительного в том, что они не чувствуют себя единой личностью. Если бы мы смогли те участки мозга, которые ответственны за возникновение ощущений, сразу же после раздвоения постоянно поддерживать совершенно одинаковыми, то оба Теогена стали бы единой личностью не только в преемственном, но также и в текущем смысле.

**ФАДИЙ:** Не может быть, чтобы дело было только в этом! Причины того, что два дубликата не составляют единую личность, коренятся, по видимому, значительно глубже.

**ГИЛОН:** Нет, — только в этом. Чтобы в этом убедиться, давай проведем еще один мысленный эксперимент и представим, что произойдет, если мы будем искусственно поддерживать мозг Теогена-первого и мозг Теогена-второго тождественными. Для этого нам придется все изменения, возникшие в мозгу Теогена-первого, тотчас же вносить и в мозг Теогена-второго, а изменения в мозгу Теогена-второго вносить в мозг Теогена-первого.

**ФАДИЙ:** И если тождество удастся поддерживать, то в результате этого они станут одним лицом?

**ГИЛОН:** Да. Предположим, что Теоген-первый увидел какой-то предмет. Прежде чем в его уме возникнет ощущение этого предмета, в мозгу у него произойдут процессы, составляющие материальную основу этого ощущения. Но все эти процессы мы условились переносить также и в мозг Теогена-второго. Следовательно, и у него возникнет ощущение того же предмета. Теоген-второй будет видеть не только своими глазами, но и глазами Теогена-первого. Аналогично этому Теоген-первый будет также видеть мир четырьмя глазами: двумя своими и двумя — своего двойника.

**ФАДИЙ:** Но это невозможно! Мозг не имеет специальных механизмов, чтобы обеспечить видение сразу четырьмя глазами и управление одновременно двумя телами. Человек не может видеть сразу два различных объекта.

**ГИЛОН:** Почему же? У каждого человека — два глаза, и каждым глазом он видит мир иначе, чем другим. Можно одним глазом рассматривать предметы через красное стекло, а другим — через синее. Можно, наконец, перед одним глазом поставить зеркало и тогда глаза будут воспринимать совершенно различные картины. Точно так же обстоит дело со слухом. С помощью наушников можно заставить уши слышать различные звуки одновременно.

**ФАДИЙ:** Но в этих случаях человек не может воспринимать одновременно два различных сообщения. Он будет переключать внимание то на

одну, то на другую зрительную картину или звуковой сигнал.

**ГИЛОН:** Я не думаю, что ум человека совершенно неспособен воспринимать сразу два различных сообщения, но даже если бы это было так, никаких несообразностей со сдвоенным Теогеном не произойдет. Точно так же, как и обычный человек, сдвоенный Теоген будет переключать свое внимание с одной пары своих глаз на другую. Далее, если у Теогена-первого возникнет какая-либо мысль, то эта же мысль обязательно тотчас же возникнет и у другого. Это связано с тем, что причиной возникновения мысли у Теогена-первого послужили некоторые материальные процессы, происшедшие в его мозгу, а эти процессы автоматически переносятся в мозг другого, и как следствие этого у Теогена-второго возникнет та же мысль.

**ФАДИЙ:** Но в таком случае могут появиться сразу две противоположные мысли в уме сдвоенного Теогена!

**ГИЛОН:** А разве в уме обычного человека противоположные мысли не возникают? Наконец, от одного Теогена к другому будут передаваться также эмоции и желания.

**ФАДИЙ:** Любопытно посмотреть, что произойдет, если один из них захочет одно, а другой — противоположное.

**ГИЛОН:** Но ведь и у меня и у тебя иногда возникают противоположные эмоции и желания. В этом случае желания вступают друг с другом в борьбу, и лишь одно из них превращается в действие. Именно это и произойдет со сдвоенным Теогеном.

**ФАДИЙ:** Так что же, оба Теогена будут двигаться совершенно синхронно?

**ГИЛОН:** Вовсе нет. Ведь две твои руки могут одновременно выполнять различные действия. Точно так же оба тела будут по-разному управляться единым Теогеном.

**ФАДИЙ:** Ты полагаешь, что возможно согласованное управление двумя организмами с помощью двух различных центров? Не забывай, что у сдвоенного Теогена два мозга.

**ГИЛОН:** Такое управление возможно уже хотя бы потому, что нечто подобное имеет место и у обычных людей. Мозг человека состоит из двух совершенно одинаковых полушарий. Тожество полушарий автоматически поддерживается, для чего служит специальная перемычка, соединяющая между собой две половины мозга с помощью ста миллионов нервных волокон.

**ФАДИЙ:** Смелое заявление! А разве тебе неизвестно, что левое полушарие мозга является ведущим и что, несмотря на внешнюю симметричность полушарий, их функции далеко не идентичны.

**ГИЛОН:** Однако в последнее время получены экспериментальные данные, доказывающие, что информация, поступающая от органов чувств в одно полушарие, немедленно передается также и в другое. Этот факт хорошо согласуется с моим утверждением.

### 3.7. “Переселение душ”

**ФАДИЙ:** Что-то я не понял отчетливо, зачем тебе понадобилось раздваивать и соединять личности?

**ГИЛОН:** Я только хотел показать тебе, что полное протезирование человека, в принципе, возможно.

**ФАДИЙ:** Но твой Теоген-второй — это порождение безудержной фантазии. Никогда людям не удастся осуществить точное копирование человеческого тела. Кроме того, протезирование не решает проблему бессмертия: Теоген-второй так же смертен, как и Теоген. А насколько я понял, ты хочешь переселить человеческую душу из натурального тела в синтетическое именно для того, чтобы сделать человека бессмертным. Можешь ли ты предложить способ “переселения” человеческой души в бессмертное тело, который был бы уже сегодня практически осуществим?

**ГИЛОН:** Такого способа я предложить не могу, но я ясно вижу, по какому пути нужно двигаться, чтобы его разработать.

**ФАДИЙ:** А не придется ли человечеству двигаться по этому пути миллионы лет?

**ГИЛОН:** Нет, я думаю, что для достижения конечной цели — бессмертия людей — потребуется всего лишь несколько десятилетий.

**ФАДИЙ:** Скажу тебе откровенно: я в это совершенно не верю. Такое утверждение несерьезно. Однако я готов и дальше терпеливо обсуждать о тобой эту тему. Какими же средствами ты собираешься создавать синтетическое человеческое тело?

**ГИЛОН:** Средствами информационной техники.

**ФАДИЙ:** И ты считаешь, что этих средств достаточно, чтобы построить полноценное искусственное тело и переселить в него любую человеческую личность?

**ГИЛОН:** В принципе, да.

**ФАДИЙ:** А практически?

**ГИЛОН:** Практически возможности техники сегодняшнего дня недостаточны для этого, но темпы развития ее достаточно высоки. Можно ожидать, что через несколько десятилетий станет реальным массовое изготовление электронных искусственных тел для переселения в них всех желающих.

**ФАДИЙ:** Ну и ну! И как же будет выглядеть такой синтетический человек? Надеюсь, не в виде безобразного робота?

**ГИЛОН:** Я думаю, что при желании его можно изготовить так, чтобы по виду он не отличался от натурального человека.

**ФАДИЙ:** Ой ли? И ты полагаешь, что удастся весь электронный механизм, составляющий основу личности, втиснуть в столь небольшой объем, какой занимает натуральное человеческое тело?

**ГИЛОН:** Думаю, что удастся. Ведь электронная аппаратура с годами очень быстро уменьшается в своих размерах. Кроме того, может оказаться

целесообразным наиболее громоздкое оборудование вынести за пределы человеческого тела, а связь между телом и этим оборудованием осуществлять по радио.

**ФАДИЙ:** И что же, в электронном обличье человек сможет видеть, слышать и осязать?

**ГИЛОН:** Несомненно. Уже сегодня существуют автоматические системы, воспринимающие световые лучи и звуковые колебания воздуха, а также реагирующие на прикосновение и давление. Для того чтобы повысить степень их совершенства до уровня человеческих органов чувств, придется еще много поработать ученым и инженерам. Но уже сейчас ясно, что непреодолимых препятствий при создании синтетических органов чувств не встретится. Если человечество всерьез займется этой проблемой, она может быть решена за весьма короткие сроки.

**ФАДИЙ:** Что-то не верится. Но человек не только видит и слышит. Он еще узнает увиденное и услышанное.

**ГИЛОН:** Для этого можно применить узнающие автоматы. Проблема создания узнающих автоматов довольно трудна, однако она уже сейчас по научному поставлена и успешно решается. К настоящему времени в этой области получен ряд обнадеживающих результатов. Без сомнения, и в дальнейшем решение этой проблемы будет успешно продвигаться вперед. Не видно никаких непреодолимых препятствий для такого усовершенствования электронных узнающих устройств, чтобы они сравнялись по своим возможностям с возможностями человека.

**ФАДИЙ:** Маловероятно. А как будет обстоять дело с речью, мимикой? Сможет ли человек с синтетическим телом изъясняться с другими людьми? Сможет ли он ходить, брать в руки те или иные предметы, выполнять различные виды работ?

**ГИЛОН:** Сможет. Уже сейчас ведутся успешные работы по созданию автоматов, синтезирующих человеческую речь, а также программно управляемых манипуляторов.

**ФАДИЙ:** Но все эти устройства еще очень примитивны по сравнению с системами, действующими в человеческом организме!

**ГИЛОН:** Да, это так. Однако я надеюсь, что недалеко то время, когда искусственные системы речи и движения сравняются по степени совершенства с натуральными.

**ФАДИЙ:** Напрасно надеешься. И ты веришь, что электронные устройства смогут воспроизводить такие высшие психические функции как память, эмоции, воля, внимание и сознание?

**ГИЛОН:** Да. В простейшем варианте уже созданы автоматические запоминающие устройства, и они широко используются в информационной технике. Теперь нужно только повышать сложность и расширять функции искусственных систем. Мне представляется, что сознание, воля, эмоции и внимание выполняют в человеческом организме

роль функций высшего контроля и управления. Искусственные системы, реализующие подобные функции, имеются в любом достаточно сложном информационном устройстве.

**ФАДИЙ:** И ты полагаешь, что так сказочно просто решается проблема моделирования сознания?

**ГИЛОН:** Конечно, нет. Система высшего контроля и управления в виде человеческого сознания грандиозна по сложности и многообразию функций. С нею, безусловно, не могут идти ни в какое сравнение любые системы аналогичного назначения, созданные руками людей. Тем не менее, я думаю, что между сознанием и функциями высшего контроля и управления искусственных систем нет непроходимой пропасти. Придет время, не столь отдаленное, когда электронное устройство будет обладать полноценной человеческой психикой. Не забывай, что сейчас мы находимся в самом начале пути, на который вступило человечество по созданию синтетической жизни на Земле. Однако я надеюсь, что очень скоро это направление станет одним из самых важных в деятельности человечества и эти работы в сравнительно недалеком будущем дадут человеку бессмертное искусственное тело.

**ФАДИЙ:** Все это сказки для детей дошкольного возраста! Может оказаться, что информатизация — это всего лишь кратковременный эпизод в развитии науки и техники. Сейчас эта область расцветает, а лет через 20-30 ее сменит какое-нибудь другое быстро развивающееся направление. Ведь уже были и век пара, и век электричества, и век атомной энергии. Ты можешь сказать, что сейчас начинается век информатизации, а мне больше нравится называть наше время веком освоения космоса.

**ГИЛОН:** Не думаю, чтобы информатизация была мимолетным явлением. В течение всего предшествовавшего периода развития техники лейтмотивом прогресса была механизация физического труда. Это направление оказалось очень стабильным и красной нитью прошло через оба столетия технического развития. Теперь же техника обогатилась еще одним фундаментальным направлением — механизацией умственного труда. Эта задача останется актуальной до тех пор, пока не будут механизированы все виды умственного труда, а это произойдет лишь после того, как появятся машины, по интеллекту стоящие вровень с человеком. А именно создание разумных машин — основная задача информатизации.

**ФАДИЙ:** Вот ты говорил, что для достижения бессмертия людей с помощью технических средств потребуется всего лишь несколько десятилетий. А сейчас утверждаешь, что это произойдет не раньше, чем машины достигнут такого же совершенства, каким обладают люди. Но для того, чтобы создавать такие машины, нужно прекрасно знать, что же такое человек. И снова мы возвращаемся к необходимости познать человека до конца, что сделать

в сколько-нибудь обозримые сроки невозможно. Уж лучше ориентироваться на биологический путь развития. Там дело обстоит все же проще: нужно лишь усовершенствовать уже существующий человеческий организм, а новых искусственных систем создавать никаких не надо.

ГИЛОН: Ты не совсем прав, Фадий. Технический путь решения задачи бессмертия несравненно более короткий, чем биологический. Здесь не требуется знать все о человеке. Достаточно знать все об интеллекте, о психике субъекта. И можно ничего не знать о его теле. Нам вовсе не нужны анатомо-физиологические сведения о человеке. Если бы мы их даже знали, то не смогли бы использовать при построении синтетического человеческого тела, ибо техника навязывает свою “анатомию и физиологию”, основанную на совершенно иных принципах.

ФАДИЙ: Но знать все о личности человека — это тоже немало. И разве можно что-либо сказать, например, о зрении человека, не зная ничего о глазе, о сетчатке, о зрительном нерве и зрительных центрах в мозге? Психические функции невозможно познать, не изучив предварительно все анатомо-физиологические механизмы, лежащие в их основе.

ГИЛОН: В том-то и дело, что возможно. Что мы знаем о физиологической основе памяти человека? А о свойствах самой памяти людям известно очень многое. Некоторые из этих свойств даже удалось воспроизвести с помощью искусственных устройств. То же самое относится и к зрению. Мы неопровержимо знаем, что зрение включает в себя функции адаптации, восприятия цвета и пространства, а также ряд других функций. Вместе с тем знания о физиологической основе этих функций пока еще весьма скудны. Мы знаем о наличии у человека обширной палитры чувств: боли, раздражения, голода, жажды, досады, восторга, гнева, грусти, тоски, радости, печали, зависти, злости, знаем также о существовании сознания, внимания, воли, воображения, представлений, восприятий, понятий, мыслей, побуждений и многих других психологических характеристик субъекта. Но кто отважится утверждать, что знает также и анатомо-физиологические механизмы, лежащие в основе этих функций?

ФАДИЙ: Откуда же могли появиться все эти знания о психических функциях? Ведь нельзя ничего узнать о функциях какой-либо машины, не зная ее внутреннего устройства.

ГИЛОН: Почему же? Функции любой машины можно понять, изучая ее в работе и наблюдая за тем, как она реагирует на те или иные внешние воздействия. Точно так же многое о психических функциях можно узнать, изучая поведение человека, наблюдая за тем, как он реагирует на ту или иную ситуацию, на обращенную к нему речь. Кроме того, люди могут вести наблюдение за своими психическими процессами как бы изнутри. Это

возможно ввиду наличия у человека сознания — этого своеобразного “внутреннего зрения”. Все это, вместе взятое, обеспечивает нам сравнительно легкий доступ к психическим функциям, которые могут быть полностью изучены без обращения к анатомо-физиологическим данным о мозге человека.

ФАДИЙ: Я, пожалуй, соглашусь с тем, что кое-что о психике человека мы узнаём без обращения к физиологии. Но эти знания носят весьма общий и неполный характер. Не думаю, чтобы, пользуясь исключительно внешним наблюдением и самоанализом, можно было бы исчерпывающим образом описать человеческую психику.

ГИЛОН: Но ведь то, что не проявляется в поведении и переживаниях человека, — это уже не психический процесс. Любые иные сведения не дают дополнительной информации о личности субъекта и могут вовсе не приниматься во внимание при решении задачи переселения души из одного тела в другое. А все, что проявляется в поведении и переживаниях, именно в силу своего проявления, может быть изучено без обращения к телесной стороне человека.

ФАДИЙ: Все же остается фактом, что наши знания о психике человека еще весьма далеки от полноты и завершенности.

ГИЛОН: К сожалению, это так. Но виной тому не игнорирование физиологических данных, а очень большая сложность психики как объекта исследования. Я верю в то, что психика может быть исчерпывающим образом изучена исключительно на основе анализа поведения человека и его субъективного мира.

ФАДИЙ: Однако изучение поведения живых организмов составляет один из разделов физиологии.

ГИЛОН: Я полагаю, что изучение поведения человека можно с таким же правом считать и разделом психологии.

ФАДИЙ: Итак, ты считаешь, что физиология за исключением ее раздела о поведении, — это совершенно бесполезная наука?

ГИЛОН: Вовсе нет. Физиология очень важна, однако лишь для изучения человеческого тела, а никак не духа.

ФАДИЙ: Но представь на минутку, что физиология уже располагает полной информацией об устройстве и работе всех частей машины человеческого тела. Разве нельзя будет на основе этих данных восстановить полную картину человеческой психики?

ГИЛОН: В принципе, это, конечно, возможно. Но дело в том, что физиология сможет получить полную информацию о человеческом теле значительно позже, чем психология — о душе. Для решения задачи переселения душ достаточно знать лишь часть информации о человеке, а именно, надо знать, что такое его дух. Психология может дать это знание неизмеримо скорее, чем физио-

логия. Поэтому я считаю, что при решении этой задачи надо ориентироваться главным образом на психологию.

**ФАДИЙ:** Не думаю, чтобы психологический путь исследования оказался более коротким, чем физиологический. Ведь психология за три тысячи лет своего существования до сих пор еще не смогла выработать даже надежных методов исследования. Ее единственный инструмент — интроспекция, или “внутреннее зрение” — очень шаткий и не достоверный источник информации.

**ГИЛОН:** Сейчас психология уже имеет надежный метод исследования — метод построения математических моделей психических процессов с их реализацией в виде действующих устройств с помощью средств искусственного интеллекта. А наблюдение за поведением человека при решении им тех или иных психологических задач дает достаточный экспериментальный материал для суждения о правильности или ошибочности создаваемых моделей.

**ФАДИЙ:** Но психических функций — огромное число. Ты сам недавно привел мне весьма длинный (и кстати, далеко не полный) перечень их. А каждая из этих функций, в свою очередь, потрясающе сложна. Я не верю, что когда-нибудь удастся изучить психические процессы в такой мере, чтобы появилась возможность воспроизводить их с помощью искусственных устройств.

**ГИЛОН:** Единственным веским аргументом против этого возражения могут быть лишь успешные исследования и разработки в этой области. Уже сейчас здесь многое сделано, но еще больше предстоит сделать. Хотя психических функций, действительно, очень много, но они все на виду. Кроме того, различные психические функции часто мало зависят друг от друга, и поэтому исследование психики можно вести очень широким фронтом.

**ФАДИЙ:** Почему ты считаешь, что все психические функции на виду? Мне же думается, что, напротив, о существовании многих из них мы пока еще и не догадываемся. Чем дальше будет наука продвигаться вперед в деле изучения психики человека, тем большие бездны незнания будут открываться перед нею.

**ГИЛОН:** Дело в том, что существуют люди с расстройствами психики — душевнобольные. У них наблюдаются нарушения и даже выпадения отдельных психических функций. Болезнь не шадит ни одной из психических функций, но часто поражает их избирательно. Изучая психику в болезненном состоянии, можно составить довольно верное представление о комплексе всех психических функций человека. Не исключено, что в недалеком будущем удастся составить их полный каталог.

**ФАДИЙ:** Пока мы говорили только о тех психических функциях, которые присущи всем людям в равной мере. Но каждый человек обладает, кроме того, своей неповторимой личностью, своими су-

губо индивидуальными навыками, знаниями, впечатлениями, привычками, манерами, собственным мировоззрением. Все это также нужно будет сохранить при “переселении души” человека. Со всем непросто будет осуществить “считывание” этой информации.

**ГИЛОН:** Да, это сложное, но вовсе не безнадежное дело. Человек способен записать значительную часть информации о себе, свидетельством чего служат объемистые мемуары и дневники. Голос человека можно увековечить средствами звукозаписи, а его внешний вид и манеры — средствами кино. Не исключено, что в будущем станет возможным съем информации непосредственно с мозга человека.

**ФАДИЙ:** Вот видишь, тебе не удалось обойтись без физиологии!

**ГИЛОН:** Так я же вовсе не против физиологии. Если она окажется полезной для дела “переселения душ”, то ее, конечно, нужно будет привлечь. Я говорю лишь о том, что это непросто сделать. Ведь ясно, что записать свои воспоминания на листе бумаги несравненно легче, чем организовать считывание информации непосредственно с коры мозга.

**ФАДИЙ:** Ну, хорошо. Давай теперь перенесемся мыслью в будущее, которое тебе видится возможным, а мне — нет. Представь, что уже создан первый протез человеческого тела, и он ждет своего жильца. Как будет выглядеть процедура “переселения” человека?

**ГИЛОН:** Протезирование тела будет сугубо добровольным делом. Решение о “переселении души” должен принять сам протезируемый, подобно тому как в наше время больной принимает решение лечь на операцию.

**ФАДИЙ:** Допустим теперь, что операция протезирования осуществилась. Кто поручится за то, что “душа” человека действительно “переселилась” в синтетическое тело?

**ГИЛОН:** Мы уже говорили об этом раньше. Суждение должен вынести сам протезируемый и лица, его хорошо знавшие.

**ФАДИЙ:** А ведь протез может только то и делать, что говорить: “Я — Гилон”, но благодаря этому он тобою не станет. Окружающие лица также могут не настолько хорошо тебя знать, чтобы заметить дефекты протеза.

**ГИЛОН:** Да, это — трудная задача. Проблема контроля качества протезирования, безусловно, сложна. Всё можно было бы значительно упростить, если б удалось наладить двустороннюю связь между дубликатом и оригиналом. В этом случае человек смог бы в виде пробы частично или полностью перейти в синтетическое тело и возвратиться назад, если ему там не понравится. Должен заметить, что уже сейчас разрабатывается нечто похожее на элементы такой связи. Так, с помощью введения микроэлектродов в определенные точки мозга удастся пробудить те или иные воспоминания, вызвать гнев, голод и даже любовь.

**ФАДИЙ:** Дорогой Гилон, ты снова прибегаешь к помощи физиологии! Ну а что делать с натуральным человеческим телом в случае, если протезирование будет признано доброкачественным? Ведь если оригинал разбудить, то мы будем иметь не одну, а две человеческие личности, о чем нам уже пришлось столкнуться ранее.

**ГИЛОН:** Я полагаю, что оригинал должен быть уничтожен, и команду на это даст дубликат, то есть по сути сам протезируемый.

**ФАДИЙ:** Некрасиво получается. Ведь убивать человека преступно.

**ГИЛОН:** Но человек как личность продолжает жить. В таком убийстве не больше преступления, чем в сносе старого дома, после того как все его жильцы добровольно перешли жить в новые квартиры.

**ФАДИЙ:** Здесь что-то не так. Даже если допустить, что все, о чем ты здесь говорил, когда-нибудь станет осуществимым делом, все равно это — не более, чем утопия. Никогда люди не захотят перевоплощаться в синтетические тела. Меня подирает мороз по коже, как представляю себя в виде электронного устройства! Ведь расставшись с привычным телом, придется позабыть о таких немаловажных вещах, как радости плотской любви, никогда уже у протеза не родятся дети и жизнь его станет убийственно унылой.

**ГИЛОН:** Конечно, молодые и здоровые люди вряд ли согласятся на протезирование. А вот откажутся ли от него пожилые люди — это еще вопрос. Ведь им-то терять нечего. Плотская любовь и рождение детей для многих из них уже давно и безвозвратно ушли в прошлое. К тому же, когда костлявая с косою постучится в дверь, я думаю, многие, если не все, предпочтут смерти переселение в синтетическое тело. Кроме того, всегда найдутся отчаянные смельчаки, которые первыми рискнут сменить себе тело, и когда все увидят, что они продолжают пребывать в добром здравии и бодром состоянии духа, — это, безусловно, будет веским аргументом в пользу “переселения души”.

**ФАДИЙ:** Все это выглядит очень наивно. Да и не станет человечество заниматься задачей полного протезирования людей и тратить на это огромные средства.

**ГИЛОН:** Оно вынуждено будет делать это. Ведь процесс механизации умственного труда остановить невозможно, и он будет продолжаться до тех пор, пока не появятся машины с психикой, равноценной человеческой. С этого момента сама собой появится возможность снабдить человека синтетическим телом. Трудно представить, чтобы люди отказались от этой возможности, если учесть их огромное желание жить. Если же все-таки люди не захотят переходить на синтетическую основу, то впоследствии для них наступят тяжелые времена. Машины, развиваясь дальше (а их прогресс остановить не удастся), очень скоро станут совершеннее людей, которым придется уступить машинам свою роль “венца мироздания”.

**ФАДИЙ:** Конечно, вполне можно допустить, что в течение весьма длительного времени будет происходить эволюция человеческого организма. Я допускаю даже, что человек сам сможет направлять эволюцию в желаемом для него направлении. Однако такая эволюция будет совершаться за счет постепенных переходов в процессе смены многих поколений людей. Нарисованная же тобою картина замены естественного организма человека искусственным совершенно нереалистична. Скажу больше — она анекдотична!

### **3.8. Будущее — какое оно?**

**ГИЛОН:** И все же я настаиваю на том, что рано или поздно человеческий организм станет синтетическим и все процессы в нем будут подвластны людям. И произойдет это не за счет биологической эволюции человеческого организма, а в результате целенаправленной сознательной деятельности людей. Не спорю, процесс этот может затянуться на более длительный период, чем мне бы того хотелось.

**ФАДИЙ:** И ты полагаешь, что люди с синтетическим телом будут бессмертными?

**ГИЛОН:** Да.

**ФАДИЙ:** В таком случае ты глубоко заблуждаешься. Очень скоро детали искусственного тела изнасятся, и оно выйдет из строя.

**ГИЛОН:** Совсем не трудно представить себе замену изношенных деталей новыми.

**ФАДИЙ:** Менять детали легко, когда их немного. Когда же их огромное количество (а в синтетическом теле человека их будет, несомненно, чрезвычайно много), отыскание вышедших из строя деталей и их замена станет очень тяжелой проблемой.

**ГИЛОН:** Все же я считаю, что с этой проблемой удастся справиться.

**ФАДИЙ:** К тому же всегда имеется некоторая вероятность того, что человек погибнет в результате какой-либо катастрофы. Даже при нашей весьма краткой жизни множество людей умирает по этой причине. Если же срок жизни неизмеримо удлинится, то практически каждый человек рано или поздно будет попадать в гибельную для него катастрофу. Так что бессмертия все равно не получается.

**ГИЛОН:** Всегда можно принять дополнительные меры предосторожности. Так, можно синтетический мозг человека стационарно поместить в достаточно безопасном месте и с его помощью управлять по радио подвижным телом, содержащим лишь органы чувств, речи и движения. Гибель тела в таком случае будет легко восполнима. Кроме того, вполне мыслимо дублирование мозга человека в двух и большем числе экземпляров. Возможно, что наши два полушария мозга введены природой именно для повышения его безопасности и надежности. Погибший мозг можно будет восстанавливать также и по его описанию.

**ФАДИЙ:** Но бессмертные люди пропадут со скуки!

ГИЛОН: Я же полагаю, что дел для них хватит. Они будут заниматься усовершенствованием самих себя.

ФАДИЙ: А если они не захотят ничего делать?

ГИЛОН: У синтетических людей будет система потребностей, которая не даст им сидеть сложа руки.

ФАДИЙ: А не случится ли так, что им надоест жить, и они сами себя уничтожат?

ГИЛОН: Не думаю. Будущим людям не удастся это сделать, благодаря инстинкту самосохранения, который у них будет развит не хуже, чем у нынешних людей.

ФАДИЙ: Вот как? А подумал ли ты над тем, какими ужасными последствиями для человечества чревато появление людей с синтетическим телом? Такие люди очень скоро станут значительно сильнее и умнее людей старого образца. И синтетические люди, быстро сообразив, что люди органические им вовсе не нужны, уничтожат их.

ГИЛОН: Зачем же им это делать? Ведь все люди с искусственными телами сами вначале пройдут фазу органической жизни. А живущие вместе с ними люди “старого образца” будут их детьми, внуками и правнуками. Кто же станет уничтожать своих потомков? Произойдет тесное переплетение органической и синтетической жизни. Люди с искусственным телом будут смотреть на белковых людей как на первую (низшую) фазу сознательной жизни и отнесутся к ним так же бережно, как мы относимся к нашим детям.

ФАДИЙ: Весьма сомнительные предсказания! А если со временем станут создавать новых синтетических людей просто на заводах, что тогда? Такие люди ничем не будут связаны с органической жизнью, и она им станет совершенно чуждой. Они даже не захотят возиться с “переселением душ” из белковых тел в искусственные.

ГИЛОН: Создать на заводе можно будет лишь искусственное тело, а не человеческую личность. В личность оно сможет превратиться (помимо переселения в него личности, уже сформировавшейся в белковом теле) только путем длительного обучения в обществе натуральных и синтетических людей. Иначе говоря, на заводах можно будет создавать лишь “младенцев”, которые, воспитываясь в обществе и впитывая в себя его идеологию, знания и нормы поведения, будут составлять с ним единое целое.

ФАДИЙ: Не верю я в это. Со временем степень родства между искусственными и натуральными людьми ослабнет, и от их единства не останется и следа.

ГИЛОН: Синтетические люди будут дорожить белковой жизнью не только потому, что она их породила, но также и потому, что в ней останется еще много непознанного, например, процессы обмена веществ и механизмы наследственности. Одной из важных задач станет изучение анатомо-физиологических механизмов белкового человеческого тела. И до тех пор, пока эти механизмы не изучат

до конца, органическую жизнь будут оберегать от уничтожения.

ФАДИЙ: Точно так же оберегают жизнь кенгуру в зоопарке!

ГИЛОН: А по мере того как органическая жизнь будет познаваться, белковые структуры все шире будут использоваться при построении синтетических человеческих тел. В конце концов белковый человек будет полностью познан, при этом окончательно сотрется грань между естественным и искусственным человеческим телом.

ФАДИЙ: Опять ты пришел к физиологическим проблемам! И чем же по-твоему займутся белково-синтетические люди после того, как полностью познают самих себя?

ГИЛОН: Они займутся усовершенствованием своего тела и своего интеллекта. Появятся научные институты, проектные организации и производства, занимающиеся, к примеру, усовершенствованием зрительной системы человека. В результате будут разрабатываться все более и более совершенные системы органа зрения. Другие учреждения займутся проблемами миниатюризации, повышения быстродействия, усовершенствованием системы эмоций, волевых качеств человека, его мыслительного аппарата и т.д.

ФАДИЙ: Но люди очень скоро собьются с пути по той причине, что не смогут отличить более совершенное от менее совершенного.

ГИЛОН: Вряд ли. Хотя выработка критериев совершенства в ряде случаев может оказаться непростым делом, однако непреодолимых препятствий я здесь не вижу.

ФАДИЙ: А не случится ли так, что люди, развиваясь, дойдут до предела своего совершенства?

ГИЛОН: Не думаю. Ведь в их распоряжении имеются бесконечные пространство и время, неисчерпаемые запасы строительных материалов и энергии во Вселенной. Ничто не сможет поставить человеку неодолимую преграду на пути его беспредельного усложнения и совершенствования.

ФАДИЙ: Фантазер! А чем еще, кроме самоусовершенствования, займутся будущие люди?

ГИЛОН: Ничем.

ФАДИЙ: Ничем?

ГИЛОН: Да. Им нечего больше делать.

ФАДИЙ: Занятно! Значит, они будут обречены на ковыряние в самих себе? Какая проза!

ГИЛОН: А разве не тем же самым занималось человечество до сих пор?

ФАДИЙ: Но сейчас есть любовь, семья, дети.

ГИЛОН: Это всего лишь служба продолжения потомства, которая, в свою очередь, подчинена делу эволюции рода человеческого, то есть его самоусовершенствованию.

ФАДИЙ: А заботы о здоровье, о еде, одежде и жилье?

ГИЛОН: Этим обеспечивается существование людей, без чего их усовершенствование было бы невозможно.

ФАДИЙ: А наука, техника, промышленность?

ГИЛОН: Я утверждаю, что они, в конечном счете, служат лишь делу совершенствования человека.

ФАДИЙ: Рискованное заявление! А досуг, развлечения?

ГИЛОН: Они нужны людям для отдыха, чтобы те могли затем с новыми силами взяться за дело.

ФАДИЙ: А искусство?

ГИЛОН: Искусство служит делу духовного совершенствования человека.

ФАДИЙ: Выходит, по-твоему, что существует цель жизни, и она состоит исключительно в совершенствовании человека?

ГИЛОН: Да. И цель эта всеобъемлющая: все разумные цели, которые ставят перед собой люди, в конечном итоге, сводятся к задаче совершенствования человека.

ФАДИЙ: Допустим. Но кем поставлена эта цель? Господом богом?

ГИЛОН: Нет, природой.

ФАДИЙ: Так где же в таком случае эта цель записана? Уж не на небесах ли?

ГИЛОН: Нет, она заложена в самой природе человека.

ФАДИЙ: Как это понять? До сих пор я считал, что эволюция живых организмов совершается за счет слепой борьбы за существование, а не по заранее предначертанному плану. Природа не может ставить цели.

ГИЛОН: В том-то и дело, что ход эволюции человека в решающей степени определяется уже имеющимся планом развития. Восходящий поток жизни был чисто случайным процессом лишь на заре возникновения живых организмов. Долго такое положение не могло продолжаться. Ведь для выживания какого-либо вида существ недостаточно, чтобы его представители были сильнее и умнее представителей конкурирующих видов. Необходимо еще, чтобы они были способны давать потомство, более быстро совершенствующееся от поколения к поколению, чем потомство других видов. Если этого нет, то медленно развивающийся вид со временем будет вытеснен более быстро совершенствующимися видами живых организмов и прекратит свое существование. Поэтому у высоко развитых живых организмов непременно должны быть весьма совершенные механизмы, планирующие развитие их вида на многие поколения вперед. Такие механизмы, причем в наиболее развитой форме, должны быть и у людей. Именно они являются носителями цели жизни, состоящей в совершенствовании человека.

ФАДИЙ: Но о такого рода механизмах науке пока ничего не известно!

ГИЛОН: Ну и что же? Когда-то наука ничего не знала и о механизмах наследственности. Но факты свидетельствовали, что такие механизмы должны существовать. И действительно, со временем они были открыты и сейчас интенсивно изучаются наукой.

ФАДИЙ: И если удастся расшифровать эти механизмы, то мы узнаем, какими будут люди грядущих поколений? Не смахивает ли это на фатализм?

ГИЛОН: Нисколько. Точно так же, знакомясь с планами развития какого-нибудь крупного завода, мы получаем возможность довольно верно предсказать, каким станет он через год. Менее точно мы сможем обрисовать его развитие на предстоящий пятилетний период. О том же, каким станет этот завод через 20 лет, можно судить лишь в общих чертах. А предсказание на сто лет вперед будет и вовсе ненадежным.

ФАДИЙ: Так что же именно, по-твоему, нам планировали на будущее эти механизмы?

ГИЛОН: А вот что. Еще задолго до появления человека механизмы планирования, действуя в организмах наиболее высокоорганизованных по тому времени существ – прародителей человека, обнаружили, что в недалеком будущем (а в масштабах эволюции это “недалекое будущее” составляет, быть может, десятки миллионов лет) возможности дальнейшего развития этих существ на органической основе будут полностью исчерпаны. В этих условиях механизмы планирования принимают решение: прийти в ближайшем будущем к особому живому существу – человеку, обладающему способностью трудиться и создавать искусственные устройства с тем, чтобы он своими сознательными усилиями создал синтетическую жизнь на более прогрессивной основе, которая имела бы неизмеримо большие потенциальные возможности для развития.

ФАДИЙ: Так ты полагаешь, что человек – это специально созданный природой инструмент, которому суждено перевести жизнь на искусственную основу?

ГИЛОН: Именно так. Мы с тобой живем в эпоху перехода к совсем иному способу совершенствования живых организмов, основанному на их собственных сознательных усилиях. Нам и нашим ближайшим потомкам предстоит завершить этот переход. После этого начнется принципиально новый этап в развитии жизни.

ФАДИЙ: Нет уж, уволь! Это несусветная чушь! Разве можно представить что-либо более нелепое, чем специальные механизмы, функционирующие, к примеру, в человекообразной обезьяне и планирующие действия еще несуществующего человека с целью его перевода на синтетическую основу?

ГИЛОН: А почему бы и нет? Ведь сами-то мы постоянно планируем свою деятельность и не видим в этом ничего сверхъестественного! Мы поступим слишком высокомерно по отношению к природе, творящей поразительные шедевры, отказывая ей в способности планировать свои действия. Смогли бы люди создавать хоть что-нибудь ценное, если их лишит способности планировать собственные действия?

ФАДИЙ: А что же станется с планирующими механизмами человека после перевода людей на синтетическую основу?

**ГИЛОН:** Функции планирующих механизмов примет на себя упоминавшаяся мною ранее сеть научных и проектных организаций, которые займутся проблемами дальнейшего усовершенствования человека.

**ФАДИЙ:** Но для того, чтобы правильно построить работу этих организаций, прежде всего надо выяснить, как устроены и что делают естественные, ныне действующие в человеке, планирующие механизмы. А нам о них ничего неизвестно.

**ГИЛОН:** Ты прав, Фадий. Без расшифровки работы этих механизмов не обойтись. А проблема эта очень сложна и обширна. Она гораздо сложнее, чем задача моделирования психических функций человека. Именно к этой проблеме сводится традиционный вопрос о цели или смысле человеческой жизни. Многое из того, что мы с тобой обсуждали, представляет собой по существу, попытку хотя бы в общих чертах разобраться в работе заложенного в человеке механизма, планирующего его дальнейшую эволюцию.

**ФАДИЙ:** Прекрасно сказано! Этим своим признанием ты сам, Гилон, отодвигаешь решение проблемы бессмертия на неопределенный срок.

#### 4. Человеческий интеллект как объект изучения и имитации

Перейдем теперь к более серьезному обсуждению проблем, которые были выявлены в ходе приведенного выше диалога о бессмертии. Одна из таких проблем состоит в изучении отношения между материальным и идеальным в интеллекте (дух и тело человека). Решение этой проблемы должно основываться, как нам представляется, на признании следующих двух фундаментальных предпосылок: 1) абсолютная первичность материального компонента в интеллекте, 2) относительная независимость идеального компонента от материального.

Принимая первое положение, мы отказываемся от широко распространенного, по существу идеалистического, взгляда на интеллект как на чисто духовную сущность, исключительно информационное образование, комплекс бестелесных функций или собрание идеальных форм. Мы полагаем, что изучение интеллекта на последовательно идеалистической основе не может быть проведено достаточно глубоко, оно рано или поздно неминуемо войдет в противоречие с данными опыта, с фактами, с практикой интеллекта.

Чтобы продемонстрировать всемогущество материалистической позиции, проанализируем уже упоминавшуюся ранее идею Винера о передаче человека по телеграфу. Излагает он ее следующим образом: “Метафора, о которой пойдет речь в этой главе, образована при помощи такого образа, где организм рассматривается в качестве сигнала. Описывая организм, мы не пытаемся точно определить в нем каждую молекулу и постепенно каталогизировать его молекулу за молекулой; мы стремимся разрешить некоторые вопросы, раскрывающие

форму строения организма, — форму строения, которая становится более значимой и менее вероятной по мере того, как организм становится, так сказать, более цельным... Именно форма строения представляет собой пробный камень нашей личной индивидуальности. Наши ткани изменяются на протяжении нашей жизни: принимаемая нами пища и вдыхаемый воздух становятся плотью и костью нашего тела, а преходящие элементы нашей плоти и костей выделяются из нашего тела вместе с экскрементами. Мы лишь водовороты в вечно текущей реке. Мы представляем собой не вещество, которое сохраняется, а форму строения, которая увековечивает себя. Форма строения представляет собой сигнал, и она может быть передана в качестве сигнала. Каким еще образом мы используем наше радио, кроме как путем передачи форм строения звуков, и наши телевизионные установки — кроме как посредством передачи форм строения света? Любопытно и поучительно рассмотреть, что произошло бы, если бы мы могли передать всю форму строения человеческого тела, человеческого мозга с его памятью и перекрестными связями таким образом, чтобы гипотетический приемочный аппарат мог бы перевоплотить эти сигналы в соответствующую материю, способную в виде тела и мозга продолжать процессы жизни и сохранять целостность, необходимую для этого продолжения” [7, с. 103-4].

Казалось бы, допущение идеи передачи человека по телеграфу предполагает полную капитуляцию перед идеализмом, однако это не так. Во-первых, передача бестелесных сигналов невозможна, реально это будут радиоволны или какие-либо иные материальные процессы. Во-вторых, прежде чем передавать сигналы, несущие в себе описание человека, нужно на приемный пункт транспортировать вначале “приемочный аппарат”, а это — вполне материальный предмет. Человек никогда не сможет осваивать Вселенную со скоростью, превышающей ту сравнительно небольшую скорость, с которой он будет транспортировать материальные предметы. И только в освоенной части Вселенной ему, быть может, когда-нибудь откроется возможность путешествовать со скоростью, приближающейся к скорости света. Проявления человеческого интеллекта — это не чистые платоновские формы, но формы движения материи. Справедливость этого положения становится особенно наглядной, если рассматривать человеческие мысли как предикаты, а мышление — как операции над предикатами [8]. Очевидно, что операции над предикатами сами собой не могут выполняться, их сможет произвести только вполне определенная материальная система. Дух не может быть бестелесным, книга не может мыслить, сознание может существовать лишь на основе некоторого материального процесса.

Стремление изучить связь между материальным и идеальным в интеллекте приводит к поста-

новкене ряда интересных задач. Рассмотрим одну из них. Пусть задана некоторая формула алгебры предикатных операций. Ей соответствует устройство, реализующее соответствующую операцию над предикатами. Задача состоит в том, чтобы математически описать процесс преобразования формулы в соответствующее ей устройство. Если такое описание будет получено, то по нему можно будет построить механизм, который в ответ на поступающую в него формулу будет выдавать действующее устройство, способное выполнять соответствующее этой формуле действие. Быть может, решение этой проблемы смогло бы пролить дополнительный свет на природу таких явлений как обучение или развитие организма из оплодотворенной клетки.

Другая интересная проблема связана с тем фактом, что интеллект не может бесконечное число раз формально сводить одни понятия к другим. На каком-то уровне он вынужден остановиться и довольствоваться так называемыми “неопределяемыми” первичными понятиями. Однако неопределяемость эта весьма условна: интеллекту все же как-то удается понимать и эти понятия и успешно применять их на практике. Проблема состоит в том, чтобы понять и математически описать процесс “неформального” определения понятий самого нижнего уровня. Нам представляется, что эта проблема не может быть решена до конца на уровне рассмотрения одних лишь информационных процессов, но нужно обязательно привлечь некоторые материальные объекты. Можно представить себе следующий путь решения этой задачи. Понятия, которыми оперирует интеллект, должны быть описаны в виде тех или иных формул алгебры предикатов или алгебры предикатных операций. Для понятий конечных объектов это можно сделать непосредственно. Конкретные примеры такого описания были приведены в работе [9, с. 87-97]. Там были описаны на языке алгебры предикатов предикаты равенства, принадлежности элемента множеству, отношения включения, операции объединения и пересечения множеств, декартовы произведения множеств, кванторы общности и существования и некоторые другие понятия конечных объектов. Понятия бесконечных объектов также можно записать в виде формул логической математики. Однако для этого приходится идти окольным путем, на котором должны использоваться индуктивные определения. Примером может служить аксиоматическое определение понятия натурального ряда [10]. Действуя таким образом, мы в конце концов будем вынуждены объяснить, что собой представляют предикаты равенства, операции конъюнкции и дизъюнкции, кванторы общности и существования и другие действия, фигурирующие в формулах логического языка описания. Этого объяснения можно было бы избежать, если бы мы располагали механизмом, который превращает формулы логического языка описания в дей-

ствующие устройства, способные выполнять на практике операции, выраженные этими формулами. Таким образом, “последнее объяснение” сводится к материализации, “оживлению” описанных понятий. Вместе с этим произойдет “оживление” и всех остальных понятий, формально выраженных с помощью прямых определений через первичные понятия.

Перейдем теперь к обсуждению второй предпосылки, а именно тезиса об относительной независимости идеального компонента в интеллекте от материального. Информация не может существовать без материального носителя - это безусловно верно, однако она безразлична к качеству и количеству этого носителя. Для передачи одной и той же информации можно использовать и свет, и звук, и электрический ток, и вообще любые другие физические процессы. Преобразование сигналов могут с равным успехом выполнять и ламповые, и полупроводниковые, и электромеханические, и пневматические, и любые другие приборы. Именно этот факт позволяет говорить о принципиальной “перевоплощаемости” человека. Дух не может быть бестелесным, но он может быть весьма “малотелесным”, практика показывает, что информационные процессы могут быть реализованы при очень малом расходе вещества и энергии.

Интересно рассмотреть вопрос, каков механизм “рождения” информации материей. Этот вопрос не очень ясен даже в случае “рождения” простейшего двоичного сигнала. Казалось бы, абстрактные единицы порождаются формирователем (или генератором) им-пульсов, однако фактически этот прибор создает лишь всплески электрического потенциала, причем все эти всплески, строго говоря, различны. Взятый сам по себе импульс — это еще не единица, а чисто физический процесс. В абстрактную единицу импульс превращается прибором, который его распознаёт, то есть вырабатывает в ответ на его поступление единичный сигнал, а в ответ на поступление любых других предметов — нулевой сигнал. Но какой прибор установит, что за сигнал выработал распознаватель? Ведь распознаватель тоже реагирует чисто физическим всплеском электрического потенциала! Однако это затруднение каким-то образом практически преодолевается в цифровой вычислительной машине: ведь никто не сомневается в том, что в ней циркулируют не просто всплески напряжения, а абстрактные сигналы, то есть что машина действительно перерабатывает информацию. Разработка теории материальных процессов, “рождающих” информацию, как нам представляется, внесла бы заметный вклад в развитие физических основ теории интеллекта.

Другая важная проблема науки о человеческом интеллекте состоит в изучении природы личности. Одна из сторон этой проблемы — вопрос об информационном фонде личности. Несомненно, что сущность личности во многом определяется

комплексом знаний, которыми она владеет. Уподобим упрощенно эти знания в виде конъюнкции некоторых предикатов. Каждый из этих предикатов будем интерпретировать как отдельную мысль. Обмен мыслями между людьми будем рассматривать как обмен предикатами. Полагаем, что каждая вновь воспринятая мысль добавляет к уже имеющейся конъюнкции предикатов еще один предикат. Интеллектуальную деятельность будем представлять как процесс преобразования предикатов, имеющих в информационном фонде личности. Каким можно представить себе механизм, обрабатывающий предикаты? Очевидно, это должно быть устройство с входом и выходом. На вход поступают исходные предикаты, подлежащие обработке, на выходе получаем новые предикаты. Работы по созданию устройств (или хотя бы программ для ЭВМ, моделирующих работу этих устройств), предназначенных для преобразования предикатов, могли бы, на наш взгляд, значительно углубить наши знания о механизме человеческого интеллекта.

В диалоге о бессмертии была затронута проблема сознания, которое представляет собой важный объект изучения для теории интеллекта. Как нам представляется, подойти к раскрытию механизмов сознания можно следующим образом. Одно из свойств сознания заключается в том, что оно дает возможность его обладателю осознавать собственные мысли, мысли о мыслях и т.д. Этому процессу соответствует обработка логических формул, определяемая формулами более высокого уровня (назовем их метаформулами). Любые формулы можно представить в виде строчек знаков, а это значит, что они могут служить значениями переменных некоторых других формул. Таким образом, можно говорить об иерархии формул, стоящих друг над другом. Нет необходимости строить бесконечное число этажей в этой иерархии, поскольку любую формулу более высокого уровня всегда, в случае надобности, можно переместить на более низкий уровень с помощью процедуры редукции и подвергнуть ее обработке. Возможен и обратный процесс: новую формулу, полученную на нижнем уровне, переместить на более высокий уровень. Тем самым формула из объекта воздействия превращается в инструмент воздействия, теперь ее можно в числе других формул высшего уровня использовать для управления обработкой формул низшего уровня.

В человеческом мышлении часто наблюдается такое явление, когда некоторая мысль может участвовать в анализе той же самой мысли (например, пользуясь законами логики, мы можем изучать те же самые законы логики). Подобная же возможность открывается и при обработке формул. Любую формулу высшего уровня можно “раздвоить” и ее дубликат передать на более низкий уровень. Этим приемом можно достичь такого положения, когда некоторая формула будет принимать участие в обработке самой себя. Важно заметить, что только что описанная возможность превращения

формулы из объекта воздействия в средство воздействия позволяет пролить свет на механизм самосовершенствования интеллекта. Верно то, что никакая формула не может эффективно управлять обработкой формул, более сложных, чем она сама. Однако эта формула, управляя синтезом гораздо более простых формул, может эти последние присоединять к самой себе. После этой операции формула становится более “совершенной”: она сможет теперь управлять синтезом более сложных формул, чем прежде, и, следовательно, “совершенствоваться” сама себя во все ускоряющемся темпе. Изучение взаимодействия логических формул различного уровня представляется нам весьма перспективной областью разработок в теории информатизации.

Наконец, обратимся к проблеме изучения природы субъективных состояний человеческого интеллекта. Можно рассматривать эту проблему с различных точек зрения. Одна точка зрения состоит в том, чтобы трактовать субъективные состояния как образы внешних по отношению к интеллекту предметов и процессов. Такой взгляд был развит в работе [11, с. 81-100] при обсуждении природы ощущений. Там был рассмотрен случай, когда ощущения могут быть описаны как классы эквивалентности физических объектов, которые несут в себе часть структуры этих объектов. Возможна и такая точка зрения, при которой субъективные состояния рассматриваются как некоторые элементы в механизме человеческого интеллекта. С этой позиции субъективные состояния полезно формально представлять как значения некоторых промежуточных переменных, к которым имеют доступ механизмы сознания. В роли таких переменных, например, выступают ощущения цвета в модели преобразования световых излучений в цвет [11, с. 97] и грамматические категории рода, числа и падежа в модели склонения имен существительных [11, с. 56].

К проблеме субъективных состояний можно подойти еще и с третьей стороны, а именно с позиций требований минимизации структуры интеллектуальных процессов. Как было показано в работе [9, с. 84], введением промежуточных переменных достигается значительная экономия в записи логических формул и их схемной реализации. Можно ожидать, что именно эти переменные, которые в некотором смысле являются узловыми точками в структуре интеллектуальных процессов, служат объектами контроля со стороны вышележащих механизмов интеллекта, выполняя тем самым роль субъективных состояний. Выделение субъективных состояний в виде промежуточных переменных – этих “пробелов” [12, с. 6] в “черном ящике” механизма интеллекта – и изучение взаимосвязей между этими переменными представляется нам важной задачей информатики. Ее решение, как мы надеемся, позволит расчленить огромный механизм человеческого интеллекта на более простые части, то есть произвести его деком-

позицию, что даст возможность расширить фронт работ по его изучению. Субъективные состояния — это не просто “тени” физиологических процессов, разыгрывающихся в мозге, они представляют собой важный и вполне самостоятельный компонент в интеллектуальной деятельности человека и поэтому заслуживают самого пристального анализа.

### 5. Генетический интеллект

До сих пор мы рассматривали проблемы науки о человеческом интеллекте. Теперь поставим и обсудим следующий вопрос. Допустимо ли говорить об общей науке об интеллекте, то есть о такой науке, в которую наука о человеческом интеллекте вошла бы в виде одного из разделов? Очевидно, постановка вопроса об общей науке об интеллекте была бы оправдана, если бы, кроме человека, существовали также и другие виды разумных существ. К сожалению, однако, контакты с внесемными цивилизациями еще не налажены, более того, даже не обнаружено никаких признаков их существования. Но может быть, земные животные обладают интеллектом? Послушаем, что говорит об этом один из основателей современной науки Рене Декарт: “...весьма замечательно, что нет на свете людей столь тупых и столь глупых, не исключая и безумных, чтобы они были неспособны связать вместе различные слова и составить из них речь, передающую их мысли, и, напротив, нет другого животного, как бы оно ни было совершенно и как бы ни было счастливо одарено от рождения, которое сделало бы нечто подобное. Это происходит не от недостатка органов, ибо мы видим, что сороки и попугаи могут произносить слова так же, как и мы, и, тем не менее, не могут говорить, как мы, то есть свидетельствуя, что они думают то, что говорят; между тем люди, рожденные глухими и немыми и в той же или в большей мере, чем животные, лишены органов, служащих другим для речи, обычно самостоятельно изобретают какие-либо знаки, с помощью которых они переговариваются с теми, кто, находясь постоянно с ними, имеет время изучить их язык. И это свидетельствует не только о том, что у животных меньше разума, чем у людей, но и о том, что у них его вовсе нет” [13, с. с. 301-2].

За три с лишним столетия, прошедших с момента написания этих строк, взгляд науки на этот вопрос не изменился. Вот свидетельство нашего современника известного специалиста в области математической лингвистики Н. Хомского: “Любой, кто занимается изучением человеческой природы и человеческих способностей, должен так или иначе принять во внимание тот факт, что все нормальные человеческие индивиды усваивают язык, в то время как усвоение даже его самых элементарных зачатков является совершенно недоступным для человекообразной обезьяны, разумной в других отношениях, — этому факту уделялось, и вполне справедливо, большое внимание в картезианской философии. Широко распространено

мнение, что современные обширные исследования коммуникации животных бросают вызов этому классическому взгляду... Однако внимательное рассмотрение недавних исследований коммуникации животных дает, как мне кажется, мало оснований для подобных допущений. Наоборот, эти исследования просто выявляют более четко степень очевидной уникальности человеческого языка как явления, не имеющего значительного аналога в мире животных... Насколько мы знаем, обладание человеческим языком связано с особым типом умственной организации, а не просто с более высокой степенью интеллекта. Представляется, что не существует данных, подтверждающих взгляд, согласно которому человеческий язык — это просто более сложный случай чего-то, что может быть найдено еще в животном мире” [14, с. 85-9].

В связи с развитием информатизации в последние десятилетия много говорят о машинном интеллекте, то есть разуме цифровых вычислительных машин. Нам представляется, что пока еще нет оснований принимать этот термин слишком всерьез. Во-первых, возможности машинного интеллекта в сравнении с человеческим еще очень невелики и, во-вторых, машинный интеллект есть и еще долго будет оставаться только копией интеллекта человеческого, причем копией весьма несовершенной и неполной. Машинный интеллект в настоящее время и в ближайшем будущем может развиваться лишь на базе науки о человеческом интеллекте. Это обусловлено тем, что другого образца для подражания у нас пока нет. И только после того, когда (точнее было бы сказать — если) машинный интеллект впитает в себя всю сложность человеческого интеллекта и сможет развиваться дальше своим собственным путем, станет правомерным говорить о нем как о чем-то существенно отличным от человеческого интеллекта.

Наш обзор возможных видов интеллекта можно пополнить, упомянув об одном природном объекте, а именно о механизме, поддерживающем жизнь растений, животных и человека и управляющем их эволюцией. Сегодня этот механизм изучается физиологией, генетикой, эволюционной теорией и многими другими науками. Его реальность ни у кого не вызывает сомнений, тем не менее далеко не каждый согласится увидеть в этом механизме разумное начало. Очень трудно отрешиться от привычного антропоцентризма и признать существование интеллекта, в некоторых отношениях превосходящего наш собственный. Кроме того, тот, кто принимает тезис о разумности упомянутых механизмов (назовем их *генетическим интеллектом*), рискует навлечь на себя обвинение в витализме и фидеизме. С другой стороны, если мы с порога отвергнем идею о генетическом интеллекте, как вздорную, и при этом ошибемся, то тем самым причиним ничем не оправданный ущерб науке об интеллекте, искусственно ограничив сферу ее действия лишь рамками человеческого интел-

лекта. Это приведет к игнорированию огромных дополнительных резервов и возможностей в деле дальнейшей компьютеризации и информатизации, а следовательно, к сдерживанию научно-технического прогресса. Если гипотеза о существовании генетического интеллекта подтвердится, то образцом при создании новых систем машинного интеллекта, кроме человеческого интеллекта, станет еще и генетический разум.

Предполагая, что генетический интеллект существует, рассмотрим проблемы, которые он ставит перед наукой об интеллекте. Прежде всего сформулируем основные положения, которыми, как нам представляется, следует руководствоваться при изучении вопроса о генетическом интеллекте. Не следует считать, что генетический интеллект — это некая бестелесная “жизненная сила” или всемогущий бог. Генетический интеллект следует представлять как вполне определенную материальную систему весьма высокого, но все же ограниченного совершенства, имеющую естественное происхождение, свою историю развития. Хотя генетический интеллект по некоторым своим показателям превосходит человеческий интеллект, тем не менее по другим, причем наиболее важным, показателям генетический интеллект уступает человеческому. Мы полагаем, что человеческий интеллект порожден генетическим разумом, однако в процессе своего последующего развития человеческий интеллект способен по всем существенным показателям его превзойти. Материальной основой генетического интеллекта следует считать естественные процессы, происходящие в живых организмах, в том числе — в человеческом организме.

Одной из первоочередных задач науки о генетическом интеллекте является изучение языка генетического разума. К некоторым текстам этого языка наука уже получила доступ. Это прежде всего — генетические коды, материально представленные молекулами нуклеиновых кислот, передаваемые по наследству от родителей к детям. Возникающие здесь проблемы весьма похожи на проблемы, с которыми сталкивается учение об интеллекте при изучении человеческого языка: нужно выяснить грамматику языка, его семантику и т. д. Важно понять, что генетический язык имеет уровень сложности, соизмеримый с уровнем сложности человеческого языка. Об этом свидетельствует хотя бы длина генетического кода человека: его запись на бумаге имела бы вид библиотеки, составленной из тысячи объемистых томов [15, с. 115]. Перед лицом этой сложности всякое упрощенчество выглядит неуместным. Рассчитывать на легкое и быстрое изучение языка генетического интеллекта нет никаких оснований. Нет сомнения, что для продвижения вперед здесь потребуются усилия не меньшие, чем при изучении человеческого языка. Важно учесть и то, что человеческий язык — это наш собственный язык, к нему мы имеем гораздо более легкий доступ, чем к генетическому

языку, который принадлежит интеллекту, мало похожему на человеческий.

Задача изучения языка генетического интеллекта осложняется еще и тем, что мы имеем здесь не один, а целую систему языков, каждый из которых принадлежит особому генетическому интеллекту. Генетический интеллект, управляющий жизнедеятельностью человеческого организма, резко отличен от генетического интеллекта вируса. При изучении генетического разума информатика будет вынуждена иметь дело не с одним, а с целой системой различных интеллектов. Хотя человеческие языки тоже различны и их много, однако имеется существенное отличие их от генетических языков. В то время как человеческие языки, в принципе, однотипны и принадлежат интеллектам одного и того же уровня сложности, генетические языки относятся к интеллектам, резко отличающимся друг от друга по уровню организации. Так, запись на бумаге генетического кода вируса имела бы вид небольшой брошюры [15, с. 115].

Другой важной задачей науки о генетическом интеллекте является математическое описание процессов онтогенеза организма, рассматриваемых как результат деятельности генетического разума. Организм — это изделие генетического интеллекта, и интересно выяснить, по каким законам ведется постройка этого изделия. Важно заметить, что изделие это весьма совершенно. Создание подобных изделий пока не под силу человеческому интеллекту. Далее, возникает задача об изучении механизмов филогенеза живых организмов. Весьма интересно было бы математически описать, каким образом генетический интеллект управляет эволюционным процессом связанного с ним биологического вида. С позиций учения об интеллекте изменчивость вида выглядит не как чисто случайный процесс, а как результат высокоорганизованной целенаправленной деятельности генетического интеллекта. Обратим внимание на одну важную особенность генетического интеллекта: этот интеллект крайне медлительный. Для заметного усовершенствования своих изделий ему требуются миллионы лет. Родители и их дети, дети детей и т. д. образуют пространственно-временную сеть, состоящую из большого числа особей многих поколений данного вида. Эта сеть служит для генетического интеллекта средством сбора информации об эффективности и качестве его изделий, о характере окружающей их внешней среды. На основе этой информации генетический интеллект получает возможность планировать дальнейшую эволюцию данного вида живых существ, управлять изменчивостью вновь рождающихся особей. Пространственно-временная сеть, состоящая из особей данного вида — это не только изделие ответственного генетического интеллекта, но также и его материальный носитель. Совершенствуя свои изделия, генетический интеллект, благодаря этому, совершенствуется и сам.

### Выводы

Интересной задачей науки об интеллекте может служить изучение процессов взаимодействия генетического и человеческого интеллектов. Отношение между генетическим и человеческим интеллектами во многом похоже на отношение, имеющее место между родителями и детьми. Родители передают эстафету жизни своим детям, подобно этому генетический интеллект, как можно предположить, передает эстафету разума человеческому интеллекту. Дети призваны пойти в развитии дальше своих родителей, аналогично этому можно ожидать, что человеческий интеллект со временем превзойдет достижения генетического интеллекта. Дети в начале своего жизненного пути беспомощны, они нуждаются в опеке со стороны родителей. Подобно этому человеческий интеллект, который, судя по всему, находится еще во младенческом возрасте, всячески поддерживается генетическим интеллектом. Человеческий интеллект еще не развился настолько, чтобы быть способным собственными усилиями поддерживать жизнь в своем теле, и пока это делает за него генетический интеллект. Человеческий интеллект еще не освоил в совершенстве систему собственных задач и целей, и генетический интеллект подсказывает их ему в виде тех или иных потребностей, в виде устойчивого интереса к стратегически важным для человеческого интеллекта проблемам всеведения, всемогущества и бессмертия. Под *всеведением интеллекта* мы понимаем способность интеллекта собственными средствами получать любые интересующие его знания о себе самом. Под *всемогуществом интеллекта* мы разумеем способность интеллекта самостоятельно и в полной мере управлять своими собственными действиями. Под *бессмертием интеллекта* мы имеем в виду способность интеллекта без посторонней помощи обеспечивать собственное существование и развитие. Человеческий интеллект еще не способен в полной мере к саморазвитию, и генетический интеллект предоставля-

ет ему для изучения и освоения свои собственные механизмы самоподдержания и самоусовершенствования, снабжает человека языком и мышлением, то есть достаточным средством познать эти механизмы. Приняв от генетического интеллекта эстафету разума, человеческий интеллект сможет, как можно предположить, развиваться дальше самостоятельно, причем неизмеримо более быстрыми темпами, чем это было доступно генетическому интеллекту.

Решение проблем науки о генетическом интеллекте и о взаимодействии человеческого интеллекта с генетическим, часть из которых мы здесь пытались эскизно очертить, по-видимому есть дело далекого будущего; впрочем, не исключено, что жизнь внесет свои коррективы, и то, что сегодня кажется чрезвычайно далеким, завтра может оказаться неожиданно близким.

**Литература:** 1. Тьюринг А. Может ли машина мыслить? М.: Физматгиз, 1960. 2. Возможное и невозможное в кибернетике. Сб. статей. М.: "Наука", 1964. 3. Кибернетика ожидаемая и кибернетика неожиданная. Сборник. М.: "Наука", 1968. 4. Винер Н. Кибернетика. 2-е изд. М.: "Сов. радио", 1968. 325 с. 5. Винер Н. Творец и робот. М.: "Прогресс", 1966. 103 с. 6. Амосов Н. М. Кибернетика против старости. "Комсомольская правда", 6 июля 1963 года. 7. Винер Н. Кибернетика и общество. М.: ИЛ, 1958. 8. Баталин А. В., Дударь З. В., Стороженко А. В., Шабанов-Кушнаренко Ю. П. О лингвистической алгебре // Радиоэлектроника и информатика. 1998, № 4. С. 101-109. 9. Шабанов-Кушнаренко Ю. П. Теория интеллекта. Математические средства. Х.: Вища шк., 1984. 142 с. 10. Баталин А. В., Пославский С. А., Шабанов-Кушнаренко Ю. П. Идентификация категории количества. 1 // Радиоэлектроника и информатика. 1999, № 1. С. 95-104. 11. Шабанов-Кушнаренко Ю. П. Теория интеллекта. Проблемы и перспективы. Х.: Вища шк., 1987. 159 с. 12. Шабанов-Кушнаренко Ю. П., Рвачов В. Л., Мурашко А. Г. Математичні моделі зору. К.: Техніка, 1966. 93 с. 13. Декарт Р. Избранные произведения. М.: Госполитиздат, 1950. 700 с. 14. Хомский Н. Язык и мышление. М.: Изд. МГУ, 1972. 15. Кендью Д. Нить жизни. М.: Мир, 1968. 121 с.



**В.М. Левыкин<sup>1</sup>, О.В. Чалая<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>ХНУРЭ, г. Харьков, Украина, levykinvictor@gmail.com

<sup>2</sup>ХНУРЭ, г. Харьков, Украина, o\_chala@inbox.ru

## **МОДЕЛЬ ИЕРАРХИЧЕСКОГО ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ВРЕМЕНИ В ТЕМПОРАЛЬНЫХ ЗНАНИЯХ**

В статье предложена иерархическая модель представления времени, позволяющая формализовать описание темпоральных знаний на нескольких уровнях детализации времени. Модель базируется на парадигме описания таких знаний в форме взаимосвязанных последовательностей событий, происходящих в различных временных потоках. Различия в описании времени для каждого потока определяются свойствами объектов, с которыми происходят указанные события. Модель задает взаимосвязи между потоками времени на основе отношений обобщения и детализации при ограничениях на множество доступных событий в каждом потоке. Модель обеспечивает условия для формирования темпоральных знаний на нескольких уровнях с учетом временной и пространственной (объектной) составляющей.

**ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ЗНАНИЙ, ТЕМПОРАЛЬНЫЕ ЗНАНИЯ, СВОЙСТВА ВРЕМЕНИ, ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПРОЦЕССОВ**

### **Введение**

Одна из важных проблем, которая возникает при создании основанных на знаниях систем, связана с выбором способа представления знаний о происходящих в предметной области процессах. Представление знаний является областью искусственного интеллекта, связанной с документированием знаний в форме, пригодной для хранения и организации логического вывода в интеллектуальных информационных системах [1]. Применимость выбранного представления знаний зависит от его возможности обеспечивать логический вывод с учетом ограничений предметной области, а также оценить их непротиворечивость и полноту.

Основное отличие темпоральных знаний, ключевой признак их темпоральности заключается в учете временных свойств объектов, событий, процессов. Для моделирования темпоральных знаний используются дискретное и интервальное представление времени [2, 3]. Истинность таких знаний определяется лишь в конкретные моменты (либо интервалы) времени. Поэтому формальное их представление обязательно содержит временную переменную, указывающую абсолютные или относительные значения моментов либо интервалов времени. Различные процессы могут выполняться в различных масштабах времени. Последние зависят от решаемых процессом задач и в значительной степени определяются усредненной продолжительностью времени реакции процесса. Значения времени при этом могут оцениваться в как в абсолютных единицах (годы, месяцы, минуты, секунды и т.п.), так и относительных (раньше, позже, в дальнейшем) в зависимости от особенностей рассматриваемой предметной области и типа решаемой задачи.

Иными словами, время в темпоральных знаниях может задаваться на различных уровнях обобщения/детализации. Общее представление времени для предметной области объединяет различные подходы к детализации и потому может быть пред-

ставлено в виде многослойной модели с различными временными константами на каждом уровне [4]. Однако при построении общей модели возникает проблема согласования и преобразования описания времени для различных уровней. В то же время существует практическая необходимость решения данной проблемы для задач интеллектуального анализа процессов (process mining) [5]. Исходные данные для задач анализа представляют собой последовательности событий, для каждого из которых указывается временная метка. События записываются линейно, однако связанные с ними действия отражают поведение объектов, обычно образующих иерархическую структуру. Требования к детализации описания времени для разных уровней иерархии объектов отличаются.

Основные направления исследований в области детализации представления времени связаны с использованием теоретико-множественного подхода [6, 7], при котором задаются подмножества событий с одинаковыми временными параметрами и отношения между этими подмножествами, логического подхода к количественному описанию детализации времени [8–10], и алгебраического подхода для качественного описания «гранул» времени и последующего преобразования между «гранулами» [11–14]. Указанные подходы рассматривают время как линейную либо ветвящуюся последовательность моментов (мгновений) с единым масштабом в одном потоке времени. Однако в ряде задач, связанных, в частности, с интеллектуальным анализом процессов, масштаб времени может изменяться даже на одной временной линии, поскольку детализация времени для различных событий зависит от свойств объектов, с которыми эти события произошли.

Изложенное свидетельствует об актуальности построения иерархических моделей времени, а также методов преобразования таких моделей с учетом свойств объектов предметной области.

## 1. Постановка задачи

Из представленного краткого обзора видно, что при формировании представления темпоральных знаний необходимо учитывать временную составляющую. Время может быть представлено в интервальной или дискретной форме с различной степенью детализации. Следовательно, при представлении знаний необходимо устанавливать взаимосвязи между различными временными фрагментами с учетом их свойств. При задании различных уровней детализации времени такие взаимосвязи позволяют построить иерархию знаний.

Исходя из изложенного, целью статьи является разработка иерархической модели представления времени как элемента темпоральных знаний. Данная модель должна отражать взаимосвязи между темпоральным описанием различных процессов (объектов) предметной области с различной степенью детализации.

Для решения поставленной задачи необходимо рассмотреть особенности мультимедийного представления знаний о предметной области, адаптировать свойства детализации (грануляции) применительно к мультимедийному представлению знаний и определить взаимосвязи между временными фрагментами с учетом указанных свойств.

## 2. Иерархическая модель представления времени как элемента темпоральных знаний

При практическом использовании темпоральных знаний в большинстве случаев учитывается не абсолютное, а относительное положение событий/действий/изменений состояний на временной шкале. Поэтому формирование нескольких уровней детализации времени в общем случае приводит к построению набора временных моделей. Например, для различных задач в одной предметной области могут быть использованы модели представления времени, основанные на использовании:

- относительного положения существенных для организации логического вывода моментов (мгновений) времени;
- относительного положения на временной шкале начальных (конечных) моментов времени для выделенного подмножества событий;
- относительного положения интервалов времени;
- интервалов времени для заданных событий.

Так, первые две модели времени широко используются при алгебраическом описании дискретных процессов (процессов в операционных системах, бизнес-процессов, мультиагентных системах и т.п.).

Последующая пара моделей используется, например, в менеджменте. В частности, широко известные диаграммы Ганта основаны на интервальном представлении времени.

При построении общего представления знаний для предметной области необходимо объеди-

нить отличающиеся, имеющие различную детализацию модели времени для различных задач. Для объединения необходимо формализовать отношения между этими моделями, причем эти соотношения могут быть как количественными, так и качественными. На основе выделенных соотношений необходимо выработать правила перехода от одной модели к другой. При формировании таких правил используем адаптированные из работы [14] свойства гранулярности:

- наличие релевантного к решаемой задаче набора отношений, описывающих временные зависимости в предметной области;
- неразличимость временных отношений, которая подразумевает, что временные параметры любых событий/действий считаются идентичными, если для них не заданы отношения из релевантного набора;
- сокращение количества элементов у связанных множеств событий при переходе от более детального уровня к более общему;
- расширение множеств событий при переходе к описанию на более подробном уровне; под расширением в данном случае понимается дополнение множеств событий более общего уровня событиями более детального уровня;
- разграничение множеств событий одного уровня обобщения с помощью большей детализации времени по отношению к применяемой на данном уровне.

Отметим, что указанное в последнем пункте разделение множеств необходимо для того, чтобы отразить временные ограничения для последовательностей событий. Например, пусть на текущем уровне детализации время считается в часах. Тогда для того, чтобы оценить, завершилось ли выполнение задачи через заданное количество часов, необходимо учитывать время более точно - в минутах, секундах. Иными словами, если задача должна завершиться через 4 часа, то недостаточно оценивать время с точностью  $\pm$  час. Так, при минутной шкале времени мы можем считать своевременным завершение задачи и через 3 час 59,5 минут и, для ряда задач, через 4 час и 1 минуту.

Для решения поставленной в статье задачи адаптируем модель многоуровневого представления темпоральных знаний, основанную на использовании логов – линейных последовательностей событий с заданным отношением следования. Изначально данное отношение задается для каждого следа (трассы) реализации процесса. Лог состоит из набора трасс.

Тогда модель  $i$ -следа лога будем рассматривать как модель Крипке [15], для которой задано только отношение следования (перехода) между элементами:

$$M_i = (U_i, I_i(R), t_0, t(e_{ij}) \in T, e_{ij} \in U_i \mid R = \{\prec\}), \quad (1)$$

где  $U_i \subseteq U$  – непустое множество событий  $e_{ij}$ , составляющих след (трассу) лога;  $I_i$  каждому от-

ношению  $R$  ставит в соответствие подмножество  $I_i(R) \subseteq U_i \times U_i$ , для которого отношение  $<$  является истинным,  $t_0$  – начальный момент времени, в который произошло первое событие, инициирующее дальнейший процесс.

$I(<)$  – отношение перехода определяет последовательность событий для подмножества  $U_i$ :

$$I_i(<) = I_i(R) | ((t' < t'') \Rightarrow \Rightarrow \neg \exists t : e_t' < e_t \vee e_t' < e_{t''}, e_t, e_{t'}, e_{t''} \in U_i) \quad (2)$$

Для начального момента времени  $t_0$  предшествующие события отсутствуют, поэтому выполняется условие (3):

$$I(<, t_0) = I(R, t_0) | ((t_0 < t') \Rightarrow \Rightarrow \neg \exists t : t_0 < t \vee t < t', e_{t_0}, e_t, e_{t'} \in U_i) \wedge (\neg \exists t : t < t_0) \quad (3)$$

Модель многоуровневого представления темпоральных знаний объединяет модели последовательностей событий  $M_i$ , для каждой из которых заданы отдельные временные соотношения  $I_i(R)$ , а также включает отношения упорядоченности  $I_{ij}(R)$  между событиями из различных моделей  $M_i$ .

Между событиями из различных моделей могут быть отношения перехода в случае дискретного представления времени в связываемых временных потоках, а также отношение  $di$  (contains) [3] в том случае, если на одной из последовательностей событий используется дискретное представление времени, а в другом – интервальное. Тогда общее многоуровневое представление темпоральных знаний объединяет различные трассы процесса, а также учитывает взаимосвязи между этими трассами:

$$M = (U, (\bigwedge_i I_i(<, di)) \wedge (\bigwedge_{ij} I_{ij}(<, di), t_0). \quad (4)$$

Модель (4) отражает объединение последовательностей событий (трасс) процесса в предположении, что каждая последовательность происходит в своем масштабе времени. Однако данное условие выполняется не всегда, поскольку временной масштаб может определяться свойствами объектов (агентов, исполнителей), с которыми происходят события. Тогда в одной последовательности могут находиться события, измеряемые в разном масштабе времени и эти события необходимо распределить по разным уровням детализации.

Нарушение данного условия не приводит к изменению модели (4) в целом, но требует доопределения  $I_i$  и  $I_{ij}$ , а также  $U_i$  на основе использования модели иерархии времени.

Исходя из адаптированных свойств гранулярности и с учетом рассмотренной событийной парадигмы представления темпоральных знаний, в модели иерархии времени необходимо определить:

– релевантный набор моментов времени, соответствующий множеству событий на одной временной линии с одним уровнем детализации времени и связанных отношением перехода;

– подмножества событий, относящиеся к различным траекториям, но связанные отношением

неразличимости; отношение неразличимости позволяет разместить события из разных траекторий процесса на одном уровне детализации;

– отношения обобщения/детализации, позволяющие связать последовательности моментов времени на более детальном уровне с меньшим набором моментов на обобщенном уровне (предполагается, что минимальный набор содержит только один момент времени, достаточный – два: начальное и конечное);

– отношения ограничения, позволяющие преобразовывать степень детализации времени на текущем уровне для задания границ интервалов событий.

Рассмотрим элементы модели иерархического представления времени, которая удовлетворяет приведенным требованиям.

Релевантный набор моментов времени  $T_i \subseteq T$  содержит метки  $t_{ij} \in T_i$ , в которых время учитывается с одним уровнем детализации и заданы отношения перехода и неразличимости. Например, метка времени может содержать и минуты и секунды, однако на данном уровне учитываются только минуты. Тогда метки, отличающиеся менее чем на половину минуты, можно считать неразличимыми.

Отношение неразличимости задается через параметры событий. Например, такое отношение может быть задано для моментов возникновения идентичных событий относящихся к различным следам процесса при условии совпадения предшествующих и последующих событий для каждого анализируемого события. Отличия в интервалах времени между предшествующими и последующими событиями задают масштаб для данного отношения.

Отношение ограничения определяется на основе отрицания отношения неразличимости.

Отношение обобщения позволяет представить интервал времени на более низком уровне иерархии в виде отдельного события (либо пары событий) на более высоком уровне. При описании траектории процесса в виде последовательности событий интервал времени может задаваться не только через разность между абсолютными значениями атрибута времени для событий, но и через последовательность событий, включенных в этот интервал:

$$E_k = \{e_{t_0}, \{e_{t_{jk}}\}, e_{t_k}\} | t_0 < t_{jk} < t_k \forall t_{ik}. \quad (5)$$

Используя определение интервала в виде (5) мы можем реализовать отношения обобщения и детализации через установления соответствия между интервалом  $E_k$  на уровне с больше детализацией с начальными и конечными событиями интервала на линии с меньшей детализацией.

Модель иерархического представления времени, содержащая представленные элементы, имеет следующий вид:

$$M^T = (\cup T_i, (\wedge I_i(R) | R = \{\prec, \sim, <\}) \wedge (\wedge I_{ij}(R) | R = \{\in, \subseteq\}), t_{i0}) \quad (6)$$

где  $\prec, \sim, <$  – отношения следования (перехода), неразличимости и ограничения соответственно;  $\in, \subseteq$  – отношения обобщения/детализации для пар событие/множество событий и множество/множество событий соответственно.

### Выводы

В статье предложена модель иерархического представления времени как элемента темпоральных знаний. Модель базируется на процессном описании темпоральных знаний в формате набора взаимосвязанных последовательностей событий. Указанные последовательности могут выполняться в различном масштабе времени. Различия в масштабе времени определяются свойствами объектов, с которыми происходят указанные события.

Модель формализует переход между уровнями детализации времени на основе операторов обобщения и детализации при ограничениях на множество доступных событий на каждом уровне.

В практическом плане предложенная модель обеспечивает условия для моделирования темпоральных знаний на нескольких уровнях с учетом временной и пространственной (объектной) составляющей.

**Список литературы:** 1. *Brachman R.J.* Knowledge Representation and Reasoning [Text] / R.J. Brachman, H.J. Levesque // Amsterdam etc.: Elsevier, 2004. – 381 p. 2. Towards a general theory of action and time [Text] / J. Allen // *ArtifIntell*, 1984. – №23 P.123-154. 3. *Allen J.F.* A common-sense theory of time [Text] / J.F. Allen, P.J. Hayes // *JoshiA(ed) Proceedings of the ninth international joint conference on artificial intelligence (IJCAI'85)*. International joint conferences on artificial intelligence, inc. Morgan Kaufmann San Francisco. – 1985. – P. 528–531. 4. *Michael David Fisher.* Handbook of Temporal Reasoning in Artificial Intelligence [Text] / Michael David Fisher, Dov M. Gabbay, Lluis Vila, Elsevier, 2005. – 750 p. 5. *W.M.P. van der Aalst.* Process Mining: Discovery, Conformance and Enhancement of Business Processes [Text] / W.M.P. van der Aalst. Springer-Verlag, Berlin, 2011. – 352 p. 6. *C. Bettini, X. S. Wang, S. Jajodia, and J-L. Lin.* Discovering Frequent Event Patterns with Multiple Granularities in Time Sequences. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, 2(10): 222–237, 1998. 7. *C. Bettini, S. Jajodia, and X. S. Wang.* Time Granularities in Databases, Data Mining, and Temporal Reasoning. Springer, Berlin, Germany, 2000. 8. *A. Montanari.* Metric and Layered Temporal Logic for Time Granularity. PhD thesis, University of Amsterdam, Amsterdam, Netherlands, september 1996. 9. *M. Franceschet and A. Montanari.* Branching Within Time: An Expressively

Complete and Elementarily Decidable Temporal Logic for Time Granularity. *Research on Language and Computation*, 1(3-4):229–263, 2003. 10. *M. Franceschet and A. Montanari.* Temporalized Logics and Automata for Time Granularity. *Theory and Practice of Logic Programming*, 4(5-6):621–658, 2004. 11. *Euzenat.* A Categorical Approach to Time Representation: First Study on Qualitative Aspects. In *Proceedings of the IJCAI Workshop on Spatial and Temporal Reasoning*, pages 145–152, 1995. 12. *J. Euzenat.* An Algebraic Approach to Granularity in Qualitative Space and Time Representation. In *Proceedings of International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI)*, pages 894–900, 1995. 13. *J. Euzenat.* Granularity in Relational Formalisms with Application to Time and Space Representation. *Computational Intelligence*, 17(4):703–737, 2001. 14. *Hobbs J.R., Granularity [Text] / J.R. Hobbs // Ninth International Joint Conference on Artificial Intelligence*, Los Angeles, California, 1985. – 432-435 pp. 15. *Kripke S.A.* Semantical Considerations on Modal Logic [Text] / S.A. Kripke // *Acta Philosophica Fennica*. – 1963. – №16 – P. 83-94.

Поступила в редколлегию 7.04.2015

УДК 004.82

**Модель ієрархічного представлення часу в темпоральних знаннях** / В.М. Левикін, О.В. Чала // *Біоніка інтелекту: наук.-техн. журнал*. – 2015. – № 2 (85). – С. 31–34.

У статті запропоновано ієрархічну модель представлення часу для формалізації темпоральних знань на декількох рівнях деталізації часу. Модель базується на парадигмі опису таких знань у формі взаємопов'язаних послідовностей подій, що відбуваються в різних часових потоках. Відмінності в описі часу для кожного потоку визначаються властивостями об'єктів, з якими відбуваються зазначені події. Модель задає взаємозв'язок між потоками часу на основі відносин узагальнення та деталізації при обмеженнях на множину доступних подій в кожному потоці. Модель забезпечує умови для формування темпоральних знань на декількох рівнях з урахуванням часової і просторової (об'єктної) складової.

Бібліогр.: 15 найм.

UDC 004.82

**Hierarchical representation of the time in the temporal KNOWLEDGE** / V.M. Levykin, O.V. Chala // *Bionics of Intelligence: Sci. Mag.* – 2015. – № 2 (85). – P. 31–34.

The paper proposes a hierarchical model of detail representation of time as a member of temporal knowledge. The model is based on the paradigm of the description of such knowledge in the form of interconnected sequence of events in different time streams. Differences in the description of the time are determined by the properties of objects with which these events occur. The model defines the relationship between the lines of time-based operators of generalization and detail with restrictions on the set of available relations, providing conditions for the simulation of temporal knowledge at several levels taking into account the temporal and spatial (object) component.

Ref.: 15 items.

УДК 519.87



В.А. Дяченко, О.Ф. Михаль

ХНУРЭ, г. Харьков, Украина, fuzzy16@pisem.net

## ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ АСПЕКТ ОБУЧЕНИЯ МОДИФИЦИРОВАННЫХ САМООРГАНИЗУЮЩИХСЯ КАРТ КОХОНЕНА

Рассмотрены и сопоставлены по параметрам классический и модифицированный варианты реализации обучения самоорганизующихся карт Кохонена. Проведен сравнительный анализ скорости обучения. Рассмотрен интеллектуальный аспект работы карт Кохонена, в частности, их обучения с поддержкой распараллеливания.

РАСПРЕДЕЛЁННАЯ ОБРАБОТКА ДАННЫХ, САМООРГАНИЗУЮЩИЕСЯ КАРТЫ КОХОНЕНА

### Введение

Распределённая обработка данных имеют ряд особенностей при реализации на небольших сетевых *вычислительных системах* (ВС), составленных из компьютеров общего назначения. В таких ВС процессы, которые могли бы реализовываться параллельно во времени, вынужденно частично исполняются последовательно, в меру наличия вычислительных ресурсов и с учётом сосредоточенности ресурсов по узлам ВС. Для подобных систем со смешанной «сосредоточенно-параллельной» обработки данных актуально нахождение эффективных сочетаний интеллектуальных алгоритмических решений с конкретными структурно-аппаратными возможностями ВС. Перспективным объектом исследования являются, в частности, *самоорганизующиеся карты Кохонена* (СКК), реализующие режим самообучения. Модифицированный вариант СКК [1, 2] предполагает распараллеливание отдельных фаз обучения [2-4]. В частности, распараллеливание в распределённых ВС может быть реализовано аппаратно. При этом интересен интеллектуальный аспект: соотношение (сопоставление) работы СКК с человеческой интеллектуальной деятельностью и методами работы, применяемыми человеком для достижения сходных целей. Оценки интеллектуального аспекта тесно связаны с результатами анализа скорости работы СКК, включая скорость обучения [3], т.е. с показателями эффективности функционирования системы.

Целью данной работы является изучение интеллектуального аспекта работы модифицированных самоорганизующихся карт Кохонена, в частности, процедуры их обучения с поддержкой распараллеливания.

### 1. Интеллект и вычислительная система

Имеет место не вполне очевидная, но достаточно устойчивая аналогия между *человеческим интеллектом* (ЧИ) и *вычислительной системой* (ВС). Может показаться парадоксальным, но общая ситуация развития (прогресс человечества) складывается так, что всё явственнее проступает, что ЧИ и ВС существуют «друг для друга», взаимно дополняя и поддерживая друг друга и взаимно совершен-

ствуясь. Проявляется это, по крайней мере, в трёх аспектах.

1. ЧИ создал и постоянно совершенствует ВС; но и ВС влияет на ЧИ, формируя его интересы, снабжая информацией, предоставляя возможности для реализации творческого потенциала и др. Но главное – в следующее. Приёмы и методы, реализуемые в *аппаратном и программном обеспечении* (АО и ПО), задумываются и воплощаются (закладываются в АО и ПО) наиболее развитыми, технически грамотными и умными носителями ЧИ – интеллектуальной элитой человеческого общества. После этого, эти приёмы и методы становятся доступными средним и нижним (по уровню интеллектуального развития) слоям носителей ЧИ (человеческого общества). Как результат – растёт общий интеллектуальный уровень человечества. А дальше – ЧИ в той или иной форме направляет этот свой возросший интеллектуальный потенциал на дальнейшее совершенствование ВС. Таким образом, ЧИ через посредство ВС, а ВС через посредство ЧИ, непрерывно самосовершенствуются во взаимодействии. Причём, эти две петли обратной связи (картинка) ещё даже не охватываются понятием *искусственный интеллект* (ИИ). Они проявляются «автоматически» (неосознанно), как единый «эволюционный процесс».

2. ЧИ и ВС соотносятся как субъект – человек (Ч) и усовершенствованное орудие труда – *инструмент* (И) (рис. 1 а, б, в). Последний (рис. 1 а) выступает в качестве промежуточного элемента во взаимодействии Ч с *окружающим миром* (ОМ). Ч может наблюдать ОМ и воздействовать на него непосредственно (а, б), либо через посредство И. В этом качестве, по мере совершенствования (рис. 1, б), в И выделяются (обособляются) функции рецептора Р и оператора О. Как результат, Ч приобретает качество взаимодействовать с ОМ только через И. На следующем этапе (рис. 1, в) совершенствования, эти функции взаимно согласуются – реализуясь в виде блока *автоматического управления АУ*, с появлением которого усовершенствованный И приобретает известную автономность с элементами встроенной интеллектуальности. Ч начинает взаимодействовать с ОМ не непосредственно (рис. 1, а), а исключительно

но опосредованно через связи ( $c, d$ ) с блоком АУ. В этой фазе эволюции системы  $Ч \leftrightarrow И \leftrightarrow ОМ$ , подсистема  $О \leftrightarrow АУ \leftrightarrow Р$  становится функционально аналогична ВС в теперешнем понимании её функционального использования.

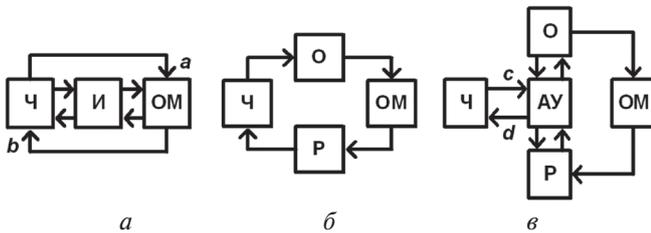


Рис. 1 а, б, в. Интеллектуализация инструмента (И) в процессе развития характера взаимодействия человека (Ч) с окружающим миром (ОМ)

3. ЧИ и ВС – ограничены по возможностям и взаимно дополняют друг друга. Общеизвестна ограниченность ЧИ «магическим числом»  $7+2$  [5]. Общеизвестно, что человеческий мозг проигрывает по сравнению с ВС в производстве математических вычислений. Но общеизвестно так же, что ЧИ были и остаются неизменным прототипом при разработке ВС. Других интеллектуальных систем (систем, наделённых качеством, которое называется ЧИ) попросту не существует. Поэтому «человек первичен, а ВС вторична», т.е. ВС работает «в связке» с Ч выполняет функции *усилителя* ЧИ.

Именно в таком качестве, как интеллектуальный (интеллектуализированный) инструмент предобработки информации, целесообразно рассматривать СКК – один из подвидов НС, рассматриваемый далее.

## 2. Самоорганизующиеся карты Кохонена

Отличительной особенностью СКК является автономное обучение по схеме «без учителя». С точки зрения пользователя, это выглядит как процесс, в котором сама СКК «вырабатывает понимания» структуры данных. Результатом работы СКК является разделение данных на кластеры, которые могут далее непосредственно распознаваться пользователем. Соответственно, при поступлении входного образа, который ранее не предъявлялся сети, СКК относит его к одному из имеющихся кластеров, или (если режим обучения продолжается) определяет новый кластер.

Другим достоинством СКК является возможность визуализации многомерных данных – снижение размерности набора данных. При работе СКК, совокупность кластеров представляется в пространстве с меньшей размерностью. Если размерность является «антропоморфной» (соответствует практике обыденных человеческих представлений), результаты работы СКК могут использоваться человеком-оператором непосредственно, без дополнительного обобщающего анализа. Таким образом, СКК удобны в использовании в качестве интеллектуального человеко-

машинного интерфейса – усилителя определённых аспектов человеческого интеллекта.

В обоих описанных аспектах (кластеризация (группировка данных) и снижение размерности) СКК выступают как препроцессор входной информации, упрощающий работу человека-оператора и одновременно повышающий надёжность, не позволяющий оператору упустить из виду отдельные детали.

Принципы работы СКК в классическом варианте реализации достаточно подробно изучены [6], как один из видов НС с обучением «без учителя». Ограничением классических СКК является «поштучная» обработка обучающих *входных образов* (ВО): поэлементное (повекторное) предъявление ВО и коррекция *сенсорного поля* (СП) после обработки каждого из предъявлений. Модифицированные СКК [1-3] предполагают «пакетную» обработку обучающих ВО. Образы обучающей выборки предъявляются последовательно и если их воздействия на СП не взаимоперекрываются, то результирующая коррекция СП осуществляется после (и по результатам) предъявления всего пакета. При этом матрица результирующей коррекции строится так, что включает в себя все отдельные коррекции, соответствующие отдельным предъявленным ВО, проявившимся на разных непересекающихся участках СП. Достижимый выигрыш эффективности обеспечивается за счёт сокращения обработок СП и обусловлен объёмом независимых (не взаимодействующих) обучающих образов в «пакете» (обучающей выборке).

Представляет интерес рассмотрение возможностей реализации классического и модифицированного вариантов СКК и сопоставление методов их обучения. В частности, сравнительный анализ скорости обучения СКК при различных типах ВО может быть интересен в аспекте выработки рекомендаций по распараллеливанию отдельных фаз обучения СКК при реализации модифицированного варианта на ВС с распределённой обработкой информации.

Ещё более интересен интеллектуальный аспект: сопоставление (сопоставление) работы СКК с человеческой интеллектуальной деятельностью, с методами работы, применяемыми человеком для достижения сходных целей. При этом оценки интеллектуального аспекта тесно связаны с результатами анализа скорости работы СКК, в том числе скорости обучения, т.е. с показателями эффективности функционирования системы.

## 3. Обучение классических самоорганизующихся карт Кохонена

Рассмотрим вариант СКК с двумерным сенсорным полем. Работа СКК заключается в следующем. Сеть состоит из  $p \cdot q$  элементов (нейронов), которые расположены в узлах двумерной решетки – сенсорного поля. Каждый ( $i, j$ -й, где:  $i \in (1, 2, \dots, p), j \in (1, 2, \dots, q)$ ) нейрон имеет век-

тор весовых коэффициентов из  $n$  элементов:  $A_{ij}:\{a_1, a_2, a_3, \dots, a_s, \dots, a_n\}$ . Из входного набора данных  $B:\{B_1, B_2, \dots, B_k, \dots, B_m\}$  (обучающей последовательности из  $m$  образов) векторы того же размера  $n$   $B_k:\{b_1, b_2, b_3, \dots, b_s, \dots, b_n\}$  выбираются в случайном порядке и последовательно подаются на элементы сенсорного поля, для сравнения. Каждый подаваемый обучающий вектор параллельно (независимо) сопоставляется с каждым из векторов сенсорного поля  $B_k \leftrightarrow A_{ij}$ .

Для каждого  $B_k$  отыскивается весовой вектор сенсорного поля  $A_{ij}$ , евклидово расстояние до которого от входного вектора минимально:

$$\min \left( \sqrt{\sum_{s=1}^n (a_s - b_s)^2} \right).$$

Найденный весовой вектор и весовые векторы нейронов-соседей сенсорного поля подстраиваются по правилу Кохонена, с учётом функции соседства (с убыванием по отстоянию от нейрона-победителя) и функции влияния (с убыванием по номеру обучающего образа) [5]. После того, как обучающий набор данных  $B$  предъявлен достаточное число раз, – сенсорное поле прошло обучение на наборе  $B$ . При этом основная масса весовых векторов элементов сенсорного поля центрируется вокруг малого числа векторов – центров кластеризации.

За счет того, что сенсорное поле изначально представляет собой малоразмерную (двумерную) решетку ( $A_{ij}$  – два индекса), совокупности нейронов СКК и значения их весовых векторов могут быть представлены, например, в виде специальных карт-раскрасок, содержащих цветные области. Подобное представление является «антропоморфным», то есть удобным для непосредственного человеческого восприятия. Таким образом, при этом проявляется снижение размерности исходного многомерного набора данных до уровня, удобного для визуализации.

Укрупнённая структурная схема алгоритма обучения классического варианта СКК представлена на рис. 2.

На структурной схеме не детализированы процедуры начального заполнения СП (с использованием генератора случайных чисел), ввода векторов обучающей последовательности  $B$ , выборки-предъявления образов из  $B$  и определения нейрона-победителя. Так же не детализированы производимые математические операции (сравнение, нахождение минимального расстояния, изменение весовых коэффициентов). В остальном – схема иллюстрирует ключевые моменты работы классического варианта СКК.

В рамках представленной структурной схемы рис. 2 (классического подхода) могут быть реализованы различные варианты стратегий обучения СКК. В частности, различия могут быть связаны с кратностью, последовательностью предъявления и предварительной сортировкой (группировкой) образов обучающей выборки.



Рис. 2. Структурная схема алгоритма обучения сенсорного поля (СП) классической самоорганизующейся карты Кохонена посредством последовательной подачи входных образов (ВО)

Так же эффективность процесса обучения существенно варьируется при изменении параметров функций соседства и влияния. Существенно больше влияет на эффективность обучения СКК то, что предъявление ВО, определение нейрона-победителя, изменение весовых векторов СП (в соответствии с заданными функциями соседства и влияния) имеют *последовательный* характер. Значительное ускорение обучения возможно за счет модификации СКК с введением элементов *параллельности* (рис. 3).

#### 4. Обучение модифицированных карт Кохонена

Параллельность обработки информации в СП СКК фундаментально противоречит последовательному характеру процедуры предъявления образов и обучения СКК. Сопоставление вектора ВО с каждым из векторов сенсорного поля  $B_k \leftrightarrow A_{ij}$  в принципе реализуемо в виде  $p \times q$  параллельных независимых процедур (для каждого из  $p \times q$  векторов  $A_{ij}$ ). Однако перед сопоставлением предъявление элементов  $B_k$  производится последовательно. После сопоставления так же последовательно для каждого  $B_k$  производится коррекция сенсорного поля. Снятие данного противоречия посредством модифицирования структуры связей и процедуры обучения СКК потенциально обеспечивает положительный эффект: повышает скорость и эффективность обучения и последующей эксплуатации СКК. Соответственно, изменяется структура организации информации, приобретаемой и хранимой СКК, а так же эксплуатационные характеристики СКК после обучения. В [1] предложен вариант со-

крашения времени обучения СКК за счет распараллеливания обработки данных.

На рис. 3 представлен алгоритм обучения модифицированной сети Кохонена. Изначально задаются размеры двумерного массива СП, количество ВО (обучающая выборка), а также радиус удалённости нейронов – соседей нейрона-победителя – упрощённый вариант представления функции соседства.



Рис. 3. Структурная схема алгоритма обучения модифицированной самоорганизующейся карты Кохонена

Массив СП заполняется низкими (начальными, фоновыми) значениями. Порядок величины значений начального заполнения выбирается в соответствии с параметрами применяемой в дальнейшем функции влияния. Далее следует первый (начальный) этап обучения. Случайным образом выбирается и подается первый ВО, определяется нейрон-победитель, рассчитываются его соседи

(радиус окружения). Координаты нейрона-победителя и его рассчитанного окружения заносятся в массив, предназначенный для коррекции на *текущем* этапе обучения. Этапов обучения может быть *несколько*.

Далее, в отличие от классического алгоритма рис. 2, изменение весовых коэффициентов (коррекция СП) не производится. Подается следующий (очередной) ВО и определяется очередной нейрон-победитель. Затем определяется расстояние этого нейрона-победителя до предыдущего или нескольких (всех предшествовавших) предыдущих нейрон-победителей. Если оно меньше допустимого, то данный ВО заносится в новый массив обучающих образов, который будет предъявляться на *следующем* этапе обучения. Иначе – координаты нейрона-победителя заносятся в коррекционный массив. Обучение на данном этапе происходит до тех пор, пока из первоначальной обучающей выборки не будут предъявлены (рассмотрены) все ВО.

После завершения предъявления всех ВО, СП корректируется на основе информации, собранной в коррекционном массиве. Коррекция происходит параллельным изменением значений весовых коэффициентов [1]. Далее начинается следующий (*очередной*) этап обучения. При этом в качестве ОБ выступает массив из элементов, которые в предыдущем цикле обучения попадали в недопустимую область. Т.е. те элементы, для которых расстояния от текущего нейрона-победителя до предыдущих нейронов-победителей было меньше допустимого. Данный этап обучения проходит так же до тех пор, пока в обучающей выборке не останется ВО. При этом формируется новый массив обучающих образов, состоящий из тех образов, которые на текущем этапе попали в недопустимую область. И т.д.

Обучение СКК считается законченным в том случае, когда в новом (формируемом) обучающем массиве не оказывается ни одного ВО. Это значит, что на текущем этапе обучения все образы были однократно предъявлены СП. По поводу каждого из образов был определён нейрон-победитель и на основе этой информации в конечном счёте были проведены необходимые коррекции СП. Повторное (кратное) предъявление обучающей выборки ВО с целью повышения степени обученности СКК (качества обучения) – вопрос стратегии обучения, непосредственно не затрагиваемый рассмотренным алгоритмом работы модифицированной СКК (рис. 3).

### 5. Реализация процедур обучения

Проделано [2] статистическое моделирование описанной модифицированной процедуры обучения с вероятностным оцениванием динамики формирования повторных обучающих выборок. При моделировании продемонстрирован выигрыш в эффективности по временным затратам по сравнению с классическим вариантом СКК.

Дополнительно к статистическому, проведено имитационное моделирование с анализом и визуализацией результатов. Полученные имитационные результаты в основном соответствуют статистической модели. Выигрыш в производительности модифицированного варианта СКК по сравнению с традиционным составил порядка 1,3 – 1,4. Исходя из общих соображений, выигрыш может вполне соответствовать той доле вычислительного времени, которая экономится за счёт «объединения» операций корректировки сенсорного поля (см. рис. 3) в модифицированном варианте алгоритма СКК.

## 6. Интеллектуальный аспект

В порядке обсуждения, интересен интеллектуальный аспект данной проблематики: соотношение работы СКК с человеческой интеллектуальной деятельностью и с методами работы, применяемыми человеком. В этой связи должно быть отмечено следующее.

1. Задачи классификации и кластеризации являются исконно человеческими. В достаточно простых формулировках они решались ещё древними людьми в рамках общего направления обеспечения выживаемости отдельного индивида или группы в условиях агрессивного природного окружения. Таким образом, принципиальной (сугубо компьютерной) новизны в проблематике кластеризации и классификации, как таковой, нет. «Осмысленность» и «интеллектуальность» СКК, по существу, проявляются только в том, что они «поступают так же, как поступали бы и люди».

2. Так же не является чем-то «чисто компьютерным» снижение размерности системы. Как отмечалось выше, в процессе работы алгоритма СКК многомерные векторы ВО «раскладываются» по двумерному полю СП, в чём, собственно, и состоит кластеризация. Здесь необходимо отметить, что человек работает точно так же. Приведём пример из обыденной жизни. Имеется коробка со «всякой мелочью», с которой надо «разобраться». Человек высыпает содержимое на ровную поверхность и «растаскивает» по ней отдельные объекты в «отдельные кучки», группируя их по сходству признаков: допустим, «гаечки к гаечкам», «гвоздики к гвоздикам» и т.д. Аналогия практически полная.

3. Строго говоря, СКК кластеризации не производит. После того, как работа алгоритма СКК закончена, векторы ВО определённым образом «разложены по СП», но сама СКК не проводит границ между отдельными кластерами. Так же СКК не общает, сколько именно кластеров выявлено. Результат работы СКК – «раскладка», а увидеть в ней дискретные группы расклассифицированных объектов, сказать сколько именно имеется групп и провести границы между группами – это уже задача ЧИ.

Разумеется, в процессе эксплуатации обученной СКК она скорее всего будет *правильно* от-

сылать новые ВО в соответствующие области СП. Но всегда следует помнить, что «*правильно*» или «*неправильно*» – есть *нечёткие* (в смысле нечёткой логики (fuzzy logics) Лотфи Заде) человеческие суждения. В действительности имеются некоторые «сгущения» в расположении ВО на СП, а соотношение их с определёнными группами – есть вопрос интерпретации. И эту интерпретацию реализует не СКК, а человек.

Разумеется так же, что могут быть сформулированы «объективные критерии», например с указанием «пороговых числовых значений», согласно которым определённый ВО окажется относящимся «к этому кластеру, а не к тому». Но сам характер выбора критериев – практически всегда является вопросом интерпретации. Разумеется, при наличии «объективных критериев» соотношение определённого объекта с определённым центром формирования (что и является отношением к кластеру) *не является субъективным*. Но *субъективность и интерпретация* – разные вещи. *Интерпретация*, в отличие от *субъективности*, предполагает установление этих самых «объективных критериев». Но что касается СКК – установление «объективных критериев» не является их функцией. Это есть интеллектуальная работа человеческого сознания. А функция СКК – поставка черного материала для интерпретации.

4. С учётом предыдущего замечания об интерпретации, следует с некоторой осторожностью относиться к понятию *искусственный интеллект* (ИИ). СКК традиционно соотносится с понятием ИИ. Но здесь должны быть сделаны две оговорки.

Первая. Речь может идти не о тождественности ИИ с реальным ЧИ (в лучших его проявлениях), а о текущем (сегодняшнем) понимании того, какие объекты или явления (проявления) могут быть отнесены к понятию ИИ. Тогда речь может идти о *конвенционном* понимании (определении) этого феномена: «к понятию ИИ мы относим такие-то и такие-то явления...»

Вторая. Отличие текущего достигнутого уровня ИИ от реального ЧИ (в лучших его проявлениях) в основном сводится к тому, что ИИ выступает не более чем в качестве *усилителя* функций ЧИ. Здесь СКК – подходящий пример: подготовка «картины взаимного тяготения данных друг к другу» для последующей интерпретации их уже ЧИ, как группировки и разбиения на классы.

5. Модифицированный вариант алгоритма СКК (рис. 3) следует признать «более интеллектуальным», т.к. он в большей степени соответствует практическим приёмам работы человека, реализующего кластеризацию разнородных объектов. Для пояснения – вернёмся к применённой выше метафоре ящика «со всякой мелочью». Согласно классическому варианту СКК, человек должен брать предметы «из общей кучи» по одному, без выбора конкретного порядка, и класть в соответствующую «сортировочную кучку». На практике

же человек, занятый подобной работой, будет делать «предсортировкой» ещё на этапе выбора объектов «из общей кучи». Так, он сначала вытянет «по возможности все гаечки», потом «по возможности все гвоздики» и т.д. Выигрыш, как и в случае с модифицированной СКК, состоит в том, что для каждой группы объектов, выделенных при «предсортировке», принимается единое общее решение, куда их поместить. Это связано с меньшими усилиями, чем если берутся по одному разнообразные разнородные предметы и для каждого из них принимается индивидуальное решение.

### Выводы

Рассмотрены (сопоставлены) реализации классического и модифицированного вариантов обучения самоорганизующейся карты Кохонена. Сделаны оценки выигрыша эффективности по скорости обучения. Рассмотрен ряд интеллектуальных аспектов работы модифицированных самоорганизующихся карт Кохонена, в частности, процедуры их обучения с поддержкой распараллеливания. Полученные результаты интересны для выработки рекомендаций по распараллеливанию отдельных фаз обучения карт Кохонена при реализации модифицированного варианта на вычислительных системах с распределённой обработкой данных.

**Список литературы:** 1. Дяченко В.А., Михаль О.Ф., Руденко О.Г. Сеть Кохонена с параллельным обучением. // Управляющие системы и машины, 2009, № 5, с. 14-18. 2. Дяченко В.А., Кошкин А.А., Михаль О.Ф. Параллельная процедура обучения в модифицированной сети Кохонена. // Вестник ХНТУ №2(41), 2011 г с. 146-149. 3. Дяченко В.А., Михаль О.Ф. Повышение эффективности обучения модифицированной сети Кохонена. // Информатика, математическое моделирование, экономика: Сборник научных статей по итогам Международной научно-прак-

тической конференции, г. Смоленск, 22 апреля 2011 г. В 2-х томах. Том 2 – Смоленск: Смоленский филиал АНО ВПО ЦС РФ “Российский университет кооперации”, 2011. – С. 90-96. 4. Дяченко В.А., Михаль О.Ф. Адаптивное параллельное обучение модифицированной самоорганизующейся карты Кохонена // Сучасні напрямки розвитку інформаційно-комунікаційних технологій та засобів управління. Матеріали другої міжнародної науково-технічної конференції. – К.: ДП “ЦНДІ НГУ”, Х.: “ХНДІ ТМ”; К.: КДАВТ, 2011. – С. 44. 5. George A. Miller. The Magical Number Seven, Plus or Minus Two. // The Psychological Review, 1956, vol. 63, pp. 81-97. (<http://psychclassics.yorku.ca/Miller/>) 6. Руденко О.Г., Бодянский Е.В. Основы теории искусственных нейронных сетей. – Харьков: ТЕЛЕТЕХ, 2002. – 317 с.

*Поступила в редколлегию 15.04.2015*

УДК 519.87

**Интеллектуальный аспект навчання модифікованих карт Кохонена, що самоорганізуються / В.О. Дяченко, О.П. Михаль // Біоніка інтелекту: наук.-техн. журнал. – 2015. – № 2 (85). – С. 35–40.**

Розглянуто та зіставлено за параметрами класичний та модифікований варіанти реалізації навчання карт Кохонена, що самоорганізуються. Проведено порівняльний аналіз швидкості навчання. Розглянуто інтелектуальний аспект роботи карт Кохонена, зокрема їх навчання з підтримкою розпаралелення.

Л. 3. Бібліогр.: 6 найм.

UDK 519.87

**Intellectual aspect of learning of modified Kohonen self-organizing maps / V.A. Djachenko, O.Ph. Mikhal // Bionics of Intelligense: Sci. Mag. – 2015. – № 2 (85). – P. 35–40.**

The parameters examined and compared of classic and modified embodiments of learning self-organizing maps of Kohonen. A comparative analysis made of the speed of learning. The intellectual aspect considered of the work of Kohonen maps, in particular, their learning with support parallelization.

Fig. 3. Ref.: 6 items.

УДК 519.7:007.52; 519.711.3



І.Д. Вечірська, І.Е. Гончаров, Т.М. Хамітов  
ХНУРЕ, м. Харків, Україна, ira\_se@list.ru

## ПОБУДОВА ЛОГІЧНОЇ МЕРЕЖІ ДЛЯ ДІАГНОСТИКИ ТА УПРАВЛІННЯ НАДЗВИЧАЙНИМИ СИТУАЦІЯМИ

Статтю присвячено побудові математичної моделі на основі алгебри скінченних предикатів, яку було реалізовано у вигляді логічної мережі для діагностики та управління надзвичайними ситуаціями. Досліджено надзвичайні ситуації відносно їх визначення за типом і видом, та класифікації за зоною та рівнем розвитку щодо можливих варіантів вирішення. Наведено приклади роботи логічної мережі за тактами та її програмну реалізацію.

АЛГЕБРА СКІНЧЕННИХ ПРЕДИКАТІВ, ВІДНОШЕННЯ, ЛОГІЧНА МЕРЕЖА, МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ, НАДЗВИЧАЙНА СИТУАЦІЯ, ПРЕДМЕТНА ОБЛАСТЬ

### Вступ

В Україні щорічно виникають тисячі надзвичайних ситуацій, внаслідок яких гине велика кількість людей, а матеріальні збитки сягають кількох мільярдів гривень. Запобігти надзвичайним ситуаціям як природного, так і техногенного характеру, ліквідувати їх наслідки та знизити масштаби збитків на сьогоднішній день являється одними з найважливіших завдань органів управління на всіх рівнях.

Тенденція зростання кількості природних і особливо техногенних надзвичайних ситуацій, тяжкість їх наслідків змушують розглядати їх виникнення як складну проблему, для вирішення якої слід враховувати багато різних факторів, таких як класифікація за характером походження подій, в залежності від територіального поширення, обсягів збитків, кількості загиблих людей, способи вирішення НС відносно евакуації та укриття, інші [1].

Апарат математичної логіки є основою моделювання різноманітних об'єктів. Його інструментарій дозволяє розробляти методи вилучення та обробки знань для різних предметних областей, визначати та обґрунтовувати їх істинність. Проте існує ряд обмежень, які заважають застосовувати цей апарат для моделювання та програмування різноманітних об'єктів і процесів. Одним з них є частковість інформації про предметну область при формулюванні задачі (неповне задання області визначення) та недостатнє дослідження її структурованості [2].

Цю проблему можна вирішити за допомогою логічних мереж, інструментарій побудови яких належить алгебрі скінченних предикатів (АСП) [3–4]. Логічна мережа працює за принципами роботи мозку: законами логіки, що описуються основними тотожностями АСП, та обробляє інформацію будь-якого типу внаслідок універсальності алгебраїчного апарату.

Побудова логічної мережі передбачає насамперед глибокий аналіз вихідного відношення, що дозволяє структурувати інформацію про певну предметну область. Якщо розглянути деяке багатомісцеве відношення, то слід звернути увагу, що

кожна змінна області відправлення, (як і області прибуття), має свою область визначення і область значень. Складність формального опису полягає в тому, що необхідно враховувати всю ієрархію понять. Так, якщо задачею є побудова математичної моделі надзвичайних ситуацій, то недостатньо розглянути типи ситуацій, властиві їм ознаки та ряд можливих дій щодо врегулювання. Щоб отримати модель дійсно допомагала при діагностиці та керуванні надзвичайними ситуаціями, необхідно провести якомога глибший аналіз, дослідити всі можливі відношення між усіма виділеними предметними змінними та їх значеннями.

Зауважимо, що для побудови оптимальної математичної моделі необхідно дослідити всі можливі бінарні відношення. Це дозволить ввести допоміжні вузли для спрощення схеми та підвищити швидкість мережі [3, 5].

Отже, мета роботи – провести аналіз предметної області та за допомогою засобів алгебри скінченних предикатів побудувати відповідну математичну модель, а саме логічну мережу для діагностики та управління надзвичайними ситуаціями.

### 1. Класифікація природних та техногенних надзвичайних ситуацій

Постановою Кабінету Міністрів України в 1998 році було затверджено “Положення про класифікацію надзвичайних ситуацій”, де за характером походження подій, які зумовлюють виникнення надзвичайних ситуацій (НС) на території України, розрізняють НС техногенного характеру, НС природного характеру, НС соціально-політичного характеру та НС воєнного характеру.

До НС техногенного характеру відносяться транспортні аварії (катастрофи), пожежі, неспровоковані вибухи чи їх загроза, аварії з викидом (загрозою викиду) небезпечних хімічних, радіоактивних, біологічних речовин, раптове руйнування споруд та будівель, аварії на інженерних мережах і спорудах життєзабезпечення, гідродинамічні аварії на греблях, дамбах.

До НС природного характеру відносяться небезпечні геологічні, метеорологічні, гідрологічні

морські та прісноводні явища, деградація ґрунтів чи надр, природні пожежі, зміна стану повітряного басейну, інфекційна захворюваність людей, сільськогосподарських тварин, масове ураження сільськогосподарських рослин хворобами чи шкідниками, зміна стану водних ресурсів та біосфери.

До НС соціально-політичного характеру, пов'язаних з протиправними діями терористичного та антиконституційного спрямування відносять наступні: здійснення або реальна загроза терористичного акту (збройний напад, захоплення і затримання важливих об'єктів, ядерних установок і матеріалів, систем зв'язку та телекомунікацій, напад чи замах на екіпаж повітряного чи морського судна), викрадення (спроба викрадення) чи знищення суден, встановлення вибухових пристроїв у громадських місцях, викрадення зброї.

НС воєнного характеру пов'язані з наслідками застосування зброї масового ураження або звичайних засобів ураження, під час яких виникають вторинні фактори ураження населення внаслідок руйнування атомних і гідроелектричних станцій, складів і сховищ радіоактивних і токсичних речовин та відходів, нафтопродуктів, вибухівки, сильнотоксичних отруйних речовин, токсичних відходів, транспортних та інженерних комунікацій.

В залежності від територіального поширення, обсягів заподіяних або очікуваних економічних збитків, кількості людей, які загинули, розрізняють чотири рівня надзвичайних ситуацій:

– надзвичайна ситуація загальнодержавного рівня – це надзвичайна ситуація, яка розвивається на території двох та більше областей (Автономної Республіки Крим, міст Києва та Севастополя) або загрожує транскордонним перенесенням, а також у разі, коли для її ліквідації необхідні матеріали і технічні ресурси у обсягах, що перевищують власні можливості окремої області (Автономної Республіки Крим, міст Києва та Севастополя), але не менше одного відсотка обсягу видатків відповідного бюджету;

– надзвичайна ситуація регіонального рівня – це надзвичайна ситуація, яка розвивається на території двох або більше адміністративних районів (міст обласного значення), Автономної Республіки Крим, областей, міст Києва та Севастополя або загрожує перенесенням на територію суміжної області України, а також у разі, коли для її ліквідації необхідні матеріальні і технічні ресурси в обсягах, що перевищують власні можливості окремого району, але не менше одного відсотка обсягу видатків відповідного бюджету;

– надзвичайна ситуація місцевого рівня – це надзвичайна ситуація, яка виходить за межі потенційно небезпечного об'єкта, загрожує поширенням самої ситуації або її вторинних наслідків на довкілля, сусідні населені пункти, інженерні споруди, а також у разі, коли для її ліквідації необхідні матеріальні і технічні ресурси в обсягах, що пере-

вищують власні можливості потенційно небезпечного об'єкта, але не менше одного відсотка обсягу видатків відповідного бюджету. До місцевого рівня також належать всі надзвичайні ситуації, які виникають на об'єктах житлово-комунальної сфери та інших, що не входять до затверджених переліків потенційно небезпечних об'єктів;

– надзвичайна ситуація об'єктового рівня – це надзвичайна ситуація, яка розгортається на території об'єкта або на самому об'єкті і наслідки якої не виходять за межі об'єкта або його санітарно-захисної зони.

Подальшу класифікацію природних та техногенних надзвичайних ситуацій можна здійснити за такими ознаками: загальна причина виникнення, вид прояву, сфера, наслідки, терміни та масштаб прояву.

## 2. Математичний опис процесу розподілу надзвичайних ситуацій

### 2.1. Визначення надзвичайної ситуації за типом і видом

Переходимо до формального опису процесу розподілу надзвичайних ситуацій (НС). З цієї метою введемо необхідні предметні змінні:  $x_1$  – тип НС,  $x_2$  – вид НС;  $x_1^П$  – природний тип НС;  $x_1^Т$  – техногенний тип НС;  $x_2^П$  – пожежа;  $x_2^О$  – обвал;  $x_2^Л$  – лавина;  $x_2^З$  – землетрус;  $x_2^Б$  – буря;  $x_2^Н$  – повінь;  $x_2^А$  – аварія.

Далі введемо змінну  $X$  – визначення надзвичайної ситуації за типом і видом. Для визначення надзвичайної ситуації  $X$  необхідно враховувати ознаки  $x_1$  та  $x_2$ . Тоді предикат визначення НС матиме вигляд:

$$X(x_1, x_2) = x_1^П x_2^П \vee x_1^П x_2^О \vee x_1^П x_2^Л \vee x_1^П x_2^З \vee x_1^П x_2^Б \vee x_1^П x_2^Н \vee x_1^Т x_2^П \vee x_1^Т x_2^А.$$

Для кожного диз'юнкту предикату визначення НС за типом та видом в парадигматичній таблиці 1 вводимо свій номер.

Таблиця 1

Парадигматична таблиця визначення НС

	Природні	Техногенні
Пожежа	$x_1^П x_2^П = q_1$	$x_1^Т x_2^П = q_7$
Обвал	$x_1^П x_2^О = q_2$	–
Лавина	$x_1^П x_2^Л = q_3$	–
Землетрус	$x_1^П x_2^З = q_4$	–
Буря	$x_1^П x_2^Б = q_5$	–
Повінь	$x_1^П x_2^Н = q_6$	–
Аварія	–	$x_1^Т x_2^А = q_8$

Далі виконуємо операцію почленної диз'юнкції якомога більшого числа споріднених рівностей та формуємо залежність номера впливу визначення від змінних  $x_1$  та  $x_2$  наступним чином:

$$\begin{aligned} (x_1^\Pi \vee x_1^\Gamma) x_2^\Pi &= q_1 \vee q_7 = X_1; \\ x_1^\Pi x_2^O &= q_2 = X_2; \\ x_1^\Pi x_2^Л &= q_3 = X_3; \\ x_1^\Pi x_2^З &= q_4 = X_4; \\ x_1^\Pi x_2^Б &= q_5 = X_5; \\ x_1^\Pi x_2^Н &= q_6 = X_6; \\ x_1^\Gamma x_2^\Pi &= q_8 = X_7. \end{aligned}$$

Спорідненими називаються такі вирази, які після виконання над ними операції почленної диз'юнкції призводять до рівності з лівою частиною у вигляді логічного добутку, кожен співмножник якого залежить лише від однієї предметної змінної. Мотивом, що спонукав виконати операцію почленної диз'юнкції, є прагнення отримати економну систему впливів визначень, в якій кожному впливу визначення НС відповідало б в точності одне ім'я.

Проведемо бінаризацію предикату, що зв'яже змінну  $X$  зі змінними  $x_1$  та  $x_2$ , та зобразимо у вигляді дводольних графів (рис. 1, 2):

$$\begin{aligned} P_1(x_1, X) &= x_1^\Pi (X_2 \vee X_3 \vee X_4 \vee X_5 \vee X_6) \vee x_1^\Gamma X_7 \vee \\ &\vee (x_1^\Pi \vee x_1^\Gamma) X_1; \\ P_2(x_2, X) &= x_2^\Pi X_1 \vee x_2^O X_2 \vee x_2^Л X_3 \vee x_2^З X_4 \vee x_2^Б X_5 \vee \\ &\vee x_2^Н X_6 \vee x_2^А X_7. \end{aligned}$$

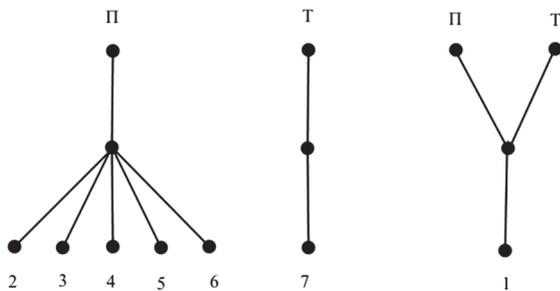


Рис. 1. Дводольні графи  $X$  та  $x_1$

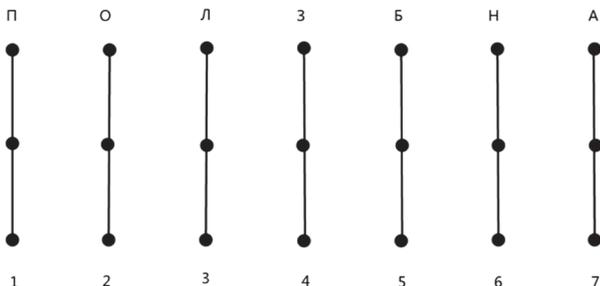


Рис. 2. Дводольні вектори  $X$  та  $x_2$

### 2.2. Класифікація надзвичайної ситуації за зоною та рівнем розвитку

Позначимо далі  $Y$  – класифікація НС,  $y_1$  – зона розвитку НС,  $y_2$  – рівень розвитку НС;  $y_1^\Pi$  – локальна зона;  $y_1^М$  – місцева зона;  $y_1^\Gamma$  – територіальна(районна) зона;  $y_1^Р$  – регіональна

зона;  $y_1^O$  – обласна зона;  $y_2^Б$  – раптовий рівень розвитку;  $y_2^C$  – стрімкий рівень розвитку;  $y_2^Y$  – помірний рівень розвитку.

Тоді предикат класифікації НС за зоною та рівнем розвитку матиме вигляд:

$$\begin{aligned} Y &= y_1^\Pi y_2^Б \vee y_1^М y_2^Б \vee y_1^\Gamma y_2^Б \vee y_1^O y_2^Б \vee y_1^\Pi y_2^C \vee \\ &\vee y_1^М y_2^C \vee y_1^\Gamma y_2^C \vee y_1^Р y_2^C \vee y_1^O y_2^C \vee y_1^\Pi y_2^Y \vee y_1^М y_2^Y \vee \\ &\vee y_1^\Gamma y_2^Y \vee y_1^Р y_2^Y \vee y_1^O y_2^Y. \end{aligned}$$

Парадигматична таблиця класифікації НС за зоною та рівнем розвитку (табл. 2) відображає всі можливі НС відносно рівня розвитку НС та його зони розвитку.

Таблиця 2

Парадигматична таблиця класифікації НС

	Раптовий	Стрімкий	Помірний
Локальна	$y_1^\Pi y_2^Б$	$y_1^\Pi y_2^C$	$y_1^\Pi y_2^Y$
Місцева	$y_1^М y_2^Б$	$y_1^М y_2^C$	$y_1^М y_2^Y$
Територіальна	$y_1^\Gamma y_2^Б$	$y_1^\Gamma y_2^C$	$y_1^\Gamma y_2^Y$
Регіональна	$y_1^Р y_2^Б$	$y_1^Р y_2^C$	$y_1^Р y_2^Y$
Обласна	$y_1^O y_2^Б$	$y_1^O y_2^C$	$y_1^O y_2^Y$

Далі виконуємо операцію почленної диз'юнкції та формуємо відповідні залежності:

$$\begin{aligned} y_1^\Pi y_2^Б &= Y_1; y_1^\Pi y_2^C = Y_2; y_1^\Pi y_2^Y = Y_3; \\ y_1^М y_2^Б &= Y_4; y_1^М y_2^C = Y_5; y_1^М y_2^Y = Y_6; \\ y_1^\Gamma y_2^Б &= Y_7; y_1^\Gamma y_2^C = Y_8; y_1^\Gamma y_2^Y = Y_9; \\ y_1^Р y_2^Б &= Y_{10}; y_1^Р y_2^C = Y_{11}; y_1^Р y_2^Y = Y_{12}; \\ y_1^O y_2^Б &= Y_{13}; y_1^O y_2^C = Y_{14}; y_1^O y_2^Y = Y_{15}. \end{aligned}$$

Проведемо бінаризацію предикату  $Y$ , що відображає відношення між змінними  $y_1$  та  $y_2$ , та зобразимо у вигляді дводольного графу (рис. 3):

$$P_3(Y) = (y_1^\Pi \vee y_1^М \vee y_1^\Gamma \vee y_1^Р \vee y_1^O) (y_2^Б \vee y_2^C \vee y_2^Y).$$

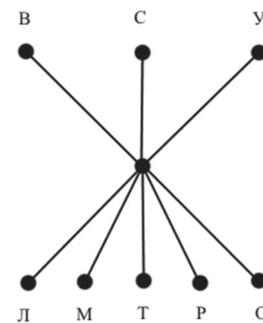


Рис. 3. Дводольний граф  $Y$

### 2.3 Вирішення надзвичайної ситуації відносно способів евакуації та сховища

Нехай  $Z_З$  – вирішення НС способом евакуації,  $Z_С$  – вирішення НС способом сховища;  $z_1$  – спосіб евакуації,  $z_2$  – тимчасовий показник евакуації,  $z_3$  – призначення евакуації,  $z_4$  – призначення сховища,  $z_5$  – тип сховища;  $z_1^\Pi$  – піший

спосіб евакуації,  $z_1^T$  – транспортний спосіб евакуації,  $z_2^B$  – швидкий час евакуації,  $z_2^C$  – середній час евакуації,  $z_2^Y$  – тривалий час евакуації,  $z_3^Y$  – попереджуюча евакуація,  $z_3^O$  – екстрена евакуація,  $z_4^I$  – сховище майна,  $z_4^L$  – сховище людей,  $z_5^O$  – відкритий тип сховища,  $z_5^3$  – закритий тип сховища.

Парадигматична таблиця вирішення НС відносно способу сховища та способу евакуації (табл. 3, 4) відображає всі можливі варіанти розв'язку НС відносно способу сховища та способу евакуації.

Таблиця 3

Парадигматична таблиця вирішення НС відносно евакуації

	Швидкий	Середній	Тривалий
Піший	$z_1^П z_2^B z_3^Y = g_1$ $z_1^П z_2^B z_3^O = g_2$	-	-
Транспортний	$z_1^T z_2^B z_3^Y = g_3$ $z_1^T z_2^B z_3^O = g_4$	$z_1^T z_2^C z_3^O = g_5$	$z_1^T z_2^П z_3^O = g_6$

Таблиця 4

Парадигматична таблиця вирішення НС відносно сховища

	Майно	Люди
Відкритий	$z_4^И z_5^O = g_7$	$z_4^Л z_5^O = g_9$
Закритий	$z_4^И z_5^3 = g_8$	$z_4^Л z_5^3 = g_{10}$

Виконуємо операцію почленної диз'юнкції та формуємо залежності:

$$Z_9 = z_1^П z_2^B z_3^Y \vee z_1^П z_2^B z_3^O \vee z_1^T z_2^B z_3^Y \vee z_1^T z_2^B z_3^O \vee z_1^T z_2^C z_3^O \vee z_1^T z_2^П z_3^O;$$

$$Z_Y = z_4^И z_5^O \vee z_4^И z_5^3 \vee z_4^Л z_5^O \vee z_4^Л z_5^3.$$

Проводимо бінаризацію:

$$P_4(z_1, Z_9) = z_1^П Z_9^2 \vee z_1^T (Z_9^3 \vee Z_9^4 \vee Z_9^5) \vee (z_1^П \vee z_1^T) Z_9^1;$$

$$P_5(z_2, Z_9) = z_2^B (Z_9^1 \vee Z_9^2 \vee Z_9^3) \vee z_2^C Z_9^4 \vee z_2^П Z_9^5;$$

$$P_6(z_3, Z_9) = z_3^Y Z_9^1 \vee z_3^O (Z_9^2 \vee Z_9^3 \vee Z_9^4 \vee Z_9^5);$$

$$P_7(z_4, Z_Y) = z_4^И (Z_Y^1 \vee Z_Y^2) \vee z_4^Л (Z_Y^3 \vee Z_Y^4);$$

$$P_8(z_5, Z_Y) = z_5^O (Z_Y^1 \vee Z_Y^3) \vee z_5^3 (Z_Y^2 \vee Z_Y^4).$$

Відповідні дводольні граfi зображено на рис. 4.

**3. Побудова математичної моделі вирішення надзвичайної ситуації відносно її визначення за типом і видом та класифікації за зоною та рівнем розвитку**

Після проведення формального опису змінних  $X$ ,  $Y$ ,  $Z_9$  та  $Z_Y$ , необхідно дослідити зв'язок між ними.

Проводимо бінаризацію:

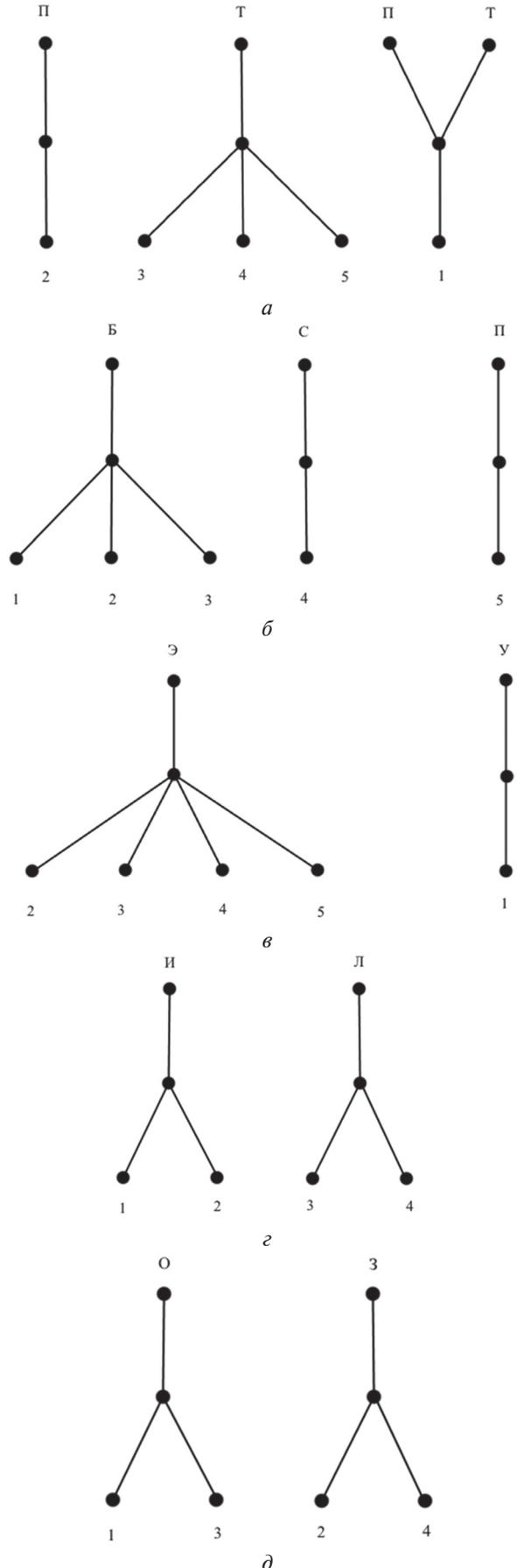


Рис. 4. Дводольні граfi: a –  $Z_9$  та  $z_1$ ; б –  $Z_9$  та  $z_2$ ; в –  $Z_9$  та  $z_3$ ; з –  $Z_Y$  та  $z_4$ ; д –  $Z_Y$  та  $z_5$

$$P_9(X, Y) = x_1^{\Pi} x_2^{\Pi} (y_1^{\Pi} \vee y_1^M \vee y_1^T \vee y_1^P \vee y_1^O) \vee$$

$$\vee x_1^{\Pi} x_2^O (y_1^{\Pi} \vee y_1^M) \vee x_1^{\Pi} x_2^{\Pi} (y_1^{\Pi} \vee y_1^M \vee y_1^T \vee y_1^P) \vee$$

$$\vee x_1^{\Pi} x_2^3 (y_1^{\Pi} \vee y_1^M \vee y_1^T \vee y_1^P \vee y_1^O) \vee$$

$$\vee x_1^{\Pi} x_2^B (y_1^{\Pi} \vee y_1^M \vee y_1^T \vee y_1^P \vee y_1^O) \vee$$

$$\vee x_1^{\Pi} x_2^H (y_1^{\Pi} \vee y_1^M \vee y_1^T \vee y_1^P \vee y_1^O) \vee$$

$$\vee x_1^T x_2^{\Pi} (y_1^{\Pi} \vee y_1^M) \vee$$

$$\vee x_1^T x_2^A (y_1^{\Pi} \vee y_1^M \vee y_1^T \vee y_1^P \vee y_1^O).$$

Дводольний граф зв'язку між предикатами  $X$  та  $Y$  зображено на рисунку 5.

Проводимо бінарізацію:

$$P_{10}(X, Z) = x_1^{\Pi} x_2^{\Pi} (z_1^{\Pi} z_2^B z_3^Y \vee z_1^{\Pi} z_2^B z_3^{\Theta} \vee z_1^{\Pi} z_2^C z_3^{\Theta} \vee$$

$$\vee z_1^T z_2^B z_3^Y \vee z_1^T z_2^B z_3^{\Theta} \vee z_1^T z_2^C z_3^{\Theta} \vee z_1^T z_2^{\Pi} z_3^{\Theta}) \vee$$

$$\vee x_1^T x_2^{\Pi} (z_1^{\Pi} z_2^B z_3^Y \vee z_1^{\Pi} z_2^B z_3^{\Theta} \vee z_1^{\Pi} z_2^C z_3^{\Theta}) \vee x_1^{\Pi} x_2^O \wedge$$

$$\wedge (z_1^{\Pi} z_2^B z_3^Y \vee z_1^{\Pi} z_2^B z_3^{\Theta} \vee z_1^{\Pi} z_2^C z_3^{\Theta} \vee z_1^T z_2^B z_3^Y \vee$$

$$\vee z_1^T z_2^B z_3^{\Theta} \vee z_1^T z_2^C z_3^{\Theta}) \vee x_1^{\Pi} x_2^{\Pi} (z_1^{\Pi} z_2^C z_3^{\Theta} \vee z_1^T z_2^C z_3^{\Theta}) \vee$$

$$\vee x_1^{\Pi} x_2^3 (z_1^T z_2^C z_3^{\Theta} \vee z_1^T z_2^{\Pi} z_3^{\Theta}) \vee x_1^{\Pi} x_2^B (z_1^T z_2^B z_3^Y \vee z_1^T z_2^B z_3^{\Theta} \vee$$

$$\vee z_1^T z_2^C z_3^{\Theta}) \vee x_1^{\Pi} x_2^H \vee (z_1^T z_2^C z_3^{\Theta} \vee z_1^T z_2^{\Pi} z_3^{\Theta}) \vee$$

$$\vee x_1^T x_2^A (z_1^{\Pi} z_2^B z_3^Y \vee z_1^T z_2^B z_3^{\Theta} \vee z_1^T z_2^C z_3^{\Theta} \vee z_1^T z_2^{\Pi} z_3^{\Theta}).$$

Дводольний граф зв'язку між предикатами  $X$  та  $Z_9$  зображено на рисунку 6.

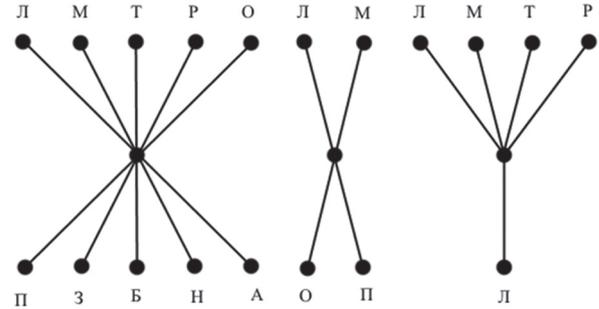


Рис. 5. Дводольний граф зв'язку між  $X$  та  $Y$

Таблиця 5

Парадигматична таблиця зв'язку між  $X$  та  $Y$

	Природні					Техногенні		
	Пожежа	Обвал	Лавина	Земл.	Буря	Повінь	Пожежа	Аварія
Локал.	$x_1^{\Pi} x_2^{\Pi} y_1^{\Pi}$	$x_1^{\Pi} x_2^O y_1^{\Pi}$	$x_1^{\Pi} x_2^{\Pi} y_1^{\Pi}$	$x_1^{\Pi} x_2^3 y_1^{\Pi}$	$x_1^{\Pi} x_2^B y_1^{\Pi}$	$x_1^{\Pi} x_2^H y_1^{\Pi}$	$x_1^T x_2^{\Pi} y_1^{\Pi}$	$x_1^T x_2^A y_1^{\Pi}$
Місц.	$x_1^{\Pi} x_2^{\Pi} y_1^M$	$x_1^{\Pi} x_2^O y_1^M$	$x_1^{\Pi} x_2^{\Pi} y_1^M$	$x_1^{\Pi} x_2^3 y_1^M$	$x_1^{\Pi} x_2^B y_1^M$	$x_1^{\Pi} x_2^H y_1^M$	$x_1^T x_2^{\Pi} y_1^M$	$x_1^T x_2^A y_1^M$
Терит.	$x_1^{\Pi} x_2^{\Pi} y_1^T$	-	$x_1^{\Pi} x_2^{\Pi} y_1^T$	$x_1^{\Pi} x_2^3 y_1^T$	$x_1^{\Pi} x_2^B y_1^T$	$x_1^{\Pi} x_2^H y_1^T$	-	$x_1^T x_2^A y_1^T$
Регіон.	$x_1^{\Pi} x_2^{\Pi} y_1^P$	-	$x_1^{\Pi} x_2^{\Pi} y_1^P$	$x_1^{\Pi} x_2^3 y_1^P$	$x_1^{\Pi} x_2^B y_1^P$	$x_1^{\Pi} x_2^H y_1^P$	-	$x_1^T x_2^A y_1^P$
Обл.	$x_1^{\Pi} x_2^{\Pi} y_1^O$	-	-	$x_1^{\Pi} x_2^3 y_1^O$	$x_1^{\Pi} x_2^B y_1^O$	$x_1^{\Pi} x_2^H y_1^O$	-	$x_1^T x_2^A y_1^O$

Таблиця 6

Парадигматична таблиця зв'язку між  $X$  та  $Z_9$

	Спосіб	Час	Призначення	$P(X, Z_9)$
Пожежа	$x_1^{\Pi} x_2^{\Pi} z_1^{\Pi}; x_1^{\Pi} x_2^{\Pi} z_1^T;$ $x_1^T x_2^{\Pi} z_1^{\Pi}$	$x_1^{\Pi} x_2^{\Pi} z_2^B; x_1^{\Pi} x_2^{\Pi} z_2^C;$ $x_1^{\Pi} x_2^{\Pi} z_2^{\Theta}; x_1^T x_2^{\Pi} z_2^B;$ $x_1^T x_2^{\Pi} z_2^C$	$x_1^{\Pi} x_2^{\Pi} z_3^Y; x_1^{\Pi} x_2^{\Pi} z_3^{\Theta};$ $x_1^T x_2^{\Pi} z_3^Y; x_1^T x_2^{\Pi} z_3^{\Theta}$	$x_1^{\Pi} x_2^{\Pi} z_1^{\Pi} z_2^B z_3^Y; x_1^{\Pi} x_2^{\Pi} z_1^{\Pi} z_2^B z_3^{\Theta};$ $x_1^{\Pi} x_2^{\Pi} z_1^{\Pi} z_2^C z_3^{\Theta}; x_1^{\Pi} x_2^{\Pi} z_1^T z_2^B z_3^Y;$ $x_1^{\Pi} x_2^{\Pi} z_1^T z_2^B z_3^{\Theta}; x_1^{\Pi} x_2^{\Pi} z_1^T z_2^C z_3^{\Theta};$ $x_1^{\Pi} x_2^{\Pi} z_1^T z_2^{\Pi} z_3^{\Theta}; x_1^T x_2^{\Pi} z_1^{\Pi} z_2^B z_3^Y;$ $x_1^T x_2^{\Pi} z_1^{\Pi} z_2^B z_3^{\Theta}; x_1^T x_2^{\Pi} z_1^{\Pi} z_2^C z_3^{\Theta};$ $x_1^T x_2^{\Pi} z_1^{\Pi} z_2^{\Pi} z_3^{\Theta}; x_1^T x_2^{\Pi} z_1^{\Pi} z_2^C z_3^{\Theta}$
Обвал	$x_1^{\Pi} x_2^O z_1^{\Pi}; x_1^{\Pi} x_2^O z_1^T$	$x_1^{\Pi} x_2^O z_2^B; x_1^{\Pi} x_2^O z_2^C$	$x_1^{\Pi} x_2^O z_3^Y; x_1^{\Pi} x_2^O z_3^{\Theta}$	$x_1^{\Pi} x_2^O z_1^{\Pi} z_2^B z_3^Y; x_1^{\Pi} x_2^O z_1^{\Pi} z_2^B z_3^{\Theta};$ $x_1^{\Pi} x_2^O z_1^{\Pi} z_2^C z_3^{\Theta}; x_1^{\Pi} x_2^O z_1^T z_2^B z_3^Y;$ $x_1^{\Pi} x_2^O z_1^T z_2^B z_3^{\Theta}; x_1^{\Pi} x_2^O z_1^T z_2^C z_3^{\Theta}$
Лавина	$x_1^{\Pi} x_2^{\Pi} z_1^{\Pi}; x_1^{\Pi} x_2^{\Pi} z_1^T$	$x_1^{\Pi} x_2^{\Pi} z_2^C$	$x_1^{\Pi} x_2^{\Pi} z_3^Y; x_1^{\Pi} x_2^{\Pi} z_3^{\Theta}$	$x_1^{\Pi} x_2^{\Pi} z_1^{\Pi} z_2^C z_3^{\Theta}; x_1^{\Pi} x_2^{\Pi} z_1^T z_2^C z_3^{\Theta}$
Землетрус	$x_1^{\Pi} x_2^3 z_1^T$	$x_1^{\Pi} x_2^3 z_2^C; x_1^{\Pi} x_2^3 z_2^{\Pi}$	$x_1^{\Pi} x_2^3 z_3^{\Theta}$	$x_1^{\Pi} x_2^3 z_1^T z_2^C z_3^{\Theta}; x_1^{\Pi} x_2^3 z_1^T z_2^{\Pi} z_3^{\Theta}$
Буря	$x_1^{\Pi} x_2^B z_1^T$	$x_1^{\Pi} x_2^B z_2^B; x_1^{\Pi} x_2^B z_2^C$	$x_1^{\Pi} x_2^B z_3^Y; x_1^{\Pi} x_2^B z_3^{\Theta}$	$x_1^{\Pi} x_2^B z_1^T z_2^B z_3^Y; x_1^{\Pi} x_2^B z_1^T z_2^B z_3^{\Theta};$ $x_1^{\Pi} x_2^B z_1^T z_2^C z_3^{\Theta}$
Повінь	$x_1^{\Pi} x_2^H z_1^T$	$x_1^{\Pi} x_2^H z_2^C; x_1^{\Pi} x_2^H z_2^{\Pi}$	$x_1^{\Pi} x_2^H z_3^{\Theta}$	$x_1^{\Pi} x_2^H z_1^T z_2^C z_3^{\Theta}; x_1^{\Pi} x_2^H z_1^T z_2^{\Pi} z_3^{\Theta}$
Аварія	$x_1^T x_2^A z_1^{\Pi}; x_1^T x_2^A z_1^T$	$x_1^T x_2^A z_2^B; x_1^T x_2^A z_2^C;$ $x_1^T x_2^A z_2^{\Pi}$	$x_1^T x_2^A z_3^Y; x_1^T x_2^A z_3^{\Theta}$	$x_1^T x_2^A z_1^{\Pi} z_2^B z_3^Y; x_1^T x_2^A z_1^{\Pi} z_2^B z_3^{\Theta};$ $x_1^T x_2^A z_1^{\Pi} z_2^C z_3^{\Theta}; x_1^T x_2^A z_1^T z_2^B z_3^Y;$ $x_1^T x_2^A z_1^T z_2^B z_3^{\Theta}; x_1^T x_2^A z_1^T z_2^C z_3^{\Theta}$

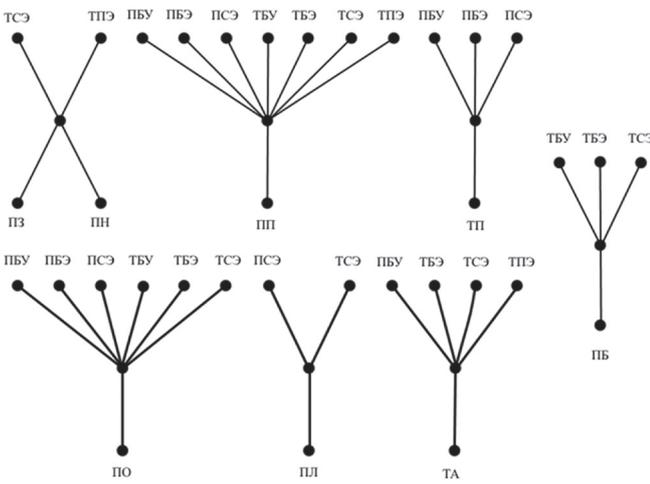


Рис. 6. Двродольний граф зв'язку між  $X$  та  $Z_9$

Проводимо бінарізацію:

$$P_{11}(Y, Z_9) = z_1^П z_2^Б z_3^Y (y_1^Л y_2^В \vee y_1^Л y_2^Y \vee y_1^М y_2^Б \vee y_1^М y_2^Y) \vee z_1^Т z_2^С z_3^Э (y_1^М y_2^С \vee y_1^Т y_2^В \vee y_1^Т y_2^С \vee y_1^Т y_2^Y \vee y_1^П y_2^Y) \vee z_1^Т z_2^П z_3^Э (y_1^П y_2^Б \vee y_1^П y_2^С \vee y_1^О y_2^В \vee y_1^О y_2^С \vee y_1^О y_2^Y) \vee z_1^Т z_2^Б z_3^Э y_1^Л y_2^С.$$

Двродольний граф зв'язку між предикатами  $Y$  та  $Z_9$  зображено на рисунку 7.

Проводимо бінарізацію:

$$P_{12}(X, Z_y) = (x_1^П x_2^О \vee x_1^П x_2^Л \vee x_1^П x_2^Н) (z_4^И z_5^О \vee z_4^И z_5^З \vee z_4^Л z_5^О \vee z_4^Л z_5^З) \vee x_1^П x_2^Б (z_4^И z_5^З \vee z_4^Л z_5^З) \vee x_1^Т x_2^А (z_4^Л z_5^О \vee z_4^Л z_5^З) \vee x_1^П x_2^З z_4^Л z_5^З.$$

Двродольний граф зв'язку між предикатами  $X$  та  $Z_y$  зображено на рисунку 8.

Таблиця 7

Парадигматична таблиця зв'язку між  $Y$  та  $Z_9$

$y_1$	$y_2$	$z_1$	$z_2$	$z_3$	$P(Y, Z_9)$
Локальна	р	$y_1^Л y_2^Б z_1^П$	$y_1^Л y_2^Б z_2^Б$	$y_1^Л y_2^Б z_3^Y$	$y_1^Л y_2^Б z_1^П z_2^Б z_3^Y$
	с	$y_1^Л y_2^С z_1^Т$	$y_1^Л y_2^С z_2^Б$	$y_1^Л y_2^С z_3^Э$	$y_1^Л y_2^С z_1^Т z_2^Б z_3^Э$
	п	$y_1^Л y_2^Y z_1^П$	$y_1^Л y_2^Y z_2^Б$	$y_1^Л y_2^Y z_3^Y$	$y_1^Л y_2^Y z_1^П z_2^Б z_3^Y$
Місцева	р	$y_1^М y_2^Б z_1^П$	$y_1^М y_2^Б z_2^Б$	$y_1^М y_2^Б z_3^Y$	$y_1^М y_2^Б z_1^П z_2^Б z_3^Y$
	с	$y_1^М y_2^С z_1^Т$	$y_1^М y_2^С z_2^С$	$y_1^М y_2^С z_3^Э$	$y_1^М y_2^С z_1^Т z_2^С z_3^Э$
	п	$y_1^М y_2^# z_1^П$	$y_1^М y_2^Y z_2^Б$	$y_1^М y_2^Y z_3^Y$	$y_1^М y_2^Y z_1^П z_2^Б z_3^Y$
Територіальна	р	$y_1^Т y_2^Б z_1^Т$	$y_1^Т y_2^Б z_2^С$	$y_1^Т y_2^Б z_3^Э$	$y_1^Т y_2^Б z_1^Т z_2^С z_3^Э$
	с	$y_1^Т y_2^С z_1^Т$	$y_1^Т y_2^С z_2^С$	$y_1^Т y_2^С z_3^Э$	$y_1^Т y_2^С z_1^Т z_2^С z_3^Э$
	п	$y_1^Т y_2^Y z_1^Т$	$y_1^Т y_2^Y z_2^С$	$y_1^Т y_2^Y z_3^Э$	$y_1^Т y_2^Y z_1^Т z_2^С z_3^Э$
Регіональна	р	$y_1^П y_2^Б z_1^Т$	$y_1^П y_2^Б z_2^П$	$y_1^П y_2^Б z_3^Э$	$y_1^П y_2^Б z_1^Т z_2^П z_3^Э$
	с	$y_1^П y_2^С z_1^Т$	$y_1^П y_2^С z_2^П$	$y_1^П y_2^С z_3^Э$	$y_1^П y_2^С z_1^Т z_2^П z_3^Э$
	п	$y_1^П y_2^Y z_1^Т$	$y_1^П y_2^Y z_2^С$	$y_1^П y_2^Y z_3^Э$	$y_1^П y_2^Y z_1^Т z_2^С z_3^Э$
Обласна	р	$y_1^О y_2^Б z_1^Т$	$y_1^О y_2^Б z_2^П$	$y_1^О y_2^Б z_3^Э$	$y_1^О y_2^Б z_1^Т z_2^П z_3^Э$
	с	$y_1^О y_2^С z_1^Т$	$y_1^О y_2^С z_2^П$	$y_1^О y_2^С z_3^Э$	$y_1^О y_2^С z_1^Т z_2^П z_3^Э$
	п	$y_1^О y_2^Y z_1^Т$	$y_1^О y_2^Y z_2^П$	$y_1^О y_2^Y z_3^Э$	$y_1^О y_2^Y z_1^Т z_2^П z_3^Э$

Таблиця 8

Парадигматична таблиця зв'язку між  $X$  та  $Z_y$

	$z_4$	$z_5$	$P(X, Z_y)$
Пожежа	-	-	-
Обвал	$x_1^П x_2^О z_4^И ; x_1^П x_2^О z_4^Л$	$x_1^П x_2^О z_5^О ; x_1^П x_2^О z_5^З$	$x_1^П x_2^О z_4^И z_5^О ; x_1^П x_2^О z_4^И z_5^З ; x_1^П x_2^О z_4^Л z_5^О ; x_1^П x_2^О z_4^Л z_5^З$
Лавина	$x_1^П x_2^Л z_4^И ; x_1^П x_2^Л z_4^Л$	$x_1^П x_2^Л z_5^О ; x_1^П x_2^Л z_5^З$	$x_1^П x_2^Л z_4^И z_5^О ; x_1^П x_2^Л z_4^И z_5^З ; x_1^П x_2^Л z_4^Л z_5^О ; x_1^П x_2^Л z_4^Л z_5^З$
Землетрус	$x_1^П x_2^З z_4^Л$	$x_1^П x_2^З z_5^З$	$x_1^П x_2^З z_4^Л z_5^З$
Буря	$x_1^П x_2^Б z_4^И ; x_1^П x_2^Б z_4^Л$	$x_1^П x_2^Б z_5^З$	$x_1^П x_2^Б z_4^И z_5^З ; x_1^П x_2^Б z_4^Л z_5^З$
Повінь	$x_1^П x_2^Н z_4^И ; x_1^П x_2^Н z_4^Л$	$x_1^П x_2^Н z_5^О ; x_1^П x_2^Н z_5^З$	$x_1^П x_2^Н z_4^И z_5^О ; x_1^П x_2^Н z_4^И z_5^З ; x_1^П x_2^Н z_4^Л z_5^О ; x_1^П x_2^Н z_4^Л z_5^З$
Аварія	$x_1^Т x_2^А z_4^Л$	$x_1^Т x_2^А z_5^О ; x_1^Т x_2^А z_5^З$	$x_1^Т x_2^А z_4^Л z_5^О ; x_1^Т x_2^А z_4^Л z_5^З$

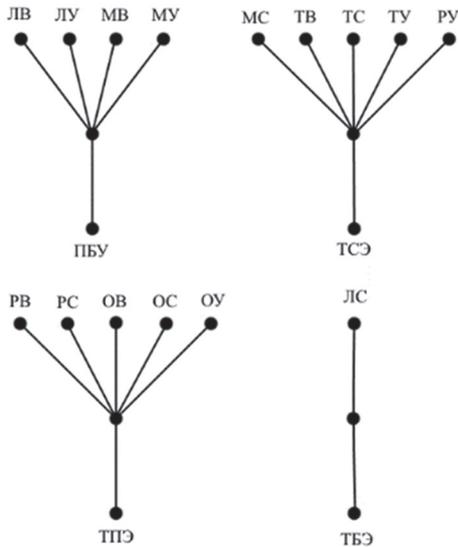


Рис. 7. Дводольний граф зв'язку між  $Y$  та  $Z_9$

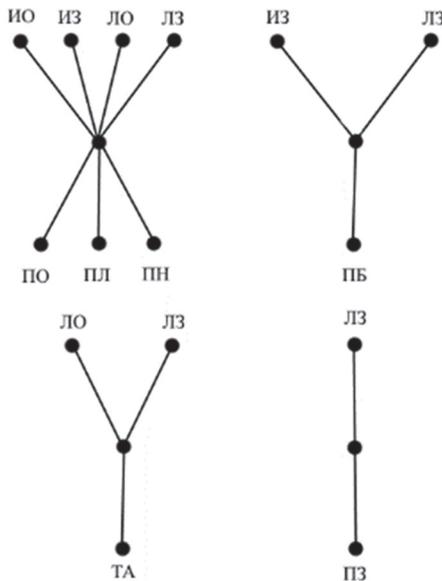


Рис. 8. Дводольний граф зв'язку між  $X$  та  $Z_y$

Проводимо бінарзацію:

$$P_{13}(Y, Z_y) = (z_4^I z_5^O \vee z_4^I z_5^3)(y_1^L y_2^B \vee y_1^L y_2^Y \vee y_1^M y_2^B \vee y_1^M y_2^Y \vee y_1^T y_2^Y) \vee (z_4^L z_5^O \vee z_4^L z_5^3) \vee (y_1^L y_2^C \vee y_1^M y_2^C \vee y_1^T y_2^B \vee y_1^T y_2^C \vee y_1^P y_2^B \vee y_1^P y_2^C \vee y_1^P y_2^Y \vee y_1^O y_2^B \vee y_1^O y_2^C \vee y_1^O y_2^Y).$$

Дводольний граф зв'язку між предикатами  $Y$  та  $Z_y$  зображено на рисунку 9.

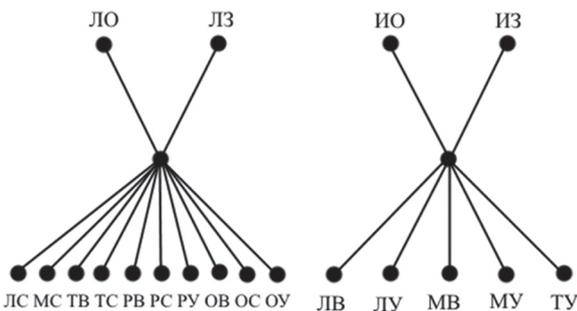


Рис. 9. Дводольний граф зв'язку між  $Y$  та  $Z_y$

Таблиця 9

Парадигматична таблиця зв'язку між  $Y$  та  $Z_y$

$Y_1$	$Y_2$	$z_4$	$z_5$	$P(Y, Z_y)$
Локальна	р	$y_1^L y_2^B z_4^I$	-	$y_1^L y_2^B z_4^I z_5^O$ ; $y_1^L y_2^B z_4^I z_5^3$
	с	$y_1^L y_2^C z_4^L$	-	$y_1^L y_2^C z_4^L z_5^O$ ; $y_1^L y_2^C z_4^L z_5^3$
	п	$y_1^L y_2^Y z_4^I$	-	$y_1^L y_2^Y z_4^I z_5^O$ ; $y_1^L y_2^Y z_4^I z_5^3$
Місцева	р	$y_1^M y_2^B z_4^I$	-	$y_1^M y_2^B z_4^I z_5^O$ ; $y_1^M y_2^B z_4^I z_5^3$
	с	$y_1^M y_2^C z_4^L$	-	$y_1^M y_2^C z_4^L z_5^O$ ; $y_1^M y_2^C z_4^L z_5^3$
	п	$y_1^M y_2^Y z_4^I$	-	$y_1^M y_2^Y z_4^I z_5^O$ ; $y_1^M y_2^Y z_4^I z_5^3$
Територ.	р	$y_1^T y_2^B z_4^L$	-	$y_1^T y_2^B z_4^L z_5^O$ ; $y_1^T y_2^B z_4^L z_5^3$
	с	$y_1^T y_2^C z_4^L$	-	$y_1^T y_2^C z_4^L z_5^O$ ; $y_1^T y_2^C z_4^L z_5^3$
	п	$y_1^T y_2^Y z_4^I$	-	$y_1^T y_2^Y z_4^I z_5^O$ ; $y_1^T y_2^Y z_4^I z_5^3$
Регіон.	р	$y_1^P y_2^B z_4^L$	-	$y_1^P y_2^B z_4^L z_5^O$ ; $y_1^P y_2^B z_4^L z_5^3$
	с	$y_1^P y_2^C z_4^L$	-	$y_1^P y_2^C z_4^L z_5^O$ ; $y_1^P y_2^C z_4^L z_5^3$
	п	$y_1^P y_2^Y z_4^L$	-	$y_1^P y_2^Y z_4^L z_5^O$ ; $y_1^P y_2^Y z_4^L z_5^3$
Обласна	р	$y_1^O y_2^B z_4^L$	-	$y_1^O y_2^B z_4^L z_5^O$ ; $y_1^O y_2^B z_4^L z_5^3$
	с	$y_1^O y_2^C z_4^L$	-	$y_1^O y_2^C z_4^L z_5^O$ ; $y_1^O y_2^C z_4^L z_5^3$
	п	$y_1^O y_2^Y z_4^L$	-	$y_1^O y_2^Y z_4^L z_5^O$ ; $y_1^O y_2^Y z_4^L z_5^3$

#### 4. Побудова логічної мережі

В попередніх розділах статті було проведено всю підготовчу роботу для побудови математичної моделі вирішення надзвичайних ситуацій відносно її визначення за типом і видом, та класифікації за зоною та рівнем розвитку. Модель буде характеризуватись системою бінарних відношень, які можна представити дводольними графами або ж формулами відповідних предикатів. Далі для завершення побудови залишається тільки об'єднати всі бінарні предикати. Таким чином, отримуємо предикат моделі:

$$P(x_1, x_2, X, y_1, y_2, Y, z_1, z_2, z_3, Z_9, z_4, z_5, Z_y) = P_1(x_1, X) \wedge P_2(x_2, X) \wedge P_3(Y) \wedge P_4(z_1, Z_9) \wedge P_5(z_2, Z_9) \wedge P_6(z_3, Z_9) \wedge P_7(z_4, Z_y) \wedge P_8(z_5, Z_y) \wedge P_9(X, Y) \wedge P_{10}(X, Z_9) \wedge P_{11}(Y, Z_9) \wedge P_{12}(X, Z_y) \wedge P_{13}(Y, Z_y).$$

Предикату моделі відповідає відношення моделі, що зв'язує між собою предметні змінні  $x_1, x_2, Y_1, Y_2, z_1, z_2, z_3, z_4, z_5, X, Y, Z_9, Z_y$ . Відношення моделі  $P$  можна наочно зобразити у вигляді мережі, яку називають логічною. Логічну мережу можна побудувати для будь-якої моделі. У нашому конкретному випадку отримуємо логічну мережу для діагностики та управління надзвичайними ситуаціями. Її зображено на рис. 10.

Розглянемо загальні принципи побудови логічної мережі [3, 5-6]. Кожній моделі відповідає своя логічна мережа. Будь-яка логічна мережа складається з полюсів і гілок. Кожному полюсу логічної мережі ставиться у відповідність своя

предметна змінна моделі, яка називається атрибутом цього полюсу. Кожен полюс позначається своєю предметною змінною. З кожним полюсом пов'язуємо його домен, тобто область зміни атрибуту цього полюса. Будь-який полюс логічної мережі в кожен момент часу несе якість знання про значення свого атрибуту. Це знання називається станом полюса і є однією з підмножин домену полюса. Вказуючи стан всіх полюсів мережі в даний момент часу, отримуємо стан мережі в той же момент часу.

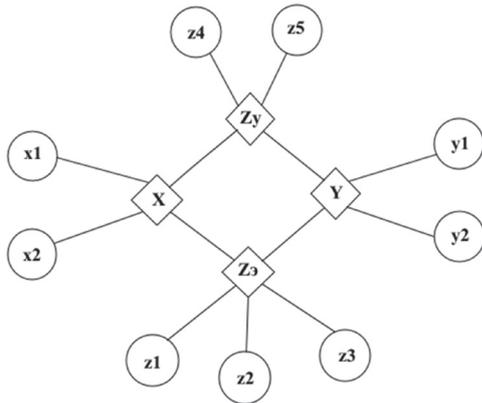


Рис. 10. Логічна мережа для діагностики та управління НС

Області зміни всіх предметних змінних для мережі діагностики надзвичайних ситуацій було неявно охарактеризовано раніше. Тепер ми їх перерахуємо в явному вигляді. Область зміни змінної  $x_1$  позначаємо символом  $A_1$ , маємо:

$$\begin{aligned} x_1 - A_1 &= \{П, Т\}; x_2 - A_2 = \{П, О, Л, З, Б, Н, А\}; \\ y_1 - A_3 &= \{Л, М, Т, Р, С\}; y_2 - A_4 = \{В, С, У\}; \\ z_1 - A_5 &= \{П, Т\}; z_2 - A_6 = \{Б, С, П\}; \\ z_3 - A_7 &= \{У, Э\}; z_4 - A_8 = \{И, Л\}; z_5 - A_9 = \{О, З\}; \\ X - A_{10} &= \{1, 2, \dots, 8\}; Y - A_{11} = \{1, 2, \dots, 15\}; \\ Z_3 - A_{12} &= \{ПБУ, ПБЭ, ТБУ, ТБЭ, ТСЭ, ТПЭ\}; \\ Z_y - A_{13} &= \{ИО, ИЗ, ЛО, ЛЗ\}. \end{aligned} \quad (3.14)$$

Кожній гілці логічної мережі ставиться у відповідність своє бінарне відношення моделі, яке називається відношенням цієї гілки. Кожна гілка позначається номером свого відношення. Вона з'єднує два полюси, що відповідають тим предметним змінним, які зв'язуються відношенням, відповідним даній гілці. Наприклад, гілка 1 відповідає відношенню  $P_1(x_1, X)$ , тому вона з'єднує полюси  $x_1$  і  $X$ . Всього в побудованій нами мережі є 13 полюсів і 13 гілок. Полюси мережі діляться на два класи – зовнішні і внутрішні. Кожен зовнішній полюс з'єднаний лише з однією гілкою, кожен внутрішній – більш, ніж з однією. У побудованій нами мережі до зовнішніх відносяться полюси, помічені предметними змінними  $x_1, x_2, y_1, y_2, z_1, z_2, z_3, z_4, z_5$ , до внутрішніх –  $X, Y, Z_3, Z_y$ .

Зовнішні полюси мережі було об'єднано в три групи:

- 1)  $x_1, x_2$ ;
- 2)  $y_1, y_2$ ;
- 3)  $z_1, z_2, z_3, z_4, z_5$ .

До першої групи входять полюси, помічені тими предметними змінними, значення яких характеризують визначення НС за типом і видом. У другу групу входять полюси, що характеризують класифікацію НС за зоною та рівнем розвитку. У третю групу входять полюси, які характеризують вирішення НС відносно її визначення за типом і видом, та класифікації за зоною та рівнем розвитку.

Кожну логічну мережу можна перетворити на електронну схему для автоматичного рішення будь-якого класу задач, що визначається тією моделлю, для якої було побудовано дану мережу. Її можна виготовити у вигляді надшвидкодійної карти, що здійснює паралельну обробку інформації. Ця карта встановлюється на материнській платі персонального комп'ютера. У міру потреби програми, що керує роботою комп'ютера, звертається до тієї чи іншої карти, яка за частки мікросекунди формує відповідь на той чи інший її запит. Таким чином, персональний комп'ютер з машини послідовної дії перетворюється на машину послідовно-паралельної дії. Паралельно діюча частина комп'ютера буде представлена батареєю карт, а послідовно діюча його частина – програмою, керуючою роботою цих карт. При цьому досягається значне підвищення продуктивності комп'ютера.

### 5. Робота логічної мережі

Мережу призначено для розв'язання системи рівнянь відповідної моделі. У модель вирішення НС відносно її визначення за типом і видом, та класифікації за зоною та рівнем розвитку входить 13 рівнянь, кожне з яких пов'язує дві певні змінні. Аналітично (тобто оперуючи з формулами) можна вирішити будь-яку систему рівнянь алгебри предикатів, що характеризує дану модель. При цьому можна задавати будь-яке знання про значення будь-яких предметних змінних і отримувати знання про значення будь-яких інших предметних змінних.

Ефективність роботи мережі здебільшого визначається правильним вибором методу синтезу архітектури логічної мережі для заданої задачі та вибором лінійних логічних перетворень для кожної з гілок. Економність електронної реалізації логічної мережі та лаконічність подання знань, які вона формує для кожної з задач, в значній мірі визначається вибором методу синтезу схем для кожної з її гілок.

Кожному полюсу реляційної логічної мережі ставиться у відповідність своя предметна змінна. З кожним полюсом пов'язана область значень змінної цього полюса. Будь-який полюс (вузол) реляційної мережі в будь-який момент часу несе якість знання про значення змінної (під знаннями розуміємо множину значень, які може набувати змінна

в фіксований момент часу). Іншими словами, ці знання можна назвати станом полюса. Якщо зафіксувати стани усіх полюсів, отримаємо систему логічних рівнянь. Реляційна логічна мережа призначена для розв'язання системи рівнянь, які описують роботу мережі у всіх гілках.

Кожному полюсу відповідає своя предметна змінна  $x_i$  з областю визначення  $M_i$ , ( $i = \overline{1, m}$ ). Пара полюсів  $x_i$  і  $y_j$ , які з'єднує гілка  $K_{ij}(x_i, y_j)$ , на першому етапі можна формалізувати у вигляді лінійного логічного перетворення

$$\exists x_i \in M_i (K_{ij}(x_i, y_j) \wedge P_i(x_i)) = Q_{j_{\max}}(y_j).$$

На другому етапі:

$$\exists y_j \in N_j (K_{ij}(x_i, y_j) \wedge P_j(y_j)) = Q_{i_{\min}}(x_i).$$

Лінійно-логічне перетворення мережі здійснює роботу операторів на першому етапі, якщо в мережі діють лише оператори з рівняння (1). Аналогічно визначають другий етап. Мережа відшукує розв'язання рівняння

$$K(x_1, \dots, x_m) = 1$$

з обмеженнями, які накладаються на область значень змінних  $x_i$ , ( $i = \overline{1, m}$ ),  $x_i \in P_i$ , де  $P_i \subseteq A_i$ . Якщо розв'язання рівняння відшукують за складніших обмежень  $L(x_1, \dots, x_m) = 1$ , то мережу добудовують таким чином, щоб вона відповідала рівнянню  $K' = 1$ , де  $K' = KL$ .

Розглянемо роботу побудованої логічної мережі для діагностики та управління надзвичайними ситуаціями за тактами:

Початковий стан мережі:

$$\begin{aligned} x_1 &\in \{П, Т\}; x_2 \in \{П, О, Л, З, Б, Н, А\}; \\ y_1 &\in \{Л, М, Т, Р, С\}; y_2 \in \{В, С, У\}; \\ z_1 &\in \{П, Т\}; z_2 \in \{Б, С, П\}; z_3 \in \{У, Э\}; \\ z_4 &\in \{И, Л\}; z_5 \in \{О, З\}; X \in \{1, 2, \dots, 8\}; Y \in \{1, 2, \dots, 15\}; \\ Z_3 &\in \{ПБУ, ПБЭ, ТБУ, ТБЭ, ТСЭ, ТПЭ\}; \\ Z_y &\in \{ИО, ИЗ, ЛО, ЛЗ\}. \end{aligned}$$

Перший такт

Перший напівтакт. Нехай на початку роботи відомі такі значення:

$$x_2 \in \{А\}; y_1 \in \{М\}; y_2 \in \{С\}.$$

Другий напівтакт. Перетин множин. У результаті отримуємо стан мережі на початку другого такту:

$$\begin{aligned} x_1 &\in \{П, Т\}; x_2 \in \{А\}; y_1 \in \{М\}; y_2 \in \{С\}; \\ z_1 &\in \{П, Т\}; z_2 \in \{Б, С, П\}; z_3 \in \{У, Э\}; \\ z_4 &\in \{И, Л\}; z_5 \in \{О, З\}; X \in \{1, 2, \dots, 8\}; Y \in \{1, 2, \dots, 15\}; \quad (3.20) \\ Z_3 &\in \{ПБУ, ПБЭ, ТБУ, ТБЭ, ТСЭ, ТПЭ\}; \\ Z_y &\in \{ИО, И, ЛО, ЛЗ\}. \end{aligned}$$

Другий такт.

Перший напівтакт. Рухаємося від полюсу  $x_2$  до полюсу  $X$  ( $x_2 \rightarrow X$ ). З відношення  $P_2$  отримуємо:  $X \in \{8\}$ .

Рухаємося в напрямку  $y_1 \rightarrow Y$ , отримуємо  $P_3 = \{4, 5, 6\}$ .

Рухаємося в напрямку  $y_2 \rightarrow Y$ , отримуємо  $P_3 = \{2, 5, 8, 11, 14\}$ .

Другий напівтакт. Перетин множин.

Стан мережі на початку третього такту:

$$\begin{aligned} x_1 &\in \{П, Т\}; x_2 \in \{А\}; y_1 \in \{М\}; y_2 \in \{С\}; \\ z_1 &\in \{П, Т\}; z_2 \in \{Б, С, П\}; z_3 \in \{У, Э\}; z_4 \in \{И, Л\}; \\ z_5 &\in \{О, З\}; X \in \{8\}; Y \in \{5\}; \\ Z_3 &\in \{ПБУ, ПБЭ, ТБУ, ТБЭ, ТСЭ, ТПЭ\}; \\ Z_y &\in \{ИО, ИЗ, ЛО, ЛЗ\}. \end{aligned}$$

Третій такт.

Перший напівтакт.

Рухаючись у напрямку  $X \rightarrow x_1$ , отримуємо  $P_1 = \{Т\}$ .

Рухаючись у напрямку  $X \rightarrow Z_3$ , отримуємо  $P_{10} = \{ПБУ, ТБЭ, ТСЭ, ТПЭ\}$ .

Рухаючись у напрямку  $X \rightarrow Z_y$ , отримуємо  $P_{12} = \{ЛО, ЛЗ\}$ .

Рухаючись у напрямку  $Y \rightarrow Z_3$ , отримуємо  $P_{11} = \{ТСЭ\}$ .

Рухаючись у напрямку  $Y \rightarrow Z_y$ , отримуємо  $P_{13} = \{ЛО\}$ .

Другий напівтакт. Перетин множин.

Стан мережі на початку четвертого такту:

$$\begin{aligned} x_1 &\in \{Т\}; x_2 \in \{А\}; y_1 \in \{М\}; y_2 \in \{С\}; \\ z_1 &\in \{П, Т\}; z_2 \in \{Б, С, П\}; z_3 \in \{У, Э\}; \\ z_4 &\in \{И, Л\}; z_5 \in \{О, З\}; X \in \{8\}; Y \in \{5\}; \\ Z_3 &\in \{ТСЭ\}; Z_y \in \{ЛО\}. \end{aligned}$$

Четвертий такт.

Перший напівтакт.

Рухаючись у напрямку  $Z_3 \rightarrow z_1$ , отримуємо  $P_4 = \{Т\}$ .

Рухаючись у напрямку  $Z_3 \rightarrow z_2$ , отримуємо  $P_5 = \{С\}$ .

Рухаючись у напрямку  $Z_3 \rightarrow z_3$ , отримуємо  $P_6 = \{Э\}$ .

Рухаючись у напрямку  $Z_y \rightarrow z_4$ , отримуємо  $P_7 = \{Л\}$ .

Рухаючись у напрямку  $Z_y \rightarrow z_5$ , отримуємо  $P_7 = \{О\}$ .

Другий напівтакт. Перетин множин.

Стан мережі на початку п'ятого такту:

$$\begin{aligned} x_1 &\in \{Т\}; x_2 \in \{А\}; y_1 \in \{М\}; y_2 \in \{С\}; z_1 \in \{Т\}; \\ z_2 &\in \{С\}; z_3 \in \{Э\}; z_4 \in \{Л\}; z_5 \in \{О\}; X \in \{8\}; \\ Y &\in \{5\}; Z_3 \in \{ТСЭ\}; Z_y \in \{ЛО\}. \end{aligned}$$

Мережа відшукала однозначні значення всіх предметних змінних. У наступних тактах стан мережі вже не змінюється. Саме цей факт служить сигналом до припинення роботи мережі [5].

### 6. Програмна реалізація логічної мережі для дослідження її роботи

Було розроблено програмну реалізацію для дослідження роботи побудованої логічної мережі. Для її реалізації було обрано веб-середовище розробки – HTML5, CSS3, MySQL 5.1, PHP 5.5.

Для отримання результату роботи логічної мережі, необхідно користуватись наступною інструкцією: для введення відомих вхідних даних необхідно ввести як мінімум 2 значення; далі проводиться пошук у логічній мережі за тактами та виведення результату на основі проведеного пошуку.

Інтерфейс розробленої веб-сторінки представлений на рисунку 11. На формі веб-сторінки ми бачимо поля для введення даних. Необхідно заповнити щонайменш 2 поля для знаходження певного результату роботи логічної мережі. Користувачеві надається можливість вписати ті дані, які поступили, але згідно з областю зміни предметних змінних мережі. Для перевірки на згідність потрібно навести курсором на необхідне текстове поле, та за декілька секунд з'явиться інформація про поле. При введенні усіх необхідних даних натисніть «Найти решение».

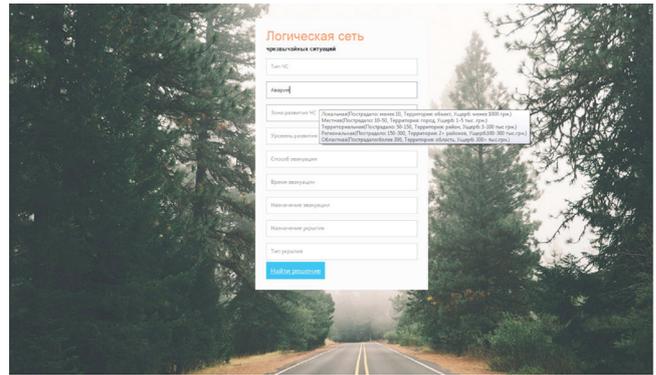


Рис. 11. Заповнення полів форми

Для правильного заповнення форми, після натиску «Найти решение», ми робимо запит до бази даних, в результаті якого відшукується необхідне рішення за введеними даними. На рисунку 12 зображено схему розробленої бази даних.

Після знаходження розв'язку на веб-сторінці з формою з'явиться вікно, у якому буде відображатись певний текст та змінні, які ми отримали під час пошуку у базі даних. Результат роботи програми можна побачити на рисунку 13.

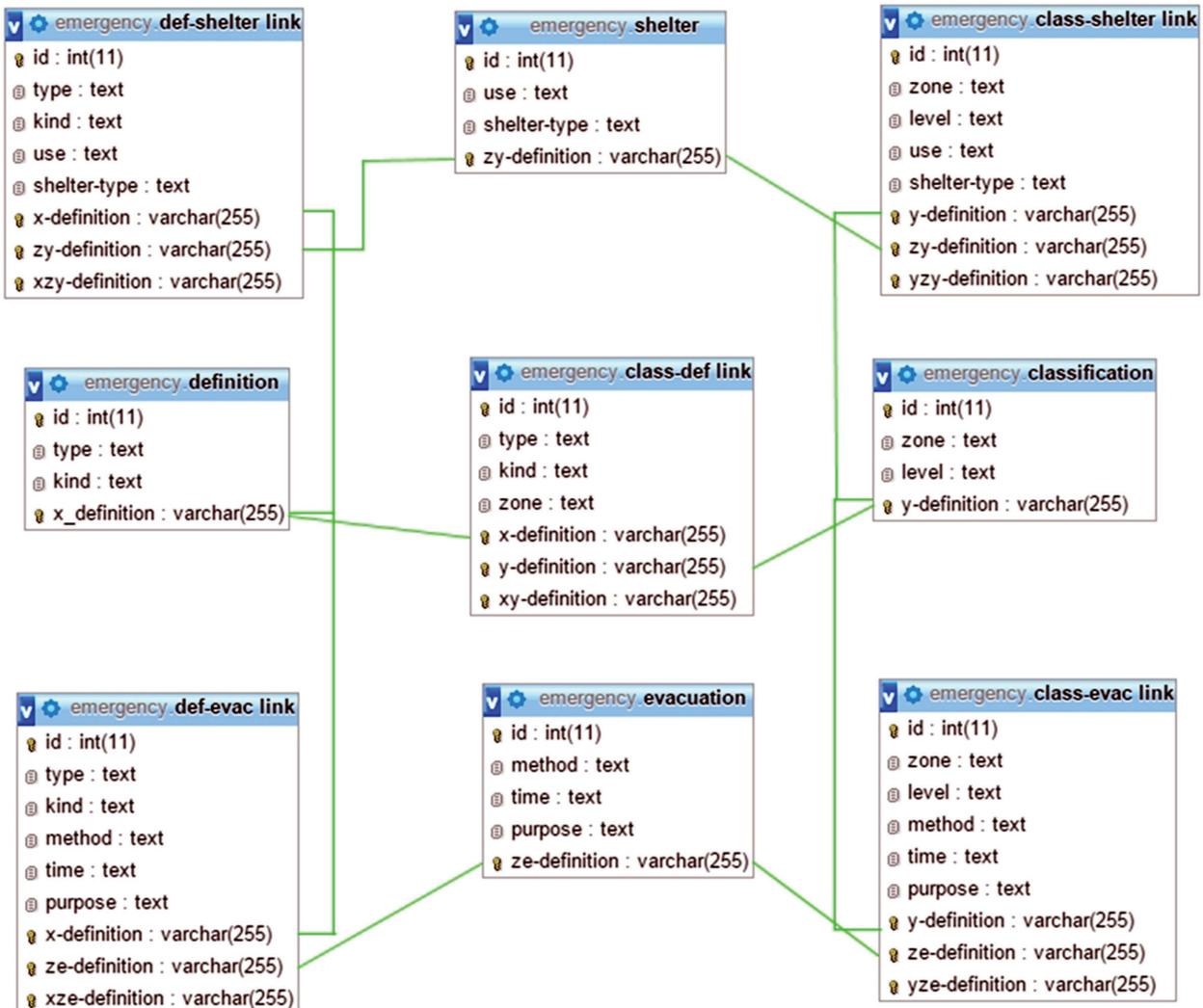


Рис. 12. Схема бази даних



УДК 681.513



О.Ф. Михаль

ХНУРЭ, г. Харьков, Украина, fuzzy16@pisem.net

## ПАРАДОКСЫ «НЕОЖИДАННОЙ КАЗНИ» И «САТАНИНСКОЙ БУТЫЛКИ СТИВЕНСОНА» В НЕЧЁТКО-ЛОГИЧЕСКОЙ ИНТЕРПРЕТАЦИИ

Логические парадоксы «неожиданной казни» и «бутылки Стивенсона», формализованные ранее средствами сетей Петри, интерпретированы в плане анализа особенностей формирования человеческой логики, с привлечением нечётко-логических представлений и фактора ограниченности объёма «оперативной памяти» человека.

ЛОГИЧЕСКИЕ ПАРАДОКСЫ, ПАРАДОКС НЕОЖИДАННОЙ КАЗНИ, ПАРАДОКС БУТЫЛКИ СТИВЕНСОНА, СЕТИ ПЕТРИ, НЕЧЁТКАЯ ЛОГИКА

### Введение

Ранее в [1, 2] были рассмотрены два логических парадокса: «парадокс неожиданной казни» (ПНК) (The Unexpected Hanging Paradox) [3] и «парадокс сатанинской бутылки Стивенсона» (ПСБС) (The Bottle Imp Paradox) [4]. Оба они имеют словесную «литературно-художественную» формулировку ситуаций, но как показано [1, 2], допускают алгоритмическую формализацию, в частности, средствами сетей Петри (СП) [5]. Кроме того, с привлечением СП, в [1, 2] продемонстрировано структурное совпадение моделей ПНК и ПСБС, указывающее на «логическое единообразие» парадоксальных ситуаций. Занимательная «литературная» форма представления ПНК и ПСБС маскирует их концептуальную значимость. Между тем, в ситуативном плане, парадоксы демонстрируют неоднозначные не очевидные по оценке события, исходы которых, при неправильном не квалифицированном реагировании, могут быть негативными, чреватые существенными потерями, в зависимости от конкретной прикладной области. В связи с этим, актуальность рассмотрения ПНК и ПСБС состоит в разработке формализованных ситуативных моделей, с перспективой использования их в дальнейшем в практике разработки экспертных систем (ЭС) и систем поддержки принятия решений (СППР), с направленностью на минимизацию негативного влияния человеческого фактора (ЧФ) в критических ситуациях и применительно к сложным системам.

Цель настоящего сообщения, частично реализованная ранее в [6], — интерпретация ПНК и ПСБС в плане анализа особенностей формирования человеческой логики реагирования на парадоксальные ситуации, с привлечением нечётко-логических представлений и фактора ограниченности объёма «оперативной памяти» человека.

### 1. Кратко о парадоксе неожиданной казни

Литературно-художественная (повествовательная, вербальная) формулировка парадокса — следующая. Судья вынес некоему преступнику смертный приговор, который должен быть приведён в исполнение в течение недели, с дополнительным условием: казнь должна быть неожидан-

ной, то есть преступник не должен знать день казни заранее, в противном случае он должен быть освобождён. Фактор неожиданности является существенным элементом приговора. По-видимому, он введён с целью дополнительного устрашения преступника. Однако, ПНК состоит в том, что этот же фактор позволяет изменить интерпретацию приговора. После оглашения приговора преступник сделал разъяснение, с учётом которого он должен быть отпущен немедленно. Смысл разъяснения следующий.

Сегодня понедельник (Пн), а недельный срок истекает в воскресенье (Вс). В Вс преступник казнён быть не может, так как если он дожил до субботы (Сб), значит он будет знать день казни заранее. Следовательно, Вс отпадает и крайний срок казни — Сб. Но тогда в Сб он тоже казнён быть не может, потому что в пятницу (Пт) будет знать заранее, что будет казнён в Сб. Аналогично, в Пт он казнён быть не может, потому что будет знать об этом в четверг (Чт) и так далее. Поэтому преступник по данному приговору вообще не может быть казнён, а должен быть (опять же, согласно приговору) немедленно освобождён.

Представленное разъяснение выглядит как хорошо структурированная последовательность утверждений с явным указанием причинно-следственных связей. Поэтому на первый взгляд представляется, что формально-математическая логика (ФМЛ) соблюдена. Но «в действительности — всё совсем не так, как на самом деле».

Если преступник дожил до Сб, то да, казнь по приговору в Вс ему не грозит. Но до Сб нужно сначала дожить. Все последующие рассуждения построены в предположении, что преступник сначала доживает до Сб, а потом шаг за шагом возвращается назад, в более раннее время (в Пт, в Чт и так далее), пока не попадает «в сегодня», где его, согласно формулировке, следует сразу освободить. Таким образом, получается, что, формально-логическое построение не учитывает (точнее, позволяет словесно завуалировать) направление хода времени. ФМЛ представляется как вневременная: рассмотрение событий «в отрицательном (инверсном) времени» ей не противоречит.

Рассмотрению ПНК посвящена определённая философская литература, обозреваемая в [7] и [8]. В указанной литературе, в некоторых из трактовок «неожиданность» события рассматривается «в психологическом плане», например так: «...преступник должен быть *уверен*, что его казнят...». Однако, «психологическая трактовка» ПНК совершенно не совместима с «юридической» формулировкой парадокса. В юриспруденции при оценке ситуации должны учитываться факты, а не домыслы. «Быть уверенным» значит «верить», а не «знать». Поэтому «неожиданность» юридически следует толковать как «отсутствие объективной информации», а не как «наличие субъективных предчувствий».

В связи с этим, в [2], с учётом моделирования на СП, предложена процедура с ежедневным получением приказа на проведение или откладывание казни. Применение данной процедуры не противоречит формулировке приговора. Приказ текущего дня находится в запечатанном конверте. Далее, допустим даже в присутствии *преступника*, конверт контролируется на целостность, что может быть признано в качестве достаточного условием *неожиданности* содержащейся в нём информации. Затем конверт регистрируется, затем вскрывается и приказ зачитывается. Поскольку конверты вскрываются всякий раз после того, как они регистрируются, процедура регистрации представляет (документирует) временные метки и исключает «прогулки в отрицательном времени». Таким образом, даже в Сб до вскрытия конверта преступник формально (а юриспруденция — наука формальная) находится в неведении относительно его содержания. И только после вскрытия конверта, если приказ предписывает не проводить казнь в Сб, преступник в праве утверждать, что знает день своей казни заранее — Вс, и поэтому должен быть освобождён [3].

## 2. Кратко о парадоксе сатанинской бутылки Стивенсона

В фантастическом рассказе Р.Л. Стивенсона (R.L. Stevenson, 1850-1894) *The Bottle Imp* [4] описан «магический артефакт», — бутылка с чёртиком внутри, — который on-line выполняет любые желания *текущего* владельца. Особенность (неудобство) ситуации состоит в том, что *текущий* владелец должен реализовать свои желания (получить желаемое) и затем успеть продать артефакт *новому* владельцу. Если *текущий* владелец оставляет артефакт при себе пожизненно, — он после смерти попадает в ад. Ещё одна особенность: артефакт должен быть продан *новому* владельцу по цене дешевле, чем *текущий* владелец купил его у *предыдущего* владельца. Как результат, в ходе всей этой «коммерческой деятельности» цена артефакта падает до наименьшего номинала валюты (например, до 1 копейки) и далее артефакт продан быть не может. *Таким образом, последний* владелец артефакта — автоматически (гарантированно) отправляется в ад, что крайне неприятно.

Парадоксальность ситуации ПСБС состоит в том, что если следовать ФМЛ, то артефакт, при всей его привлекательности, «в коммерческом плане» изначально является *неликвидным*. В самом деле. *Последний* владелец не сможет его продать. Следовательно, он не станет покупать его у *предпоследнего* владельца. Следовательно, и у *предпоследнего* владельца будут «сложности с реализацией». Следовательно, он не станет покупать его у *предпредпоследнего* владельца. И так далее. Поэтому и произвольный *текущий* владелец не сможет продать артефакт *новому* владельцу. Следовательно, и он не станет покупать его у *предыдущего* владельца.

Представленная логическая последовательность — формально убедительна (содержит ясно сформулированные причинно-следственные связи), но совершенно не реализуема в реальных человеческих представлениях. Как и в случае ПНК, логика мотивации к поступку (не приобретать артефакт) здесь идёт «в отрицательном времени», а реализация позитивных возможностей (исполнение желаний) — «в положительном времени». Между тем, логика работы реального мира, в отличие от ФМЛ, не реализуется в отрицательном времени. Имеет место однонаправленность и необратимость событий. В каждой текущей ситуации может быть реализовано несколько исходов, но после того как реализован конкретный исход (один из исходов) — остальные варианты снимаются с рассмотрения и доступа (возврата) к ним — нет. Поэтому всякий раз, в произвольный момент времени, уже имеется *текущий* владелец артефакта и налицо «уникальные потребительские качества» предлагаемого товара. Потенциальный *новый* владелец *волен* сделать свой выбор, но ему следует принимать во внимание уникальность ситуации: если он отвергнет предложение о приобретении, то нового шанса не будет, а своего шанса не упустит другой потенциальный *новый* владелец [4].

## 3. «Вечный двигатель» на основе парадокса бутылки Стивенсона

Рассмотрим попутно следующую «задачку по политэкономии». Имеется две граничащие между собой страны. Для определённости, пусть они называются Боливия и Парагвай. (Разумеется, ситуация гипотетическая, названия условные, а возможные совпадения — чистая случайность.) Страны в целом дружественные, но, в порядке поддержания общего валютно-финансового тонуса, проводят между собой лёгкие экономические войны (валютные разборки). Так, Главный банк Парагвая приравнял Боливийский доллар к 90 Парагвайским центам. В ответ на это Главный банк Боливии приравнял Парагвайский доллар к 90 Боливийским центам. Мальчик живёт на границе между Боливией и Парагваем. Местность малолюдная, пограничного контроля, как такового, нет, поэтому у мальчика свободный «безвизовый режим». Он идёт в Боливийскую деревню, пьёт там кружку

пива стоимостью 10 центов, платит Боливийский доллар, получает в качестве сдачи Парагвайский. Потом он идёт в Парагвайскую деревню, пьёт там кружку пива стоимостью 10 центов, платит Парагвайский доллар, получает в качестве сдачи Боливийский. Результат: «потреблены» две кружки пива, а личное финансовое положение мальчика – тождественно исходному. В «задачке» спрашивается: кто реально заплатил за пиво?

Ситуация выглядит парадоксально. Ответ тоже парадоксальный, хотя и очевидный: за Парагвайское пиво платит Боливия, а за Боливийское – Парагвай. На то оно и экономические войны (разборки). Но «задачка» приведена – совершенно по другому поводу. Рассмотренный выше ПСБС в условиях представленного гипотетического Боливийско-Парагвайского финансово-экономического противостояния позволяет превратить артефакт Стивенсона в «вечный двигатель». *Текущий* владелец артефакта имеет все возможности разбогатеть на столько, чтобы выдвинуть своих платных «агентов влияния» в финансовые верхушки Главных банков Боливии и Парагвая с целью неопределённо длительного поддержания описанного «единоборства валют». Механизмом поддержания может явиться, в частности, сбалансированное поочерёдное подпитывание активов каждого из Главных банков с помощью того же артефакта. А далее – артефакт можно неограниченно многократно перепродавать в узком кругу посвящённых лиц, чередуя конкурирующие валюты, и тем «посрамить дьявола» и «навечно поработить» чёртика в бутылке.

К сожалению, в силу упомянутой выше необратимости времени, у Автора отсутствует возможность лично встретиться с уже покойным Р.Л. Стивенсоном (1850-1894) и предложить ему изложенный сюжет в качестве фабулы в продолжение рассказа [4]. Но, как знать, с учётом возможной в меру критической оценки реально происходящего «в нашем беспокойном мире», не столь уж лишённым смысла может выглядеть предположение, что подобный процесс (только, возможно, без самого артефакта) и реализуется на протяжении веков реальной человеческой истории.

#### 4. Нечётко-логическая интерпретация

Предыдущий раздел («Вечный двигатель...») был совершенно «не логичным» с точки зрения общей темы и последующего изложения. В нём не содержится чего-либо нового по логике самого ПСБС. Просто, Автор оказался на столько увлечённым сюжетом (ничего удивительного, это ведь Стивенсон...), что почувствовал себя «вовлечённым» в сам сюжет и стал по существу придумывать варианты развития ситуации для героя повествования.

Феномен «вовлекаемости в сюжет» является типичным проявлением ЧФ. Антропоморфностью, (т. е. «человечностью») определяется

привлекательность (необычность) ситуации и восприятие её как парадокса. В формализованном («подсушенном», отвлечённом) варианте, формулировки ПНК и ПСБС могут выглядеть не столь примечательными. В самом деле, в случае ПСБС формально происходит следующее.

Объект А имеет свойство – *показатель ликвидности* (ПЛ), убывающий, принимая ряд дискретных целочисленных значений в интервале  $(\dots, N_i, \dots, 0)$ :

$$\dots, N_{(i-1)}, N_i, N_{(i+1)}, \dots; \dots > N_{(i-1)} > N_i > N_{(i+1)} > \dots$$

Изменение значения ПЛ происходит при смене владельца. Объект А перешёл в пользование субъекту  $V_i$  – *текущему* владельцу – от субъекта  $V_{(i-1)}$  – *предыдущего* владельца. Далее он возможно перейдёт от субъекта  $V_i$  к субъекту  $V_{(i+1)}$  – *новому* владельцу. При этом ПЛ всякий раз убывает. Субъект  $V_i$  – *текущий* владелец объекта А – получает очень большой положительный эффект от объекта А в течение времени  $T_i$ . По истечении этого срока объект А наносит субъекту  $V_i$  ущерб, *существенно* превышающий положительный эффект. Единственный способ избежать ущерба – передать объект А *новому* владельцу ещё до завершения срока  $T_i$ . Но для этого ПЛ должен быть больше 0. В противном случае – ущерб неизбежен.

Легко видеть, что в подобном формализованном описании всякий ореол парадоксальности пропадает. Ситуация выглядит обыденно (до банальности), например, для фондовой биржи. А так же описанный выше «вечный двигатель» напоминает обычную биржевую игру на повышение или понижение ставок. То есть, интерпретация парадокса во многом (в основном, в главном) определяется ЧФ.

«Очень желательное» событие и «очень нежелательный» исход (см. выше) – типичные *нечёткие понятия*, «оцифровка» которых (уточнение с введением числовых значений) может быть реализована с привлечением представлений нечёткой логики Лотфи Заде [9]. Этим определяется возможность (правомочность, допустимость) нечётко-логической интерпретации рассматриваемых парадоксов.

#### 5. Нечётко-логическая интерпретация парадокса бутылки Стивенсона

Как следует из описания [4], подробности «коммерческой деятельности», связанной с куплей-продажей артефакта, относятся к категории «коммерческой тайны». Сам факт существования артефакта в каждый текущий момент времени известен лишь узкому кругу лиц: *текущему* владельцу и, возможно, одному или нескольким *предшествующим*. Каждый *текущий* владелец передаёт *следующему* лишь краткий фрагмент «коммерческой истории» артефакта, потому что полной истории он и сам достоверно не знает. Поэтому идея «вечного двигателя», судя по описанию [4], никому в голову не приходила, и каждый *текущий* владелец

(«менеджер») заново (с нуля) самостоятельно оценивает свои личные возможности и перспективы реализации артефакта. Данное оценивание может быть реконструировано в рамках нечёткой логики [9] в виде лингвистической переменной (ЛГП) «Перспективы реализации», имеющей, например, 5 термов:

- «Запросто, вообще нет никаких сложностей»;
- «Особых сложностей не предвидится»;
- «Достаточно хлопотно, но есть уверенность»;
- «Сложно, но выполнимо»;
- «Очень сложно, практически не выполнимо»;

с использованием которой «менеджер» принимает «коммерческое решение». Профили функций принадлежности (ФП) этих термов *текущий* или *следующий* владелец артефакта (или оба вместе) выстраивают применительно к текущему состоянию ПЛ и пониманию своих намерений и возможностей. Скорее всего каждый из владельцев выстроит свои собственные профили ФП, исходя из текущего для него ПЛ; возможно подгоняя ситуацию под конечный результат – оптимистический тезис, типа «... проблемы с реализацией в дальнейшем будут, но ещё не у меня. Я – ещё как-нибудь выкручусь...».

Помимо ЛГП, требуется так же набор *решающих правил* (РП), которыми будет определяться принятие решений. И дело здесь не просто в выборе между известными альтернативами:

- если нельзя, но очень хочется, то можно,
- если нельзя, но очень хочется, то всё равно нельзя.

РП – есть дело многофакторное и сугубо индивидуальное, поскольку психологические установки отдельных индивидов различаются по широкому спектру параметрам. В частности, человек мнительный или получивший в своё время религиозное воспитание, вряд ли станет «связываться с чертовщиной», а человек с авантюрным складом ума, возможно, готов будет рискнуть. В [4] (на то оно и художественное произведение) представлена достаточно богатая разработка мотиваций по процедурам формирования ЛГП и РП для нескольких человеческих типов. Свою личную позицию Автор, как психологический тип, предположительно высказал, предложив концепцию «вечного двигателя» (см. выше).

Далее, имея выстроенные профили ФП термов ЛГП и сформулированный набор РП, становится реализуемым экспертное оценивание ситуации и принятие решения, например в рамках парадигмы нечёткого управления Мамдани-Заде.

## 6. Нечётко-логическая интерпретация парадокса неожиданной казни

Вернёмся к ПНК. Парадоксальности ПНК можно дать следующее *предположительное* объяснение. Как отмечалось выше, применение ФМЛ позволяет словесно завуалировать направление

хода времени. В самом деле, имеется следующая цепочка умозаключений:

(...в предположении, что *преступник* дожил до Сб...)  $\Rightarrow$  {...в Сб он точно знает что будет казнён в Вс...}  $\Rightarrow$  (...поэтому его не казнят в Вс...)  $\Rightarrow$  (...поэтому крайний день казни – Сб...)  $\Rightarrow$  (...однако, с Сб преступник тоже не может быть казнён, потому что...)  $\Rightarrow$  {...в Пт он точно знает что будет казнён в Сб...}  $\Rightarrow$  (...поэтому он не может быть казнён в Сб...)  $\Rightarrow$  (...поэтому крайний возможный день казни – Пт...)  $\Rightarrow$  (...однако, с Пт преступник тоже не может быть казнён, потому что...)  $\Rightarrow$  {...} (1)

Легко видеть, что блок, помещённый в (1) в фигурные скобки, *итеративно* повторяется требуемое число раз с соответствующей сменой обозначений дней недели. Если заменить *итерацию* на соответствующую *рекурсию*, конструкция с фигурными скобками будет вложена сама в себя соответствующее число раз и выражение в целом станет ещё менее обозримым:

*Преступник* должен быть отпущен  $\Leftarrow$  он не может быть казнён в Пн  $\Leftarrow$  {(преступник дожил до Пн  $\Rightarrow$  он не может быть казнён во Вт)  $\Leftarrow$  {(преступник дожил до Вт  $\Rightarrow$  он не может быть казнён во Ср)  $\Leftarrow$  {(преступник дожил до Ср  $\Rightarrow$  он не может быть казнён во Чт)  $\Leftarrow$  {(преступник дожил до Чт  $\Rightarrow$  он не может быть казнён в Пт)  $\Leftarrow$  {(преступник дожил до Пт  $\Rightarrow$  он не может быть казнён во Сб)  $\Leftarrow$  {(преступник дожил до Сб  $\Rightarrow$  он не может быть казнён в Вс)  $\Leftarrow$  {(Вс – последний день реализации приговора)}}}}}} (2)

В (1) представлен фрагмент полной структуры логического вывода (только две группы в фигурных скобках), в (2) – вся структура целиком. Сокращение объёма (компактность представления) достигнуто тем, что символами  $\Leftarrow$  и  $\Rightarrow$  заменены излишние словесные обороты. Но обозримости это не добавило, поскольку появилась вложенность фигурных скобок.

Попутно, в (2) стала наглядно видна разнонаправленность логических заключений во времени. Логические выводы в положительном времени (направленные из прошлого в будущее) обозначены  $\Rightarrow$ ; логические выводы в отрицательном времени (направленные из будущего в прошлое) оказались обозначенными  $\Leftarrow$ . А поскольку причинно-следственная связь предполагает, что причина должна предшествовать следствию, то следует принять, что логические выводы в отрицательном времени правомочны только при наличии достаточно надёжно работающей «машины времени».

Но главное здесь не сам факт цикличности или рекурсивности, а то, что цепочка рассуждений, чтобы быть оценённой (воспринятой и логически осмысленной) человеком (в данном случае судьёй) как единое целое, должна помещаться в его «оперативной памяти» целиком. Между тем известно (исследовано, проверено экспериментально) [10] «магическое число»  $7 \pm 2$  – объём человеческой «оперативной памяти». Смысл этого числа в том, что количество понятий или объектов (физических или виртуальных), которыми может реально и до-

статочно устойчиво (надёжно и продолжительно) оперировать или физически манипулировать человеком, — не слишком велико. Оно составляет от 5 до 9 объектов, у разных особей, в зависимости от индивидуального уровня развития. В связи с этим, последовательность умозаключений типа (1) или (2) просто не помещается вся в «оперативную память». Она помещается туда «по частям», а каждая часть — выглядит «как бы вполне логично».

Поэтому далее — ситуация оказывается аналогичной ПСБС: сводится к некоторой ЛгП «Перспективы оценки ситуации», с терминами:

- «Совершенно правильно»;
- «Похоже что правильно»;
- «Неопределённость. Не понятно, правильно или не правильно»;
- «Вызывает определённые сомнения»;
- «Совершенно не верно»;

руководствуясь которой (а не полной формальной корректностью логического описания ситуации *в целом*), судья принимает решение.

### 7. Реконструкция нечётко-логической обработки

Далее — парадоксы ПСБС и ПНК интерпретируются единообразно. Помимо представленных выше «целевых» ЛгП, характеризующих предметную область, могут быть реконструированы ещё и различные «индивидуально-личностные» ЛгП. Так, в случае ПСБС, это могут быть ЛгП, характеризующие озабоченность «менеджера» о собственном возрасте или здоровье, сложности его текущего финансового положения, а так же, как отмечалось, религиозные чувства и представления. В случае ПНК (т.е. для судьи) это могут быть «спешка и загруженность текущими судебными делами», текущие «социально-политические соображения», или «намерение идти обедать». В обоих вариантах единообразно (но строго индивидуально, в соответствии с системами термов ЛгП) строятся, как отмечалось, системы *решающих правил* (РП). Далее — при наличии профилей термов ЛгП и систем РП, — строятся нечёткие системы управления [6], которые и являются теми ЭС или СППР, средствами которых (с применением которых) реализуются приняты соответствующих решений.

Следует особо отметить *универсальность* подобной процедуры. В ней нет элементов, уникальных или логически-специфичных для конкретной предметной ситуации. В частности, судья из ПНК, поставленный в ситуацию выбора из ПСБС, скорее всего благополучно справился бы с задачей. Как показано выше, предметно-специфичной является лишь *одна* из нескольких (многих) ЛгП. Причём в этой ЛгП рассматриваются в действительности не предметно-специфические характеристики объекта управления, а «мера доверия» или «человеческое суждение» об этих предметно-специфических характеристиках. Таким образом, ЧФ оказывается способен «успешно справиться» с ситуацией принятия решения (принять *какое-либо*

решение) в «мало изученных» «слабо обусловленных» и даже «парадоксальных» предметных области, типа ПСБС и ПНК.

Другой вопрос, в какой степени это решение может оказаться правильным (целесообразным) в более широком контексте, не охватываемом ЧФ. В этом смысле — никакой уверенности в получении «глобальной пользы» быть не может.

### 8. Обсуждение

НЛ сильна и полезна в типовых ситуациях, где применим коллективный опыт, на основе которого могут быть сформулированы экспертные знания. ФП — ключевое понятие НЛ — строится на основе и является выражением группового коллективного экспертного знания (мнения) по рассматриваемому вопросу. Само представление знания (мнения) с использованием аппарата ФП есть изображение меры схождения или расхождения группы экспертов во взглядах по рассматриваемому вопросу. Поэтому НЛ слаба и может быть даже бесполезна в случаях уникальных (единичных, «штучных», где ещё не накоплен коллективный человеческий опыт), либо в случаях, когда число доступных экспертов (специалистов в данной области) не слишком велико. В пределе — это могут быть отдельные индивиды, как в рассмотренных ПСБС и ПНК, когда существенным становится влияние индивидуального ЧФ.

Таким образом, вопрос состоит в необходимости наработки формализованных ситуативных моделей, которые в прикладных ситуациях могут быть правильно идентифицированы применительно к конкретным условиям (данным) и применены в практике разработки и использования соответствующих прикладных ЭС и СППР. Общая направленность использования таких систем — минимизация негативного влияния ЧФ в ключевых или критических ситуациях. Полагается, что человек — оператор воспользуется этими системами, и таким образом его индивидуальные НЛ построения, на основе которых он будет принимать окончательное ответственное решения, будут базироваться не исключительно на его индивидуальном опыте, но и на наработках ситуативных моделей.

### Выводы

Представленная НЛ интерпретация работы ПСБС и ПНК, интересна тем, что позволяет наблюдать, каким образом формируются типовые решения в парадоксальных ситуациях в условиях наличия ЧФ. Таким образом, применительно к подобным ситуациям, соответствующие НЛ представления могут быть реконструированы и учтены при разработке и в составе соответствующих ЭС, используемых при выработке и принятии ответственных решений.

**Список литературы:** 1. Михаль О.Ф. Демонстрация парадоксов «неожиданной казни» и «бутылки Стивенсона» на сетях Петри // Информатика, математическое мо-

делирование, экономика: Сборник научных статей по итогам Четвёртой Международной научно-практической конференции, г. Смоленск, 23-25 апреля 2014 г. в 2-х томах. Том 1 – Смоленск: Смоленский филиал Российского университета кооперации, 2014. – с. 137-146. 2. *Михаль О.Ф.* Моделирование парадоксов логического мышления на сетях Петри // Бионика интеллекта : науч.-техн. журн. – Х.: Изд-во ХНУРЭ, 2014. – Вып. 2 (83). – С. 34-45. 3. *Гарднер М.* Математический досуг. М.: «Мир», 1972, С.95-109. 4. *Стивенсон Р.Л.* Сатанинская бутылка. / Собрание сочинений в 5 томах, т.1, М.: Изд. «Правда», С. 461-493. 5. *Котов В.Е.* Сети Петри. – М.: Наука, 1984. – 160 с. 6. *Михаль О.Ф.* Нечётко-логическая интерпретация парадоксов неожиданной казни и бутылки Стивенсона // Информатика, математическое моделирование, экономика: Сборник научных статей по итогам Пятой Международной научно-практической конференции, г. Смоленск, 11-15 мая 2015 г. в 2-х томах. Том 1 – Смоленск: Смоленский филиал Российского университета кооперации, 2015. – С. 88-94. 7. [https://ru.wikipedia.org/wiki/Парадокс\\_неожиданной\\_казни](https://ru.wikipedia.org/wiki/Парадокс_неожиданной_казни) 8. [https://en.wikipedia.org/wiki/Unexpected\\_hanging\\_paradox](https://en.wikipedia.org/wiki/Unexpected_hanging_paradox) 9. *Кофман А.* Введение теорию нечётких множеств. – М.: «Радио и связь», 1982. – 432 с. 10. *George A. Miller.* The Magical Number Seven, Plus or Minus Two. // The Psychological Review, 1956, vol. 63, pp. 81-97. (<http://psychclassics.yorku.ca/Miller/>).

*Поступила в редколлегию 12.05.2015*

УДК 681.513

**Парадокси «неочікуваної страти» та «пляшки Стивенса» в нечітко-логічній інтерпретації** / О.П. Міхаль // Біоніка інтелекту: наук.-техн. журнал. – 2015. – № 2 (85). – С. 52–57.

Логічні парадокси «неочікуваної страти» та «пляшки Стивенса», що були формалізовані раніше засобами мереж Петрі, інтерпретовані в плані аналізу особливостей формування людської логіки з привнесенням нечітко-логічних уявлень та фактору обмеження обсягу оперативної пам'яті людини.

Бібліогр.: 8 найм.

UDK 681.513

**Interpretation of “The Unexpected Hanging” and “The Bottle Imp” paradoxes, based on fuzzy logics.** / O.Ph. Mikhal // Bionics of Intelligence: Sci. Mag. – 2015. – № 2 (85). – P. 52–57.

“The Unexpected Hanging” and “The Bottle Imp” logical paradoxes, formalized earlier using Petri networks, are interpreted in plan of the analysis of forming of the human logic, using fuzzy logical presentations and factor to insufficiency of the volume of RAM of person.

Ref.: 8 items.



Г.Г. Асеев

Харьковская академия культуры, г. Харьков, Украина  
gaseyev@ic.ac.kharkov.ua

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДА МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ В ЭЛЕКТРОННОМ ДОКУМЕНТООБОРОТЕ, ОСНОВАННОГО НА ЛОКАЛЬНОЙ ГЕОМЕТРИИ МНОЖЕСТВА ПАРЕТО

Описан метод решения гладких нелинейных задач многокритериальной оптимизации с ограничениями, в электронном документообороте, позволяющий находить как одну Парето-оптимальную точку, так и восстанавливать весь Парето-фронт. Метод основан на расширении алгоритмов одномерного поиска (метод наискорейшего спуска, метод Ньютона) на многокритериальный случай для нахождения одного оптимального решения и идеях метода продолжения (решения системы нелинейных уравнений) для нахождения критической точки.

ЭЛЕКТРОННЫЙ ДОКУМЕНТООБОРОТ, ОПТИМИЗАЦИЯ, ПАРЕТО-МНОЖЕСТВО, ЦЕЛЕВАЯ ФУНКЦИЯ, МНОГОКРИТЕРИАЛЬНАЯ ЗАДАЧА, МЕТОД НАИСКОРЕЙШЕГО СПУСКА, МЕТОД НЬЮТОНА

### Введение

Электронный документооборот описывает все бизнес-процессы ERP-систем<sup>1</sup> [1]. В описании модели данных бизнес-процессов стратегии производства и операций возникают различные оптимизационные задачи: экономисты минимизируют издержки и максимизируют прибыль; производственники оптимизируют рабочие процессы для того, чтобы добиться максимального выпуска продукции при минимальном браке, минимальных расходах энергоресурсов и комплектующих и пр. Помимо этого, в задаче часто присутствуют ограничения: процент брака не должен превышать определенной величины, выпускаемая продукция должна обладать заданным запасом прочности и заданным качеством и т.д. Таким образом, возникают задачи многокритериальной оптимизации.

Сформулируем теперь задачу оптимизации в общем виде и введем обозначения:

$$\min_{x \in R^n} \vec{f}(\vec{x}) \text{ при ограничениях } \vec{g}(\vec{x}) \leq 0, \quad (1)$$

где  $\vec{x} = (x_1, \dots, x_n)$  – вектор переменных (параметров);  $\vec{f} = (f_1, \dots, f_k)$  – векторнозначная целевая функция;  $\vec{g} = (g_1, \dots, g_m)$  – векторнозначная функция ограничений. Точка  $\vec{x}$ , удовлетворяющая всем ограничениям, называется *допустимой*. Множество всех допустимых точек обозначим  $\vec{\Omega} = \{ \vec{x} | \vec{g}(\vec{x}) \leq 0 \}$ . Если  $\vec{f}$  состоит из одной компоненты (скалярная функция), оптимизация называется *однокритериальной*, иначе – *многокритериальной*. Используя введенные

выше обозначения, перепишем (1). Для однокритериальной оптимизации

$$f(\vec{x}) \rightarrow \min, \vec{x} \in \Omega, \quad (2)$$

для многокритериальной оптимизации

$$(f_1(\vec{x}), \dots, f_k(\vec{x})) \rightarrow \min, \vec{x} \in \Omega. \quad (3)$$

Для многокритериального случая важными являются понятия Парето-доминирования и Парето-оптимальности. Рассмотрим их несколько подробнее.

*Парето-оптимальность*. Основная идея Парето-оптимальности: мы не можем улучшить наше решение по одному из показателей, не ухудшив при этом по другому.

Пусть  $\vec{a} = (a_1, \dots, a_n)$ ,  $\vec{b} = (b_1, \dots, b_n) \in R^n$ .

**Определение 1.**  $\vec{a}$  доминирует  $\vec{b}$  ( $\vec{a} \succ \vec{b}$ ), если  $a_i \leq b_i$  для всех  $i$  от 1 до  $n$  и  $a_i < b_i$  по крайней мере для одного из  $i \in \{1, \dots, n\}$ . Иначе, считаем, что  $\vec{a}$  не доминирует  $\vec{b}$  ( $\vec{a} \not\succeq \vec{b}$ ).

Если  $(\vec{a} \not\succeq \vec{b})$  и  $(\vec{b} \not\succeq \vec{a})$ , то  $\vec{a}$  не сравнимо с  $\vec{b}$  ( $\vec{a} \not\prec \vec{b}$ ).

В дальнейшем, если говорится об отношениях доминирования между двумя множествами векторов из пространства параметров, то под этим понимаются соотношения для их образов в пространстве целевых функций.

Оптимизационные алгоритмы итеративны. Стартуя с некоторого начального приближения, алгоритм генерирует последовательность точек до тех пор, пока не будет выполнено условие остановки. Таким образом, в процессе оптимизации целевые функции и ограничения вычисляются на конечном множестве точек. При этом, множество Парето-оптимальных решений в общем случае содержит бесконечное количество точек. Соответственно, на практике задача многокритериальной оптимизации переформулируется так, чтобы ее можно было решить с помощью итеративного алгоритма.

<sup>1</sup> ERP (англ. Enterprise Resource Planning) — планирование ресурсов предприятия, организационная стратегия интеграции производства и операций, управления трудовыми ресурсами, финансового менеджмента и управления активами, ориентированная на непрерывную балансировку и оптимизацию ресурсов предприятия посредством специализированного интегрированного пакета прикладного программного обеспечения, обеспечивающего общую модель данных и процессов для всех сфер деятельности.

Решением задачи многокритериальной оптимизации является Парето-множество  $S \subset \Omega$  всех Парето-оптимальных допустимых точек, т.е. таких, которые не доминируются никакими другими допустимыми точками. Парето-множеству  $S$  соответствует Парето-фронт  $P = f(S)$  (образ Парето-множества в пространстве целевых функций).

Таким образом, в отличие от однокритериальной задачи, ответом является не одна точка, а множество точек. В Парето-множестве точки не сравнимы между собой, т.е. все решения задачи равноценны.

### 1. Постановка задачи

Описанная здесь краткая методика решения задачи многокритериальной оптимизации не использует веса для целевых функций, замену целевых функций ограничениями и другие способы скаляризации. Предварительно необходимо обосновать расширение алгоритмов одномерного поиска (метод наискорейшего спуска, метод Ньютона) на многокритериальный случай для нахождения одного оптимального решения. Исходя из этого рассмотрения, надо использовать идеи метода продолжения [2] (решения системы нелинейных уравнений) для нахождения критической точки и предложить основы алгоритма, использующего веса для целевых функций.

### 2. Поиск Парето-оптимального решения

#### 2.1. Однокритериальная задача

Рассмотрим задачу однокритериальной оптимизации. Требуется найти минимум функции  $f(x)$ . Начиная с заданной точки  $x_0$ , будем генерировать последовательность точек  $x_{k+1}(x_k)$  таких, что  $f(x_{k+1}) < f(x_k)$ .

Пусть  $x_{k+1} = x_k + \alpha v$ , где  $v$  — единичный вектор направления, а  $\alpha$  — длина шага. Вычислим  $v$ . Из теоремы Тейлора следует:

$$f(x_k + \alpha v) = f(x_k) + \alpha v^T \nabla f(x_k) + o(|v|). \quad (4)$$

То, насколько изменится  $f$  вдоль направления  $v$ , зависит от произведения  $v^T \nabla f(x_k)$ . Получаем следующую задачу:

$$\min_p v^T \nabla f(x_k) \quad (5)$$

при условии  $|v| = 1$ .

Поскольку

$$v^T \nabla f(x_k) = |v| |\nabla f(x_k)| \cos \theta = |\nabla f(x_k)| \cos \theta,$$

то минимум (5) достигается при  $\theta = \pi$  и  $\cos \theta = -1$ . Таким образом, получаем:

$$v = - \frac{\nabla f_k}{|\nabla f_k|} \quad (6)$$

— направление наискорейшего спуска.

Вообще, любое направление, отличающееся от  $-\nabla f_k$  меньше, чем на  $\pi/2$  является направлением спуска, т.е. приводит к уменьшению  $f$  при достаточно малых  $\alpha$ . При  $\nabla f_k = 0$  такого направления не существует,  $x_k$  является минимумом функции  $f$ .

Необходимое условие локального экстремума функции  $f$ : если  $x_k$  — локальный экстремум, то  $f(x_k) = 0$ . Теперь рассмотрим эти же вопросы для многокритериальных задач.

### 2.2. Многокритериальная задача с ограничениями

**Определение 2.** Ограничение  $g_i(x)$  в точке  $x^*$  называется активным, если  $g_i(x^*) = 0$ . Множество всех активных ограничений  $\{i \in 1, \dots, k \mid g_i(x^*) = 0\}$  обозначим  $A(x^*)$ .

Сформулируем следующую теорему (необходимое условие Парето-оптимальности Каруша–Куна–Такера) [3]:

**Теорема 1.** Пусть выполнено условие: множество векторов  $\{\nabla g_i(x^*) \mid i \in A(x^*)\}$  линейно независимо. Если точка  $x^*$  является (локально) Парето-оптимальной для задачи (1), то существуют вектора  $\lambda \in R^k$  и  $\mu \in R^m$  такие, что:

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^k \lambda_i \nabla f_i(x^*) + \sum_{j=1}^m \mu_j \nabla g_j(x^*) &= 0, \\ \mu_j g_j(x^*) &= 0, \quad j=1, \dots, m, \\ \lambda &\geq 0, \quad \lambda \neq 0, \quad \mu \geq 0. \end{aligned} \quad (7)$$

В ряде случаев удобно использовать формулировку необходимого условия для задачи (3), которая зависит только от геометрии множества допустимых значений  $\Omega$ , а не от конкретного ее алгебраического описания с помощью функции  $g(x)$ . Для этого нужно ввести понятия касательного вектора и касательного конуса.

**Определение 3.** Вектор  $v \in R^n$  называется касательным вектором к  $\Omega$  в  $t, x \in \Omega$ , если для всех векторных последовательностей  $\{x_i\} : x_i \rightarrow x, x_i \in \Omega$  и для всех положительных скалярных последовательностей  $t_i \rightarrow 0$  существует последовательность  $v_i \rightarrow v$  такая, что  $x_i + t_i v_i \in \Omega \forall i$ .

**Определение 4.** Касательный конус  $T_\Omega(x)$  — множество всех касательных векторов к  $\Omega$  в  $t, x$ .

**Теорема 2.** Если точка  $x^*$  является (локально) Парето-оптимальной для задачи (3), то система:

$$(\nabla f_i(x^*))^T v < 0, \quad i=1, \dots, k, \quad v \in T_\Omega(x). \quad (8)$$

**Определение 5.** Точка, в которой выполнены необходимые условия (локальной) Парето-оптимальности (4) или (5) называется критической.

### 2.3. Многокритериальная задача без ограничений

Смысл приведенных выше теорем проще всего пояснить на задачах без ограничений.

При  $m = 0$  теорема 1 утверждает, что в Парето-оптимальной точке нулевой вектор может быть записан в виде линейной комбинации градиентов компонент целевой функции с положительными коэффициентами.

Для задачи без ограничений теорема 2 переформулируется следующим образом.

$$Im(M)(\nabla f(x^*)) \cap (-R_{++})^k = 0, \quad (9)$$

где  $Im(M)$  — образ линейного отображения  $M$ ;  $\nabla f(x^*)$  — матрица Якоби функции  $f(x^*)$ :  $(\nabla f(x^*))_{i,j} = \frac{\partial f_i}{\partial x_j}(x^*)$ ;  $R_{++}$  — множество положительных вещественных чисел.

Таким образом, если точка  $x^*$  не является Парето-оптимальной, значит, существует вектор  $v \in R^n$  такой, что

$$\nabla f(x^*)v \in (-R_{++})^k \quad (10)$$

— направление спуска. Вдоль этого вектора функция  $f(x)$  будет уменьшаться по всем своим компонентам (при достаточно малом положительном шаге).

### 3. Метод наискорейшего спуска

Возникает вопрос: какое из возможных направлений спуска выбрать? Очевидно, мы хотим максимально уменьшить целевую функцию по всем компонентам. Рассмотрим пока задачу без ограничений. Введем функцию  $h: R^n \rightarrow R^k$  [4]:

$$h_x(v) := \max \{ (\nabla f(x^*)v)_i \mid i=1, \dots, k \}. \quad (11)$$

Рассмотрим следующую задачу:

$$\min h_x(v), |v|_\infty \leq 1. \quad (12)$$

Вместо  $|v|_\infty$  нормы можно использовать и другие, но ограничение в таком виде приводит к наиболее простой формулировке задачи. Переформулировав (12), получаем задачу линейной оптимизации, решив которую, можно найти оптимальное направление спуска:

$$\min t, (\nabla f_i(x^*))^T v \leq t, \quad i=1, \dots, k, \quad |v|_\infty \leq 1. \quad (13)$$

Можно доказать, что итеративный алгоритм  $x_{k+1} = x_k + \alpha v$ , использующий данное направление спуска, при некоторых условиях, накладываемых на выбор длины шага  $\alpha$ , сходится к критической точке [4].

При  $k = 1$  (однокритериальная оптимизация) получаем  $v = -\nabla f_k / |\nabla f_k|$ , т.е. данный алгоритм является расширением метода наискорейшего спуска на многокритериальный случай. В однокритериальном случае алгоритм останавливается, если норма градиента достаточно мала. Но это условие остановки не подходит для многокритериальных задач, т.к. градиенты в них не обращаются в ноль в критической точке. Однако, в качестве критерия можно использовать величину  $t$  решения задачи (13), т.к. обращение ее в ноль означает, что алгоритм сошелся в критическую точку.

Теперь рассмотрим задачу с ограничениями. Воспользуемся следующей теоремой [5].

**Теорема 3.** *Рассмотрим множество*

$$C(x^*) := \left\{ v \in R_n \mid (\nabla g_i(x^*))^T v \leq 0, i \in A(x^*) \right\}.$$

*Если вектора  $\{ \nabla g_i(x^*) \mid i \in A(x^*) \}$  линейно независимы, то*

$$C(x^*) = T_\Omega(x^*).$$

Таким образом, из (8) получаем: для того, чтобы точка  $x^*$  была Парето-оптимальной, необходимо, чтобы следующая система не имела решений:

$$\begin{aligned} (\nabla f_i(x^*))^T v < 0, \quad i=1, \dots, k, \\ (\nabla g_j(x^*))^T v \leq 0, \quad j \in A(x^*). \end{aligned} \quad (14)$$

Вместо задачи (13), соответственно, получаем [4]:

$$\min t,$$

при ограничениях

$$\begin{aligned} (\nabla f_i(x^*))^T v \leq t, \quad i=1, \dots, k, \\ (\nabla g_j(x^*))^T v \leq t, \quad j \in A(x^*), \\ |v|_\infty \leq 1. \end{aligned} \quad (15)$$

### 4. Метод Ньютона

Главный недостаток методов первого порядка (таких, как метод наискорейшего спуска) заключается в их линейной сходимости к оптимальной точке. Обратим также внимание на то, что решение задачи (15) не дает никакой оценки длины шага, т.к.  $|v|_\infty$  всегда равно 1. В этом разделе мы рассмотрим метод второго порядка (т.е. использующий вторые производные функций  $f(x)$  и  $g(x)$ ), сходящийся сверхлинейно или квадратично.

Начнем с однокритериального случая и теоремы Тейлора:

$$\begin{aligned} f(x_k + v) = f(x_k) + v^T \nabla f(x_k) + \\ + \frac{1}{2} v^T \nabla^2 f(x_k) v + o(|v|^2). \end{aligned} \quad (16)$$

Нужно найти такой  $v$ , который минимизирует  $m(v) = v^T \nabla f(x_k) + \frac{1}{2} v^T \nabla^2 f(x_k) v$ . Если гессиан  $\nabla^2 f_k$  положительно определен, то, приравнявая  $m'(v)$  к нулю, получаем:

$$v = -\nabla^2 f_k^{-1} \nabla f_k. \quad (17)$$

В многокритериальном случае для нахождения  $v$  предлагается решать следующую задачу [6]:

$$\min_{v \in R^n} \max_{i=1, \dots, k} (\nabla f_i(x_k))^T v + \frac{1}{2} v^T \nabla^2 f_i(x_k) v. \quad (18)$$

Если все гессианы положительно определены, то задача (18) всегда имеет единственное решение. При  $k = 1$  решением является (17).

Таким образом, разность  $\max_{i=1, \dots, k} f_i(x+v) - f_i(x)$

аппроксимируется максимумом локальных квадратичных моделей компонент целевой функции в точке  $x$ . Задача (18) не является гладкой, но она может быть переформулирована следующим образом:

$$\min t,$$

при условии

$$\begin{aligned} (\nabla f_i(x))^T v + \frac{1}{2} v^T \nabla^2 f_i(x) v \leq t, \quad i=1, \dots, k, \\ (\nabla g_j(x^*))^T v \leq t, \quad j \in A(x^*). \end{aligned} \quad (19)$$

В [6] доказывается, что алгоритм, использующий решение (19) в качестве направления спуска, при некоторых условиях сходится к локально Парето-оптимальной точке сверхлинейно, если  $f(x)$  дважды непрерывно дифференцируема и квадратично, если вторые производные  $f(x)$  непрерывны по Липшицу.

Для оптимизации с ограничениями получаем следующую задачу:

$$\min t,$$

при ограничениях

$$\begin{aligned} (\nabla f_i(x))^T v + \frac{1}{2} v^T \nabla^2 f_i(x) v \leq t, \quad i=1, \dots, k, \\ (\nabla g_j(x))^T v + \frac{1}{2} v^T \nabla^2 g_j(x) v \leq t, \quad j \in A(x^*). \end{aligned} \quad (20)$$

### 5. Выбор длины шага

Рассмотрим теперь вопрос о нахождении длины шага. Начнем с однокритериального случая.

Оптимальное значение длины шага  $\alpha$  — это решение следующей одномерной задачи:

$$\min_{\alpha} f(x_k + \alpha v), \quad \alpha > 0. \quad (21)$$

Однако, точное решение задачи (21) требует большого количества вычислений целевой функции. На практике применяют другой подход: подбирают такие значения  $\alpha$ , чтобы они удовлетворяли некоторым условиям. Вот пример таких условий (правила Вулфа [7]):

$$f(x_k + \alpha v) \leq f(x_k) + c_1 \alpha \nabla f_k^T v, \quad (22)$$

$$f(x_k + \alpha v)^T v \geq c_2 \nabla f_k^T v, \quad (23)$$

где  $0 < c_1 < c_2 < 1$ .

Введем обозначение  $\varphi(\alpha) = f(x_k + \alpha v)$ . Первое условие (22) (также известное как правило Армихо) говорит о том, что  $\varphi(\alpha)$  не должна превышать значения некоторой убывающей линейной функции, равной  $f(x_k)$  в нуле. Это условие удовлетворяется для всех достаточно малых  $\alpha$ . Второе условие (23) означает, что производная  $\varphi'(\alpha)$  по крайней мере в  $c_2$  раз больше, чем  $\varphi'(0)$ .

В многокритериальном случае условие (23) не работает, поскольку значения производных отдельных компонент ничего не говорят об оптимальности текущей точки. Правило Армихо можно расширить на многокритериальный случай: неравенство (22) следует понимать покомпонентно. Процедура поиска  $\alpha$  формулируется так: начиная с  $\alpha = 1$ , пока неравенство (22) не выполнится, полагаем  $\alpha := \alpha/2$ .

### Выводы

На практике якобиан и тем более гессиан задачи зачастую неизвестен. Для нахождения первых производных используются различные схемы численного дифференцирования, а для вторых производных — различные приближения гессиана.

Для того, чтобы задача (22), (23) имела решение, достаточно положительной определенности хотя бы одного из гессианов. Для приближения гессиана активных ограничений используются формула SR-1 (симметричная ранга один), для аппроксимации гессиана целевых функций — формула BFGS (Бройдена—Флетчера—Гольдфарба—Шанно) [5]. Формула BFGS гарантирует положительную определенность гессиана, если первое приближение также было положительно определенным.

Находить ответ задачи (20) можно с помощью любого метода решения задач нелинейной оптимизации, например, SQP. Она может быть достаточно сложной, однако является «внутренней», т.е. при ее решении не производится вычислений целевой функции и ограничений. Предполагается, что в реальных задачах функции являются достаточно «тяжелыми», чтобы временем решения внутренних задач можно было пренебречь.

Область применения (20), (22), (23) может быть расширена с помощью различных методик. Например, специального вида численное дифференцирование с изменяющейся длиной шага позволяет оптимизировать функции с шумом. Используя алгоритмы глобального поиска для нахождения якорей (минимумов отдельных компонент целевых функций безотносительно значения других компонент)

$$f_a^i = f(x_a^i), \quad x_a^i = \arg \min_{x \in \Omega} f_i(x) \quad i = 1, \dots, k,$$

можно оптимизировать мультимодальные функции.

**Список литературы:** 1. Асеев Г.Г. Электронный документооборот. Учебник / Г.Г. Асеев — К.: Кондор, 2007. — 500 с. 2. Eugene L.A. Numerical continuation methods / L.A. Eugene, G. Kurt — Berlin: Springer-Verlag, 2010. — 324 s. 3. Miettinen K. Nonlinear multiobjective optimization / K. Miettinen — Berlin: Springer-Verlag, 2009. — 286 s. 4. Fliege J. Steepest descent methods for multicriteria optimization / J. Fliege, B. F. Svaiter // Mathematical Methods of Operations Research. — 2008. № 51(3). Pp. 479-494. 5. Nocedal J. Numerical optimization / J. Nocedal, S. J. Wright — Berlin: Springer Science + Business Media, 2006. — 336 p. 6. Fliege J. Newton's method for multiobjective optimization / J. Fliege, L. M. G. Drummond, B. F. Svaiter // SIAM Journal on Optimization. — 2009. № 20(2). Pp. 602-626. 7. Wolfe P. Convergence conditions for ascent methods / P. Wolfe // Siam Review. — 2010. № 11(2). Pp. 226-235.

Поступила в редколлегию 21.04.2015

УДК 519.853:005.642.4

**Удосконалення методу багатокритеріальної оптимізації в електронному документообігу, заснованого на локальній геометрії безлічі Парето / Г. Г. Асеев // Біоніка інтелекту: наук.-техн. журнал. — 2015. — № 2 (85). — С. 58-61.**

Робота розглядає бізнес-процеси систем управління виробництвом у вигляді загальної моделі даних і процесів для електронного документообігу. Розглянута ситуація оптимізації моделі даних по декількох критеріях одночасно. Запропонований метод, заснований на розширенні алгоритмів одномірного пошуку на багатокритеріальний випадок. Розвинута ідея методу продовження рішення системи нелінійних рівнянь, що відшукує критичну точку моделі даних для системи електронного документообігу організації.

Бібліогр.: 7 найм.

UDC 519.853:005.642.4

**Method improvement Balatonnelle optimization in electronic document management, based on the local geometry of the Pareto set / G. G. Aseyev // Bionics of Intelligense: Sci. Mag. — 2015. — № 2 (85). — P. 58-61.**

The work considers the business-processes of production management systems in the form of a common data model and processes for electronic filing. On the optimization of data models according to several criteria simultaneously. The proposed method based on the extension of linear search algorithms on multicriteria case. Developed the idea of the method continue solving the system of nonlinear equations that finds a critical point of the data model for an electronic document management system of the organization.

Ref.: 7 items.

УДК 519.7:619

Г.Н. Жолткевич<sup>1</sup>, Е.В. Высоцкая<sup>2</sup>, К.В. Носов<sup>1</sup>, Л.И. Рак<sup>3</sup>, Э.Л. Ахназарянц<sup>3</sup><sup>1</sup>ХНУ им. В. Н. Каразина, г. Харьков, Украина, k-n@nm.ru<sup>2</sup>ХНУРЭ, г. Харьков, Украина, diagnost@kture.kharkov.ua<sup>3</sup>ГУ «ИОЗДП НАМН», г. Харьков, Украина

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ОТНОШЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ СИСТЕМЫ ОРГАНИЗМА ЧЕЛОВЕКА

Данная работа посвящена исследованию структуры отношений параметров функционирования сердечно-сосудистой системы человека в норме и при патологии. Результаты статьи показывают существенные различия контуров, усиливающих и ослабляющих отклонения в знаковых графах, описывающих структуру отношений параметров сердечно-сосудистой системы в норме и патологии, что, в свою очередь, определяет характер их динамики и роль в адаптационных механизмах человеческого организма.

ДИСКРЕТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ (ДМДС), ДИНАМИЧЕСКАЯ СИСТЕМА, СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТАЯ СИСТЕМА, ВЕГЕТАТИВНАЯ НЕРВНАЯ СИСТЕМА, АДАПТАЦИОННЫЕ МЕХАНИЗМЫ

### Введение

Состояние сердечно-сосудистой системы (ССС) является важнейшим аспектом функционирования адаптационных механизмов человеческого организма, статуса его адаптационных ресурсов, об исчерпания которых во второй половине прошлого столетия авторы Римского клуба писали как о печальной перспективе биологического вида *Homo sapiens* [1]. Решение этой проблемы потребует в самое ближайшее время разработки относительно простых и дешевых способов контроля и коррекции состояния адаптационных механизмов человека – применительно как к лечению болезней, так и к их профилактике.

Системный подход к изучению состояния ССС предполагает исследование структуры обратных связей между параметрами, характеризующими функционирование ССС. Параметры вариабельности сердечного ритма (ВСР), отражают аспекты функционирования вегетативной нервной системы (ВНС), которая играет важную роль во многих адаптационных механизмах человеческого организма – таких, например, как описанный Г. Селье [2] генерализованный адаптационный синдром (ГАС).

Оценка состояния адаптации организма особо актуальна в подростковом возрасте, который является одним из критических этапов развития и характеризуется напряжением адаптационных механизмов, вариабельностью всех физиологических параметров организма. Особенности подросткового периода определяют повышенный риск развития нарушений адаптации при неблагоприятных воздействиях среды.

### 1. Постановка задачи

Подход к анализу параметров ВСР, предложенный около половины столетия тому назад Р.М. Баевским [3, 4] находит свое применение во многих сферах, связанных с контролем и коррек-

цией состояния адаптационных механизмов человеческого организма, наряду с подходами других исследователей [5-6]. Необходимая для определения параметров ВСР, исходная фактическая информация может иметь лакуны и, в силу этой и других причин, непосредственно не отражать последовательность во времени фаз цикла изменения комбинаций значений параметров. Возможность работы с имеющими такие недостатки массивами информации дают информационные технологии (ИТ), которые разрабатываются в Харьковском национальном университете радиоэлектроники (ХНУРЭ) и Харьковском национальном университете имени В.Н. Каразина (ХНУ) с использованием оригинального, имеющего мировую новизну, класса математических моделей, получившего название дискретных моделей динамических систем (ДМДС) [7-10]. ДМДС позволяет, на основании анализа структуры корреляций между компонентами системы, дать формализованное качественное описание структуры межкомпонентных отношений из перечня: "+,+", "+,-", "-,-", "+,0", "-,0", "0,0", а также симметричных внутрикомпонентных отношений из перечня: "+,+", "-,-", "0,0". Структура этих межкомпонентных и внутрикомпонентных отношений может быть представлена в виде матрицы или графа. На ее основе может быть, для определенной комбинации начальных значений компонентов, построена идеализированная траектория системы (ИТС), отражающая смену, характеризующихся разными комбинациями значений компонентов, фаз. ИТС отражает периодическую смену фаз – происходящую, в течение соответствующего длительности цикла изменения состояний системы числа условных шагов по времени [11].

В вышедшей недавно работе Г. Жолткевича с соавторами [12] показана возможность использования ДМДС для диагностики, на основе регистрации параметров ВСР, состояний человека-опера-

тора, в которых зафиксированы различия в уровне работоспособности, обусловленные различием ассортимента адаптационных стратегий ВНС.

В соответствии со сказанным выше, определенный теоретический и практический интерес должно представлять формализованное описание структуры отношений и, вытекающего из этой структуры вида цикла изменений значений параметров ВСР, отражающих воздействие на адаптационные механизмы организма подростков разных аспектов функционирования ВНС. Такое формализованное описание и является предметом настоящей работы.

Цель статьи заключается в исследовании структуры отношений в норме и патологии параметров variability сердечного ритма подростков в комплексе с общим периферическим сосудистым сопротивлением (ОПСС).

## 2. Математическое моделирование отношений неинвазивно измеряемых параметров функционирования сердечно-сосудистой системы организма человека

При построении математической модели использована мера близости, основанная на коэффициенте корреляции Спирмена и подход на основе закона Либиха с тремя уровнями признака [10].

Материал клинических обследований подростков с нарушениями деятельности сердечно-сосудистой системы и наблюдений за их здоровыми сверстниками получен на базе кафедры педиатрии медицинского факультета ХНМУ им. Каразина в ГУ «Институт охраны здоровья детей и подростков НАМН Украины».

АД измерялось по методу Короткова. ЧСС фиксировалось электрокардиографически.

ОПСС определялось по формуле:

$$ОПСС = (Му \times 79,98) : МОК,$$

где  $Му$  – среднее артериальное давление, мм рт. ст.;  $МОК$  – минутный объем крови, л/мин.

Суточное мониторирование ЭКГ проводилось с помощью аппарата «ЕС-3Н/АВР» с программным обеспечением «CARDIOSPY» фирмы «LAVTECH» (Венгрия). Оценка variability сердечного ритма проводилась по общепринятой методике с определением временных и частотных характеристик [6–8]. Определались такие показатели: HF (далее в тексте – ВЧ) – высокочастотный компонент спектра (0,15–0,4 Гц), LF (далее в тексте НЧ) – низкочастотный компонент спектра (0,04–0,15 Гц).

Под наблюдением находились 226 подростков с патологией сердечно-сосудистой системы: вторичными кардиомиопатиями, малыми аномалиями развития сердца, нарушениями проводимости и ритма сердца, миокардиофиброзом, – они вошли в основную группу (ОГ). Средний возраст больных составил  $14,86 \pm 0,15$  лет. Контрольную группу (ГК) составили 73 практически здоровых их сверстника.

С использованием ДМДС были построены, представленные на рис. 1 и рис. 2 знаковые графы и, на их основе, отражающие идеализированные циклы изменений значений ЧСС, НЧ, ВЧ и ОПСС, представленные в табл. 1 и табл. 2, траектории системы (ТС) для контрольной группы здоровых испытуемых (ГК) и основной группы (ОГ), включающей пациентов с вышеуказанными нарушениями функционирования ССС.

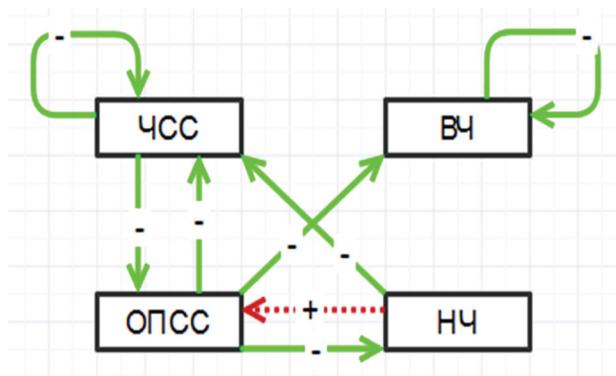


Рис. 1. Знаковый граф, описывающий структуру отношений физиологических параметров в группе ГК; стрелочки – ребра графа: сплошные отвечают негативным воздействиям, пунктирные – положительным; прямоугольники – вершины графа, соответствующие биологическим параметрам

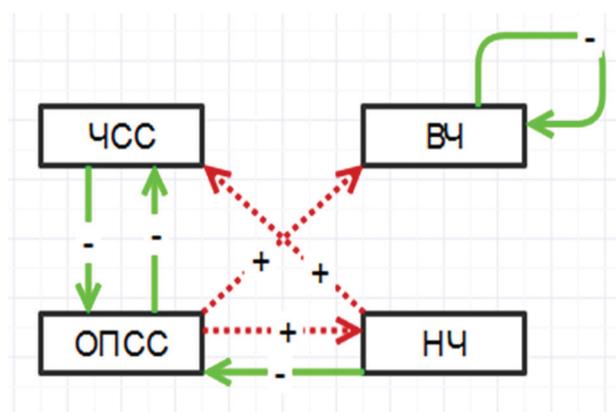


Рис. 2. Знаковый граф, описывающий структуру отношений физиологических параметров в группе ОГ. Обозначения – как на рис. 1

В представленных на рис. 1 и рис. 2 графах наличествуют контуры, ослабляющие отклонения (КОО), функционирующие на основе отношений типа “+,-” между двумя компонентами. И в ГК, и в ОГ это – пары компонентов, включающие ОПСС и НЧ. Но могут быть отмечены и существенные отличия между этими группами.

В ГК НЧ положительно влияет на ОПСС, высокие значения которого, в свою очередь, приводят к снижению значений НЧ. Это может быть интерпретировано следующим образом: при нормальном состоянии механизмов адаптации тонуса симпатического отдела ВНС приводит к повышению ОПСС, на которое адаптационные механизмы отвечают и выравнивают

ситуацию снижением тонуса симпатической составляющей, а затем, соответственно, снижением ОПСС.

Действие системы обратных связей в ГК усиливается опосредованным действием КОО, включающим ОПСС, НЧ и ЧСС.

В группе с нарушениями функционирования ССС наблюдается иная закономерность: повышение ОПСС, очевидно, играет роль стрессора, повышающего НЧ, а затем уже проявление гипертонуса симпатической компоненты нервной системы ведет к снижению ОПСС. Действие системы отрицательных обратных связей в ОГ также усиливается опосредованным действием КОО, включающим ОПСС, НЧ и ЧСС (в этом случае можно сказать, что действие КОО дополняет непосредственное отрицательное воздействие НЧ на ОПСС).

Построение, с помощью ДМДС, ТС позволяет смоделировать вероятную картину последовательности во времени таких проявлений изменения тонуса симпатического отдела как изменения значений ЧСС, НЧ и ОПСС, которые часто воспринимаются как происходящие практически одновременно.

Как видно из табл. 1 и табл. 2, в обеих группах действие контура включающего НЧ, ЧСС и ОПСС, ослабляет отклонения, удлиняет период низких значений НЧ и ОПСС на один условный шаг по времени (первый для ОГ и третий для ГК). Это влияет на картину смены комбинаций значений компонент, предшествующую (на три-четыре условных шага по времени) максимуму значений ОПСС. При этом данная картина значительно различается в случае нормального функционирования ССС и при наличии его отклонений от нормы.

В ОГ высоким значениям ОПСС на 3-м шаге предшествуют постоянно низкие значения НЧ, ВЧ и ЧСС на 1-м и 2-м шагах. На 9-м шаге, который можно рассматривать как первый из трех предшествующих, высокому трехбалльному значению ОПСС соответствуют низкие однобалльные значения НЧ и ВЧ и максимально высокое для данной траектории системы двухбалльное значение ЧСС. Можно сказать, что высоким значениям ОПСС предшествуют стабильно низкие значения НЧ и ВЧ, а также снижение значений ЧСС.

Начало роста ОПСС наблюдается при переходе с первого на второй шаг по времени. На предшествующих трех шагах (7-м, 8-м и 9-м) наблюдается рост ЧСС с минимального значения в 1 балл до максимальных для данной траектории системы в 2 балла (на 8-м и 9-м шагах происходит стабилизация на этом высоком значении).

Значения ВЧ на 7-м и 8-м шагах падает с максимального для данной траектории системы двухбалльного значения до минимального в 1 балл, которое сохраняется на 9-м шаге.

Значения НЧ на 7-м, 8-м и 9-м шагах падает с максимального трехбалльного значения до минимального (1 балл).

**Таблица 1**

Идеализированная траектория системы, представляющая цикл изменений значений физиологических параметров в группе ГК

НЧ	1	2	3	3	3	3	2	1	1
ВЧ	1	2	2	2	2	2	1	1	1
ЧСС	1	2	2	1	1	1	1	1	1
ОПСС	1	1	1	1	2	3	3	3	2
Условные шаги по времени	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Строки – значения в условных баллах (1 – низкое, 2 – среднее, 3 – высокое) физиологических параметров, столбцы – условные шаги по времени.

**Таблица 2**

Идеализированная траектория системы, представляющая цикл изменений значений физиологических параметров в о группе ОГ

НЧ	1	1	1	2	3	3	3	2	1
ВЧ	1	1	1	2	2	2	2	1	1
ЧСС	1	1	1	1	1	1	1	2	2
ОПСС	1	2	3	3	3	2	1	1	1
Условные шаги по времени	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Обозначения как в таблице 1.

В ГК высоким значениям ОПСС (на 6-м шаге) предшествуют постоянно максимальные значения НЧ (3 балла) на трех предыдущих шагах (3-й, 4-й и 5-й шаги) и постоянно максимальные для данной траектории системы значения ВЧ (2 балла). На этих же трех шагах наблюдается снижение значений ЧСС с максимального для данной траектории системы значения в 2 балла до минимального значения в 1 балл. Началу роста ОПСС, отмеченного при переходе с 4 на 5-й шаг, предшествует рост НЧ на 1-м, 2-м и 3-м шагах с минимального значения в 1 балл до максимального в 3 балла. На 1-м и 2-м шагах наблюдается возрастание ВЧ и ЧСС с минимального однобалльного до максимального для данной траектории системы двухбалльного значения с сохранением его на третьем шаге.

В траекториях системы, построенных для ГК и ОГ, наблюдается одинаковое количество условных шагов по времени. Это дает некоторые дополнительные основания для выводов, основанных на сравнительном анализе траекторий систем, построенных для рассматриваемых двух групп.

Следует отметить, что в ОГ на трех шагах, предшествующих высокому значению ОПСС, наблюдаются низкие значения НЧ, ВЧ и ЧСС. А в ГК на трех шагах, предшествующих высокому значению ОПСС, наблюдаются гораздо большее разнообразие значений НЧ, ВЧ и ЧСС с преобладанием высоких значений. Одна из возможных трактовок этого, базирующаяся на представлении о том, что разнообразие вариантов реакции организма на стрессоры способствует повышению его адаптационных возможностей, заключается в следующем: у здоровых людей из группы ГК высокие значения ОПСС, которые могут рассматриваться как стрес-

сор, наблюдаются в условиях, когда адаптационные возможности организма достаточно высоки. У людей с нарушениями ССС, исходя из вышесказанной посылки адаптационные возможности организма при стрессирующем воздействии высоких значений ОПСС ниже.

Если удастся получить аналогичные системные эффекты в сериях измерений, отражающих реальную последовательность во времени изменений параметров, рассмотренных в настоящей работе, появляются перспективы использования найденных системных эффектов для диагностики нарушений нормального функционирования ССС, а также состояний, предшествующих критическому изменению значений такого важного параметра как ОПСС.

Представленные в настоящей работе результаты математического моделирования структуры отношений и динамики значений параметров ВСР представляют, на наш взгляд, как теоретический, так и практический интерес. Теоретический – в связи с проблематикой исследования системных аспектов функционирования адаптационных механизмов человеческого организма; полученные результаты дают определенные основания для дополнения концепций Р. М. Баевского и других авторов [4–8], описывающих связанные с функционированием ВНС системные аспекты адаптационных механизмов человеческого организма и закономерности их проявления в имеющих также системный характер параметрах ВСР. Представленные в данной работе результаты формализованного, с применением ДМДС, описания этих системных аспектов с одной стороны – не противоречат сложившимся в настоящее время представлениям об адаптационных механизмах регуляции ССС и роли в них ВМС. С другой – вносят в эти представления новые нюансы, которые, на наш взгляд, могут рассматриваться как рабочие гипотезы, подлежащие в дальнейшем проверке методами, отличными от ДМДС, которые являются, на наш взгляд, прежде всего эффективным инструментом генерирования таких рабочих гипотез – на основании фактического материала, сравнительно небольшого по объему, имеющего лакуны и не всегда отражающего последовательность в реальном времени смены состояний моделируемой системы. (Заметим, что в настоящее время разработан большой арсенал математических методов, программных продуктов и информационных технологий, позволяющих исследователю, располагающему информационным массивом соответствующего фактического материала, достаточно быстро проверять рабочие гипотезы. Этот арсенал должен быть дополнен аналогичным инструментарием для генерирования рабочих гипотез).

Из сказанного следует, что практический интерес настоящей работы связан, в частности, с возможностью, с применением ДМДС, формулировать рабочие гипотезы для разработки технологий

контроля состояния ССС. Полученные с помощью ДМДС знаковые графы дают информацию о некоторых системных аспектах функционирования ССС, что может быть использовано не только для его контроля, но и для коррекции.

### Выводы

Результаты работы показывают существенные различия контуров, усиливающих и ослабляющих отклонения в знаковых графах, описывающих структуру отношений между параметрами сердечно-сосудистой системы в норме и патологии, что, в свою очередь, определяет характер их динамики и роль в адаптационных механизмах человеческого организма.

Таким образом, можно сделать вывод о перспективности применения ДМДС для решения ряда теоретических и практических проблем, связанных с приобретающей в настоящее время все большую актуальность необходимостью разработки широкого ассортимента технологий контроля и коррекции состояния адаптационных ресурсов организма человека.

**Список литературы:** 1. *Peccei A.* The Human Quality. – Oxford; New York: «Pergamon Press», 1977. 2. *Селье Г.* На уровне целостного организма. – М.: 1972. 3. *Баевский, Р.М.,* Оценка адаптационных возможностей организма и риск развития заболеваний / Р.М.Баевский, А.П.Берсенева. – М.: Медицина, 1997. – 265 с. 4. *Баевский Р.М., Иванов Г.Г.* Вариабельность сердечного ритма: теоретические аспекты и возможности клинического применения // Ультразвуковая функциональная диагностика. – 2001. – № 3. – С. 108–127. 5. Вариабельность сердечного ритма. Стандарты измерения, физиологической интерпретации и клинического использования [Текст] // Рабочая группа Европейского Кардиологического Общества и Северо-Американского общества стимуляции и электрофизиологии. – СПб.: АООТ Правда, 2000. – 65 с. 6. Дослідження варіабельності серцевого ритму у кардіологічній практиці [Текст] : метод. рек. / уклад. *В.О.Бобров* [та ін.]. – К., 1999. – 24 с. 7. *Zholtkevych G.N., Bepalov Y.G., Nosov K.V., & Abhishek M.* (2013). Discrete Modeling of Dynamics of Zooplankton Community at the Different Stages of an Anthropogenic Eutrophication. *Acta Biotheoretica*, 61(4), 449–465. <http://doi.org/10.1007/s10441-013-9184-6> 8. *Беспалов Ю.Г., Дереча Л.Н., Жолткевич Г.Н., Носов К.В.* (2008). Дискретная модель системы с отрицательными обратными связями. *Вісник Харківського Національного Університету Серія «Математичне Моделювання. Інформаційні Технології. Автоматизовані Системи Управління»*, 833, 27–38. 9. *Высоцкая Е.В., Порван А.П., Беспалов Ю.Г., Носов К.В., Клименко В.А., & Трубицын А.А.* (2014). Прогнозирование течения атопического дерматита у детей с использованием дискретного моделирования динамических систем. *Восточно-Европейский Журнал Передовых Технологий*, 3(4 (69)), 21–25. 10. *Bepalov Y., Gorodnyanskiy I., Zholtkevych G., Zaretskaya I., Nosov K., Bondarenko T., Carrero Y.* (2011). Discrete Dynamical Modeling of System Characteristics of a Turtle's Walk in Ordinary Situations and After Slight Stress. *Бионика Интеллекта*, 3 (77), 54–59. 11. *Zholtkevych G., Nosov K., Bepalov Y., Visotska O.* Spa-

tial aspects of socio-economic systems' development: the economy, education and health care. Monograph. Opolе: The Academy of Management and Administration in Opolе, 2015; ISBN 978-83-62683-63-5; pp.300.

*Поступила в редакцию 20.05.2015*

УДК 519.7:619

**Математичне моделювання відносин між параметрами функціонування серцево-судинної системи організму людини** / Г.М. Жолткевич, О.В. Висоцька, К.В. Носов, Л.І. Рак, Е.Л. Ахназарянц. // Біоніка інтелекту: наук.-техн. журнал. – 2015. – № 2 (85). – С. 62–66.

Проведено дослідження структури відносин параметрів функціонування серцево-судинної системи людини в нормі та при патології. З використанням ДМДС отримано знакові графи, що характеризують системні аспекти функціонування серцево-судинної системи. Отримані графи показують суттєві відмінності контурів, що визначає характер динаміки і роль досліджуваних

параметрів в адаптаційних механізмах людського організму.

Табл. 2. Іл. 2. Бібліогр.: 14 найм.

UDC 519.7:619

**Mathematical modeling of relationships between parameters functioning of the cardiovascular system of the human body** / G. Zholtkevych, O. Vysotska, K. Nosov, L. Rak, E. Acharyants // Bionics of Intelligense: Sci. Mag. – 2015. – № 2 (85). – P. 62–66.

A study of the structure of relations non-invasive measured parameters functioning of the cardiovascular system in human health and disease. Using DMDS received significant graphs that characterize the systemic aspects of cardiovascular system. The resulting graphs show significant differences paths that determines the nature of the dynamics and the role of the studied parameters in the adaptive mechanisms of the human body.

Tab. 2. Fig. 2. Ref.: 14 items.

УДК 681.513



О.Ф. Михаль

ХНУРЭ, г. Харьков, Украина, fuzzy16@pisem.net

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДИНАМИКИ ФОРМИРОВАНИЯ И ОЦЕНКИ ОПАСНОСТИ АНЕВРИЗМЫ

Предложена математическая модель, иллюстрирующая динамику формирования аневризмы. С привлечением представлений о старении организма на генном уровне, модель при надлежащей калибровке позволяет оценить опасность аневризмы в её текущей стадии.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ, АНЕВРИЗМА, ТЕЛОМЕРЫ

### Введение

Вместилищем *человеческого интеллекта* (ЧИ) является *человеческий мозг* (ЧМ). Задачи изучения (моделирования) работы ЧМ, разработки новых средств *вычислительной техники* (ВТ) и создания *искусственного интеллекта* (ИИ) по существу представляют собой единую проблематику: разработку и совершенствование *усилителей человеческого интеллекта* (УЧИ) [1]. При этом сам ЧМ был и останется объектом изучения (моделирования) и неизменным прототипом для программных и аппаратных разработок. Дальняя перспектива развития средств ВТ и ИИ, включающая их совмещение и подключение к ЧМ и ЧИ, не лишена смысла, хотя и является в настоящее время прерогативой научной фантастики. В ближней же перспективе представляется бесспорным, что достаточно долгое время ЧМ будет «сохранять монополию» на право быть *единственным* истинным вместилищем ЧИ. В связи с этим неизменно актуально изучение принципов функционирования ЧМ, включая как высшую нервную деятельность, так и физиологию, имея конечной целью максимально эффективное поддержание ЧМ в рабочем состоянии. Большой интерес представляет взаимовлияние между физиологическим планом и высшей нервной деятельностью, поскольку физиологические нарушения влекут за собой нарушения в умственной деятельности. Данная тематика интересна как в чисто медицинском плане (профилактика и лечение различных расстройств и заболеваний), так и в связи с проблематикой (выглядеющей, как отмечалось, пока как чистая фантастика) прямого подключения технических средств ВТ к структурам ЧМ.

Применительно к изучению подобных вопросов, представляет интерес, в частности, разработка методов математического моделирования различных изменений и нарушений физиологического плана. Перспективным объектом моделирования является *аневризма* — физиологическое явление, связанное с конфигурационными изменениями структурных элементов кровеносной системы [2]. Как известно, *аневризма сосудов головного мозга* существенно (негативно, зачастую фатально) воздействует на умственную деятельность.

Целью настоящего сообщения является разработка и демонстрация модели формирования *анев-*

*ризм*. С привлечением представлений о старении организма на генном уровне [3], модель может позволить оценить опасность *аневризмы* в её конкретной (текущей) стадии.

### 1. Аневризма

Образование *аневризмы* есть процесс конфигурационного изменения структурных элементов кровеносной системы. *Аневризма* характеризуется в [2] как «патологическое выпячивание истончённого участка стенки *кровеносного сосуда* (КС)» или как «значительное расширение КС за счёт ограниченного выпячивания его стенки или равномерного растяжения её на определённом участке». Там же [2] отмечается, что *аневризма*, наиболее вероятно, носит возрастной характер.

Конфигурационно — *аневризмы* весьма разнообразны: от локального утолщения всего КС, до образования боковой локальной полости («пузырька»)

*Аневризма сосудов головного мозга* достаточно распространена. Наиболее часто встречающаяся её конфигурация — «пузырёк» округлой формы (или близкий к тому), соединённый с КС «шейкой» толщиной порядка диаметра КС [4]. По-видимому, преимущественное проявление именно такой конфигурации связано с ограниченностью, фиксированностью и недеформируемостью объёма, в котором *аневризма* развивается (мозг в жёсткой черепной коробке). Материал мозга, служащий непосредственным окружением *аневризмы* внутри черепной коробки, структурно видоизменяется с возрастом пациента: градируя, как известно, от желеобразной податливой массы к плотной упругой структуре. *Аневризма*, как отмечалось, вероятно носит возрастной характер; поэтому, возможно, плотный упругий характер окружающей среды способствует формированию именно округлой формы «пузырька», как наилучшим образом поддерживающейся в уплотнённой среде.

По причине скрытости развития и невозможности непосредственного (без специального оборудования) наблюдения, сколь либо подробные данные по фазам развития и динамике формирования (роста) одного конкретного образца (экземпляра, объекта наблюдения) *аневризмы* практически отсутствуют. В типичном случае *аневризма* попадает

в поле зрения специалистов уже *post factum*, когда становится *диагнозом*. В связи с этим, в части изучения процесса возникновения, динамики развития, возможных перспектив и оценки опасности аневризмы, — полезным инструментом может явиться математическое моделирование.

## 2. Деление клеток и теломеры

В порядке рассмотрения предметной области, кратко перескажем, возможно, общеизвестные вещи.

Организм состоит из минимальных автономных элементов — клеток. Большой многоклеточный организм представляет собой сообщество (конгломерат, систему) взаимодействующих, совместно функционирующих, функционально дифференцированных и взаимно соподчинённых клеток. Каждая клетка поддерживает собственное «состояние живости» (функционирование), в определённых (благоприятных) условиях растёт и делится (в случае потребности, преобразуется из одного экземпляра в два), в не благоприятных условиях — отмирает. Функционирование (поддержание «состояния живости») большого организма в целом — есть динамический процесс взаимодействия и смены индивидуальных фаз функционирования отдельных клеток.

В ядре каждой клетки конкретного организма (отдельной особи) содержится набор хромосом (молекул ДНК), являющийся «*базой данных*» (БД), в соответствии с которой развивается и функционирует организм. БД отдельных клеток конкретной особи — тождественны, поскольку изначально особь развилась из одной клетки.

Информация в ДНК хранится в последовательной форме, подобно записи на магнитной ленте. Метафора магнитной ленты требует уточнений: отсутствует механизм произвольной записи; лента используется исключительно в режимах считывания и копирования. В процессе обычной (штатно) жизнедеятельности клетки, реализуется считывание информации из различных фрагментов ленты «в режиме с *произвольным доступом*». «Режим *последовательного доступа*» реализуется только при «копировании ленты», т.е. только при репликации ДНК.

Механизм репликации в основном известен, но содержит много «технических подробностей». Так, относительно недавно были открыты *теломеры* (2009 г. — Нобелевская премия за открытие механизмов защиты хромосом теломерами и фермента теломеразы — E. Blackburn, C. Greider, J. Szostak) — последовательности «пустых записей» в хвостах ДНК. Одна из функций теломеров — препятствовать сцеплению ДНК хвостами и таким образом предотвращать нарушения процесса репликации. Другая функция — быть «счётчиками обратного отсчёта» для числа делений клетки.

Упрощённо, процесс выглядит следующим образом. Клетки организма в начале его жизне-

деятельности имеют хромосомы с длинными хвостами «пустых записей». При каждом делении клетки происходит репликация (удвоение числа) хромосом. Для этого каждая исходная хромосома «берётся за хвост», перемещается и «фиксируется хвостом» в некотором механизме (молекулярного уровня) — репликаторе. Сам процесс репликации, согласно общепринятой в настоящее время метафоре, подобен раскрытию застёжки «молния». В результате (на выходе процесса) оказываются сформированными два экземпляра хромосомы. Сформированные хромосомы тождественны друг другу, но *короче* исходной хромосомы на одну или две «пустые записи». Эти «пустые записи» находились «на кончике хвоста», за который исходная хромосома «вытаскивалась» для репликации. За эти «пустые записи» хромосома «фиксировалась хвостом» в репликаторе. Они явились «технологическим фрагментом», который был утрачен при репликации. На сохранность основного (полезного) кода, записанного в ДНК, утрата этих «пустых записей» не влияет, поскольку «хвосты пустых записей» и предназначены для того, чтобы быть этими утрачиваемыми «технологическими фрагментами». Штатная же работа с БД (собственно жизнедеятельность клетки) идёт, как отмечалось, в режиме «с произвольным доступом».

Однако, укорачивание «технологических хвостов» хромосом предопределяет *конечное число* делений клетки; следовательно, на субклеточном уровне задаёт конечную продолжительность жизни организм в целом. Упрощённо, это выглядит так. Допустим, «технологический хвост» содержит 100 «пустых записей» и при каждой репликации утрачивается фрагмент из 2 записей. Это значит, что клетка может претерпеть 50 делений с сохранением целостности полезной информации ДНК. 51-е деление будет уже не удачным по крайней мере по двум причинам.

Первая причина. В качестве «утрачиваемого технологического фрагмента» будет использован фрагмент полезной информации, вследствие чего вся хромосома или её часть окажется не читаемой. Т.е. некоторые записи или вся БД будет повреждена.

Вторая возможная причина. Хвост ДНК, содержащий полезную информацию, может оказаться не пригодным для фиксации в репликаторе и последующего срабатывания: застёжку «молния» заклинит. Как результат — процесс репликации зависнет и деления клетки либо не произойдёт, либо произойдёт, но результат будет с неполным набором хромосом. В обоих вариантах — утрата функциональности и гибель клетки.

В действительности — ситуация более сложная. Как упоминалось выше, назначение теломеров — предотвращение слипания (ошибочного сцепливания) хвостов отдельных хромосом. Согласно имеющимся данным, сцепление начинается проявляться при сокращении хвостов до 10-12

«пустых записей». Процесс носит статистический характер и часто проявляется именно как *недорепликация*: часть хромосом успешно удваивается, но некоторые — «зависают». Результат — либо гибель клетки в процессе деления, либо образование пары ущербных клеток с неполным (не функциональным) набором хромосом. А уже потом — их гибель вследствие нефункциональности.

Кроме того, клетки делятся не синхронно, а по-видимому в соответствии с наличием необходимых условий. Это значит, что в большом организме одновременно присутствуют клетки с разными длинами «технологических хвостов». При отмирании некоторых из них, некоторые другие, находящиеся «в более ранней фазе» последовательных делений, продолжают выполнять свои функции в организме, поддерживая функционирование системы в целом.

Наряду с этим, клетки имеют разное «эффективное время износа» в зависимости от того, какие функции в организме они выполняют (на сколько «вредной» или «опасной» является их работа). Немаловажно так же, на сколько критичным является то место и (или) те функции, которые выполняет определённая клетка в определённом органе (месте) данного организма. Во всех органах и структурах организма имеется резервирование ресурсов (например, параллельное и (или) последовательное включение с возможностью замены). Важной составляющей подобного «аварийного ресурсообеспечения» является в том числе и механизм деления клеток. Дисбаланс, либо нарушение целостности в каких-либо тканях или структурах организма, по-видимому, включает (инициирует) механизмы подачи соответствующих команд на деление соответствующих клеток организма для ликвидации возникшего нарушения. В этом смысле воспроизведение функций деления клеток может оказаться приоритетным или даже критичным для выживания организма в целом.

Таким образом, «календарный возраст» организма (особи) — лишь усреднённо отражает «реальное состояние дел». Каждая отдельная клетка имеет «индивидуальный биологический возраст», прописанный в её хромосомах по системе «обратного отсчёта»: сколько ещё успешных делений может претерпеть данная клетка. В нагруженных (более изнашивающихся) элементах (фрагментах, частях) данного организма — находятся биологически более старые клетки. При этом на самых критичных участках — самые старые, имеющие минимальный ресурс деления. Такое положение дел автоматически складывается в процессе жизнедеятельности организма и является вполне естественным.

С учётом сказанного, рассмотрим образование аневризмы, как проявление (реализацию) критического состояния отдельных фрагментов организма.

### 3. Качественная модель образования аневризмы

Система КС в «структурном» отношении, есть единый «служебный канал» внутри организма, по которому в жидкой фазе в едином потоке следуют различные вещества, агенты, элементы, объекты, возможно, механические частицы и др. различного функционального назначения. Кровь представляет собой сложный конгломерат (смесь, жидкую взвесь, суспензию) разнородных составляющих. С потоком крови, в частности, соответствующим образом переносятся кислород и питательные вещества, поступающие к отдельным клеткам организма; в тот же поток сбрасывается из отдельных клеток различный отработанный материал, который далее «отфильтровывается» в почках и выводится из организма. В системном плане единый «служебный канал» это «удачное конструктивное решение», поскольку при этом минимизируются усилия (затраты, расход ресурсов) по его обслуживанию. Но при этом возрастает уровень требований к его надёжности и износоустойчивости.

Имеется известный факт: ЧМ в весовом отношении составляет 2-3%, а по энергопотреблению — 20% ресурсов организма. Ресурсы поступают с потоком крови. Это значит, что ЧМ имеет повышенную приоритетность по кровоснабжению, повышенную плотность и разветвлённость КС, а следовательно — повышенный риск повреждения стенок КС. Между тем, поток — единый и в нём движется как «полезная часть» (носители ресурсов), так и «балласт» (всё сброшенное в единый поток крови, но пока ещё не отфильтрованное в почках). Балластная часть потока может включать ингредиенты (вещества, объекты, частицы) агрессивно воздействующие на стенки сосудов. Такое воздействие имеет место по всему организму, но сосуды головного мозга работают более интенсивно т.к., как отмечалось, по ним в сравнительно небольшой объём подводится большее количество ресурсов. Поэтому, соответственно, они оказываются более нагруженными и в большей степени подвержены риску. Возникновение аневризм — один из видов рисков, связанный с повреждениями *локальных фрагментов стенок* (ЛФС) КС.

Вероятный сценарий формирования аневризмы может выглядеть следующим образом:

- появление неоднородности на стенке КС (например, прилипание мелкого жирового образования);
- возникновение неоднородности потока движения жидкости; неравномерное распределение давлений на ЛФС КС;
- деформация ЛФС КС; возникновение сверхнормативных нагрузок на материал КС в данном ЛФС;
- фиксация этой деформации и снятие сверхнормативных нагрузок посредством роста (деления) клеток на перегруженном участке ЛФС;

- фиксация неоднородности потока движения жидкости в новой закреплённой ситуации; новая картина неравновесного распределения давлений на ЛФС КС; новая дополнительная деформация ЛФС КС, и т.д.

В рамках этого сценария – включается обратная связь, поддерживающая рост аневризмы.

Таковы основные представления о предметной области, являющиеся исходными для последующей модели.

#### 4. Геометрические построения

Моделирование, как метод, изначально предполагает упрощение ситуации с целью минимизации параметров модели. В дальнейшем (в последующих версиях) модель может усложняться, совершенствоваться, наращиваться по числу параметров, с тем чтобы более адекватно отражать объекты и явления предметной области. Но первая (изначальная) версия модели может быть минималистической. В связи с этим, введём целесообразные ограничения.

Считаем что ЛФС КС плоский, изотропный (механические свойства одинаковы во всех направлениях в плоскости ЛФС); толщина ЛФС КС пренебрежимо мала; всё развитие аневризмы происходит центрально-симметрично в направлении, перпендикулярном ЛФС. Рассмотрение модели может при этом иллюстрироваться плоским сечением, проходящим через ось симметрии аневризмы. На рис. 1 представлены три сечения – последовательные фазы развития аневризмы.

Материал, из которого «выполнен» ЛФС КС, а так же окружение, воздействующее на ЛФС КС извне, имеют вполне определённые механические характеристики, что проявляется как упругость и пластичность, и в совокупности реализуется как допустимый (предельный) радиус  $r$  кривизны прогиба ЛФС.

Вероятно, в предметной области радиус  $r$  кривизны прогиба – порядка радиуса КС. Тогда, по-видимому, КС разного диаметра должны иметь разную толщину стенок и в различной степени быть подвержены риску образования аневризм. Корреляция образования аневризм определённого вида (конфигурации) с диаметром КС могла бы быть интересна для изучения. В целом, наличие такой корреляции – весьма правдоподобно, поскольку предполагает определённую пропорциональность значений параметров; а картина ветвления КС, как известно, носит *фрактальный* характер [5], что так же предполагает пропорциональность размеров и соотношений. Тем не менее, на данном этапе развития модели, этот тезис может быть высказан только попутно, в качестве предположения. В данной версии модели радиус КС не входит в число параметров. ЛФС, как отмечалось, считается плоским, а радиус  $r$  кривизны прогиба рассматривается как параметр модели безотносительно к радиусу КС.

С учётом закладываемой симметрии модели и константности радиуса  $r$  кривизны прогиба ЛФС КС, в процессе роста могут быть выделены три качественно разные фазы, иллюстрируемые рис. 1: *формирование* (начальный прогиб ЛФС КС, образование «пьедестала» и «купола») (а); *развитие* (критический уровень, переход «купола» в «пузырёк», а «пьедестала» в «шейку») (б) и *рост* (увеличение диаметра «пузырька» при постоянном диаметре узкой части «шейки») (в).

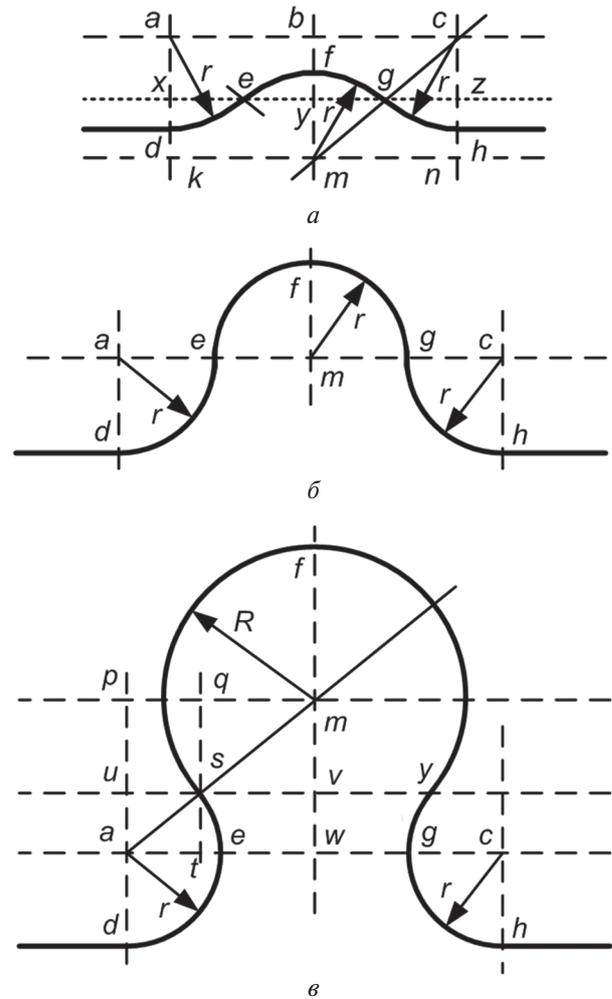


Рис. 1. Фазы модели аневризмы: формирования (а), развития (б) и роста (в)

Далее рассматриваем геометрические построения.

Начальная фаза (формирование) рис. 1 (а) характеризуется появлением «пьедестала»  $de$  и  $gh$  (будущей «шейки» аневризмы) и «купола»  $efg$  (будущего «пузырька»). Эти участки  $de$ ,  $efg$  и  $gh$  кривой  $defgh$  являются фрагментами окружностей радиусом  $r$  с центрами в  $a$ ,  $m$  и  $c$ , соответственно. Кривая  $defgh$  не имеет точек перегиба в  $d$ ,  $e$ ,  $g$  и  $h$ , т.к. такие точки физически означали бы бесконечно малый радиус кривизны, что не допускается материалом КС. Поэтому плоская часть, «пьедестал» и «купол» гладко переходят в указанных точках друг в друга. Показана нормаль  $mc$  к кривой  $defgh$  в точке  $g$ . Аналогично, фрагмент нормали показан

в точке  $e$ . Так же  $ad$  и  $ch$  – нормали в точках перехода (сопряжения). В связи с этим, как следует из построения, центры  $a$  и  $c$  радиусов кривизны «пьедестала» и центр  $m$  радиуса кривизны «купола» лежат, соответственно, на прямых  $abc$  и  $kmn$ , равноудалённых от прямой  $хуz$ , проходящей через точки соприкосновения «купола» и «пьедестала»  $e$  и  $g$ . Справедливы соотношения:

$$\begin{aligned} ad = fm = ch = mg = gc = r, \\ ax = xk = by = ym = cz = zn = ak/2; \\ dk = bf = hn = (ak-r). \end{aligned} \quad (1)$$

При этом,

$$xe = gz = eg/2 = xz/4. \quad (2)$$

В трёхмерном представлении, при вращении вокруг оси симметрии  $bm$ , фрагмент  $ef$  (образующая «купола») очерчивает сегмент сферы, а фрагмент  $de$  (образующая «пьедестала») – часть тороидальной поверхности. Далее, если брать в качестве параметра высоту  $H = fy$  сегмента  $efg$  окружности, (т.е. высоту «купола»), то с учётом (2),  $(ey)^2 = r^2 - (r - H)^2$ , откуда получаем выражения для размеров зарождающейся аневризмы: зависимости диаметра «купола»  $eg$  и диаметра «пьедестала»  $dh$  от высоты  $H$  «купола» над «пьедесталом»:

$$eg = 2H \sqrt{\frac{2r}{H} - 1}; \quad dh = 4H \sqrt{\frac{2r}{H} - 1}. \quad (3)$$

Переходная фаза (развитие) рис. 1 (б) является продолжением начальной фазы рис. 1 (а), но содержит следующее качественное отличие. По мере роста аневризмы, прогиб ЛФС увеличивается с сохранением постоянных радиусов  $r$  кривизны. При этом оси  $abc$  и  $kmn$ , на которых находятся центры окружностей  $a$ ,  $m$  и  $c$ , движутся навстречу друг другу. На рис. 1 (б) они *совпали*, проходя через точки  $e$  и  $g$  соприкосновения «купола» и «пьедестала». Для совпавших точек оставлены обозначения  $a$ ,  $m$  и  $c$  центров окружностей. При этом оказалось, что  $ad = ae = em = mf = mg = gc = ch$ , а так же  $H = r$ . С учётом (3), для диаметров «купола» и «пьедестала» это значит, что

$$eg = 2r, \quad dh = 4r. \quad (4)$$

Как следует из (3), с ростом  $H$  от нуля до  $r$ , диаметры «пьедестала» и «купола» *росли*, согласно (4). Качественное отличие фазы рис. 1 (б) состоит в том, что далее они по диаметру не растут. Как показано на рис. 1 (в), «купол» превращается в «пузырёк», «пьедестал» преобразуется в «шейку», а сечение «купола»  $eg$  становится отверстием, через которое полость «пузырька» соединяется с полостью КС через «шейку». При этом далее  $eg$  и  $dh$  остаются неизменными, а растёт только радиус  $R$  «пузырька». Как видно на рис. 1 (в), центры кривизны  $a$  и  $c$  остались на уровне  $eg$ , а точка  $m$  – центр «пузырька», которая на рис. 1 (а) была *ниже* уровня  $eg$ , теперь сместилась в положение *выше* уровня  $eg$  и будет продолжать смещаться *вверх* по мере дальнейшего роста аневризмы (роста «пузырька»).

Как отмечалось, точки  $s$  и  $y$  сопряжения «пузырька» и «шейки» – не могут иметь перегибов, аналогично рис. 1 (а) и (б). Поэтому  $am$  – нормаль к кривой  $desfygh$  в точке  $s$ ; прямоугольные треугольники  $usa$ ,  $qms$  и  $pma$  – подобны. Обозначим  $pa = L$ . Тогда:

$$ua = \frac{Lr}{R+r}; \quad qs = \frac{LR}{R+r}. \quad (5)$$

Из треугольника  $pma$  имеем:

$$L^2 + (2r)^2 = (R+r)^2; \quad (6)$$

тогда:

$$\frac{L}{R+r} = \sqrt{1 - \left(\frac{2r}{R+r}\right)^2}; \quad (7)$$

и далее, с учётом (1) и (7),

$$ud = r + \frac{Lr}{R+r} = r \left( 1 + \sqrt{1 - \left(\frac{2r}{R+r}\right)^2} \right); \quad (8)$$

$$fv = R + \frac{LR}{R+r} = R \left( 1 + \sqrt{1 - \left(\frac{2r}{R+r}\right)^2} \right). \quad (9)$$

Попутно, при  $R = r$  из (6) следует что  $L = 0$ ,  $ua = qs = 0$ ,  $ud = ad = r$  и  $fv = fm = r$ . То же самое следует непосредственно из (8). Т.о., как и должно быть, ситуация рис. 1 (в) сводится к рис. 1 (б), что говорит о согласованности отдельных частей модели.

## 5. Площади поверхностей

Опасность аневризмы – связана с её разрывом, а разрыв с наибольшей вероятностью возникает на наиболее истончённом участке. Собственно, аневризма как раз и характеризуется локальным истончением определённого участка КС [2].

Участок КС – максимально истончается там, где максимально растёт площадь его поверхности. Здесь уместна физическая аналогия с резиновым надувным шариком. Горлышко шарика, через которое его надувают и затем затягивают ниткой, – слабо истончено; но далее за ним следует более-менее шарообразная поверхность, истончающаяся *значительно* и более-менее равномерно по мере надувания шарика. Изначально же, в не надутом состоянии, – и горлышко, и будущая шарообразная часть имеют одинаковую толщину стенок.

В рассматриваемой нами модели изначально состояние – плоскость. В процессе формирования, вплоть до фазы рис. 1 (б), происходит деформация круглого фрагмента плоской поверхности диаметром  $4r$ . При этом центральный круглый фрагмент диаметром  $2r$  «выпячивается» и формируется в «купол», а окружающий его «поясок» шириной  $r$  деформируется в «пьедестал». Таким образом, на рис. 1 (б) полусфера «купола» с площадью поверхности  $S_{\text{купол}} = 2\pi r^2$  получена из круглого фрагмента с поверхностью  $S_0 = \pi r^2$ , а фрагмент тороидальной поверхности, образующий «пьедестал», с площадью  $S_{\text{пьедестал}} = 2(\pi^2 - \pi)r^2$ , получен из «пояска» плоской поверхности с площадью  $S_1 = 3\pi r^2$ . Отметим:

$$S_0 / S_{\text{купол}} = 0,5; S_1 / S_{\text{пьедестал}} = 9,425 / 13,456 = 0,7; \quad (10)$$

т.е. «купол» *efg* рис. 1 (б) получен более значительным растяжением материала КС, чем «пьедестал» *de* и *gh*. Это в целом соответствует физической аналогии с надувным резиновым шариком. Так же, по-видимому, это естественно, т.к. согласно нашей модели рис. 1 (а) первоначальный размер *dh* деформируемого фрагмента КС меньше имеющегося в фазе рис. 1 (б). Т.о. некоторый «поясок» материала КС, бывший сначала в «пьедестале», продолжает растягиваться, меняет знак радиуса кривизны и становится частью «купола». Т.е. неравномерное распределение растяжения материала по радиусу имеется в «пьедестале» изначально.

Далее переходим к расчётам. Площадь фрагмента (пояска) тороидальной поверхности, соответствующего образующей *des*, находим по формуле:

$$S = 2\pi \int_a^b \left( \frac{2r}{\sqrt{r^2 - x^2}} - r \right) dx. \quad (11)$$

Например, для «пьедестала» рис. 1 (б) из (11) при  $a = -1, b = 0, r = 1$  следует значение  $S = 2\pi^2 - 2\pi = 13,456$ , что соответствует (10). Далее, при появлении «пузырька», значение  $b$  изменяется в модели от 0 до предельного значения 1, что соответствует росту радиуса  $R$  «пузырька». При этом, само значение 1 – физически не достижимо, т.к. при нём  $R = \infty$ . «Пузырёк» лопнет раньше. Находим численные значения с шагом 0,1. Это соответствует линейному смещению уровня, обозначенного *usv* на рис. 1 (в), с соответствующим нелинейным ростом радиуса  $R$  «пузырька» *sfy*. Значение  $R$  находим на основе выражения для *ud* (8):

$$R = \frac{2r^2}{\sqrt{r^2 - (ud - 1)^2}} - r. \quad (12)$$

Затем, подставляя  $R$  из (12) в (9), находим высоту *fv* сегмента *sfy* сферической поверхности «пузырька», которая, согласно нашей модели, гладко пристыкована к «шейке» по уровню *su* рис. 1 (в). Площадь поверхности пузырька находим как  $S = 2\pi Rfv$ , а кратность прироста площади поверхности «пузырька» по сравнению с площадью исходной ровной поверхности КС – как  $S/S_0$ . Результаты представлены в виде графиков рис. 2.

По оси абсцисс отложено смещение уровня *iu* относительно уровня *ac* в нормировке по  $r$ . Оно же есть значение  $b$  верхнего предела интегрирования в (11).

Шкала оси ординат – логарифмическая. По ней отложены численные значения величин соответствующих графиков, имеющие разную размерность:  $R$  – линейная величина,  $S_{iu}$  и  $S$  – площадь,  $S/S_0$  – безразмерная. Величины  $R, S_{iu}$  и  $S$  – нормированные, поскольку при расчётах принято  $r = 1$

Как следует из графиков рис. 2, «шейка» аневризмы растёт по площади поверхности существенно медленнее «пузырька». Точка *c* графика

$S_{iu}$  – физически не достижимое предельное значение, при котором графики  $R, S$  и  $S/S_0$  уходят в бесконечность. Точка *a* графика  $S/S_0$  соответствует приблизительно 50-кратному превышению площади поверхности «пузырька» над исходным плоским фрагментом КС, из которого он произошёл. В предположении равномерного использования ресурса роста материала ЛФС, это близко к «генетическому пределу старения».

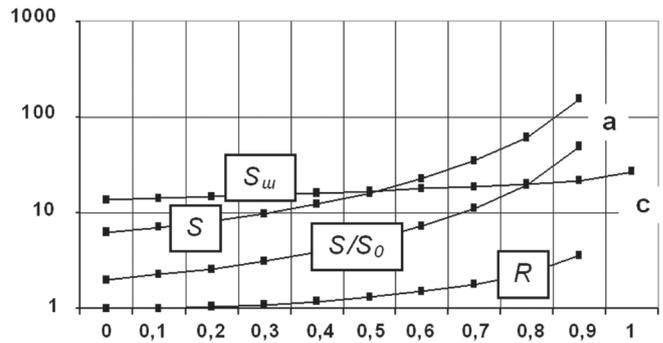


Рис. 2. Графики нормированных зависимостей радиуса  $R$  «пузырька», площадей поверхности «шейки»  $S_{iu}$  и «пузырька»  $S$ , а так же прироста площади поверхности «пузырька»  $S/S_0$  от верхнего предела  $b$  интегрирования в (11)

### 6. Обсуждение модели

В изложенной исходной версии модель не описывает причин формирования аневризмы, и воздействующих на неё факторов. Модель так же не демонстрирует развитие ситуации с оцифровкой во времени. Назначение модели – воспроизведение картины изменения конфигурации аневризмы в процессе её формирования и роста. Однако, по степени развитости размера (площади поверхности) аневризмы, можно судить о числе делений, которых претерпели клетки исходного ЛФС КС, а следовательно об истинном биологическом (генетическом) возрасте материала КС. Здесь уместно привести следующий пример.

На рис. 3, заимствованном из [2, с. 501] представлена прогностическая картина. Имеется две группы больных с сопоставимой сложностью и конкретным одинаковым типом аневризмы. Первая группа *I* прооперирована; больные второй группы *II* отказались от операции. Интерпретация графиков следующая. По прошествии 5 лет осталось в живых 50% прооперированных больных *I* и 10% не прооперированных *II*; по прошествии 10 лет всё ещё живы 20% прооперированных.

Помимо указанной интерпретации графиков, допустима ещё одна, не противоречащая первой (дополнительно построены штрих-пунктирные линии). Верхняя горизонтальная штрих-пунктирная линия: в 60% случаев удаление аневризмы (хирургическое) продлило жизнь пациента по крайней мере на 3 года. Нижняя штрих-пунктирная линия: в 20% случаев удаление аневризмы продлило жизнь по крайней мере на 6 лет. Это значит, что удалённые аневризмы по абсо-

лутным генетическим (теломерным) часам были старше остального организма, соответственно, не менее чем на 3 года и не менее чем на 6 лет.

Пара графиков рис. 3 *непосредственно* не годится в качестве калибровочных кривых:

- нет данных по принадлежности аневризмы к конкретному виду (типу);
- отсутствует информация о степени развитости (размере) конкретной аневризмы;
- не учтено общее физическое состояние больного;
- не учтён возраст больного, коррелирующий, как известно, с общим фоновым генетическим (теломерным) возрастом его организма.

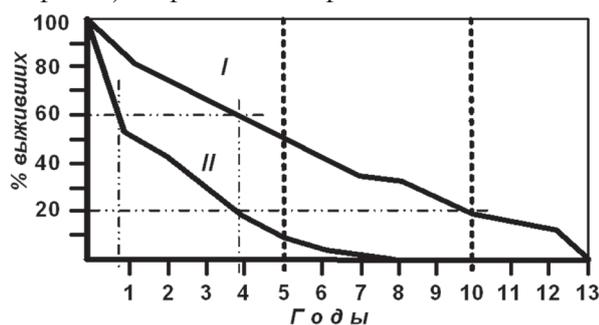


Рис. 3. Сравнительный прогноз [2] выживания оперированных и не оперированных больных при некотором конкретном виде аневризмы

Однако общий принцип совершенствования представленной модели — ясен. Для калибровки модели требуется более обширная статистическая информация, кластеризированная, по крайней мере, по перечисленным признакам. Тогда в последующих усложнённых версиях модели, для заданного типа аневризмы, с учётом текущего (календарного) возраста больного, его общего физического (физиологического) состояния и конкретных параметров (размер, форма, размер КС и др.) аневризмы может быть оценён её генетический (теломерный) возраст, а следовательно — опасность разрыва и все проистекающие из этого осложнения.

## Выводы

Предложена модель начального уровня, воспроизводящая картину изменения конфигурации аневризмы в процессе её формирования и роста, выполненная на основе общих представлений при ограниченной конкретно-фактической информации относительно предметной области и характера явления. Развитие и калибровка модели позволит расширенно использовать её в прогностических целях.

**Список литературы:** 1. Михаль О.Ф. Глобально-исторический контекст развития средств вычислительной техники // Бионика интеллекта: научн. техн. журнал. — 2014. — 1 (82). — С. 55-62. 2. Большая медицинская энциклопедия (БМЭ) 3-е издание (под ред. акад. Петровского Б.В.). — Т.1. — 1975 г. — С.485-515. 3. <https://ru.wikipedia.org/wiki/Теломеры>. 4. Хирургия аневризм головного мозга. Под ред. В. В. Крылова. В трех томах. Том I. Москва, 2011. — 432 с. 5. Мандельброт Б. Фрактальная геометрия природы / The Fractal Geometry of Nature. — М.: Институт компьютерных исследований, 2002. — С. 656.

Поступила в редколлегию 22.05.2015

УДК 681.513

**Математична модель динаміки формування та оцінки небезпеки аневризми** / О.П. Міхаль // Біоніка інтелекту: наук.-техн. журнал. — 2015. — № 2 (85). — С. 67–73.

Запропоновано математичну модель, яка ілюструє динаміку формування аневризми. З застосуванням уявлень про старіння організму на генному рівні, модель при належній калібровці дозволяє оцінити небезпечність аневризми в її поточному стані.

Л. 3. Бібліогр.: 5 найм.

UDK 681.513

**Mathematical model of dynamics of shaping and estimation of dangers of aneurysms** / O.Ph. Mikhal // Bionics of Intel-ligence: Sci. Mag. — 2015. — № 2 (85). — P. 67–73.

A mathematical model is proposed, illustrating the dynamics of the formation of aneurysms. With the involvement of aging the body at the gene level, with appropriate calibration, model is able to evaluate the risk of an aneurysm in her current stage.

Fig. 3. Ref.: 5 items.

УДК 512.816

**М.А. Омаров<sup>1</sup>, Р.И. Цехмистро<sup>2</sup>, А.А. Трубицин<sup>3</sup>**<sup>1,3</sup>ХНУРЭ, г. Харьков, Украина<sup>2</sup>УКРДУЗТ, г. Харьков, Украина**ПОИСК СПОСОБОВ ОЦЕНИВАНИЯ ТЯЖЕСТИ ЗАБОЛЕВАНИЯ АТОПИЧЕСКИМ ДЕРМАТИТОМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОДЕЛИ НЕЧЕТКОГО ВЫВОДА**

В статье рассматривается подход к способам создания экспертных оценок для установления степени заболевания человека атопическим дерматитом путем использования вероятностного подхода на основе Байесовских процессов в сравнении с подходом на основе теории нечетких множеств.

**АТОПИЧЕСКИЙ ДЕРМАТИТ, БАЙЕСОВСКАЯ ОЦЕНКА, БАЗА ДАННЫХ, ЭКСПЕРТНАЯ СИСТЕМА, ЭКСПЕРТНАЯ ОЦЕНКА, НЕЧЕТКОЕ МНОЖЕСТВО**

**Введение**

Проблема прогнозирования течения атопического дерматита является актуальной, ей посвящено немалое количество работ связанных как с диагностикой, так и моделированием процесса заболевания [1]. Одни из сложностей построения эффективных диагностических (экспертных) систем состоит в необходимости учета более 80 данных пациента, необходимости принимать решения о стадии заболевания как на основании объективных так и субъективных данных. Не существует однозначного подхода к построению диагностической оценочной экспертной системы для прогнозирования дерматита. Экспертные системы, как известно, состоят из базы данных, базы знаний и решающего модуля. 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 медицинских экспертных систем. Эта проблема непосредственно связана с созданием и эффективным использованием баз данных из которых берутся исходные данные для выбора и запуска того или иного правила. Правила представляют собой один или несколько алгоритмов, моделирующих процесс диагностики заболевания.

Одним из направлений построения экспертных систем является использование Байесовских сетей доверия в сравнении с использованием теории нечеткой логики [2-4]. Это приобретает особую актуальность в связи с необходимостью эффективного поиска информации в базах данных, что в немалой степени используется в алгоритмах моделирующих процессы диагностики и прогнозирования заболеваний [3-5].

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 позволяет практически мгновенно

выводить данные из таблиц с количеством символов более 10 000 и взаимодействовать между таблицами. Системы подобные PostgreSQL позволяют еще и проводить вычисления в таблицах используя встроенный язык программирования. Однако подобные средства разработки (Oracle, PostgreSQL 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. Коммерческие средства разработки экспертных систем недостаточно адаптированы под конкретные отечественные условия и несколько дорогостоящи.

Следовательно, разработкой конкретной медицинской экспертной системы под конкретное заболевание необходимо с точки зрения программирования начинать с методов моделирования течения заболевания.

В оценке состояния больного, страдающего атопическим дерматитом (АД) и для принятия решений, связанных с выбором дальнейшей тактики лечения, важную информацию для лечащего врача дает анализ субъективных факторов заболевания.

На сегодняшний день для характеристики тяжести АД наиболее часто используется система SCORAD (scoring of atopic dermatitis). Индекс SCORAD представляет собой результат суммирования баллов, полученных при субъективной оценке выраженности и распространенности проявления заболевания.

Например, площадь поражения кожи, оценка интенсивности морфологических элементов дерматита, сумма баллов субъективных признаков (зуд+нарушение сна).

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 диагностикой больного и принятия решений относительно дальнейшей стратегии лечения.

Выработка практических рекомендаций для построения экспертной системы оценки состояния больного на основе базы знаний и алгоритмов теории нечетких множеств путем анализа базы знаний.

### 1. Постановка задачи

В исследовании использовались данные пациентов, полученные на базе кафедры пропедевтики №2 ХНМУ.

В рамках задачи оценки состояния больного АД в качестве лингвистических переменных использовались такие качественные показатели АД как: оценка площади поражения кожи; оценка морфологических элементов сыпи; оценка субъективных симптомов.

Лингвистическая переменная «оценка площади поражения» была представлена как:

$$\langle b1, S, X1, G1, M1 \rangle,$$

где  $b1$  – площадь поражения(в %);  $S = \{“S_{\min}$  – малая область поражения”, “ $S_{\text{сред}}$  – средняя область поражения”, “ $S_{\text{знач}}$  – значительная область поражения”};  $X1 = [0, 100]$  – количество термов (элементов множества);  $G1$  – процедура образования новых термов с помощью логических связок “И”, “ИЛИ” и модификаторов типа “очень”, “НЕ”, “слегка” и др.;  $M1$  – процедура семантические правила, задающие функции принадлежности нечетких термов, порожденных синтаксическими правилами  $G1$ .

Лингвистическая переменная «оценка морфологических проявлений сыпи» была представлена как:

$$\langle b2, K, X2, G2, M2 \rangle,$$

где  $b2$  – оценка морфологических проявления сыпи;  $K = \{“0$  – отсутствует”, “ $K_{\text{лег}}$  – легкая”, “ $K_{\text{сред}}$  – средняя”, “ $K_{\text{тяж}}$  – тяжелая”};  $X2 = [0, 18]$  – 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  $G2$ .

Лингвистическая переменная «оценка субъективных симптомов», оценивающая зуд и нарушение сна в баллах по 10 бальной шкале для каждого из признаков, представлена как:

$$\langle b3, C, X3, G3, M3 \rangle,$$

где  $b3$  – оценка субъективных симптомов;  $T3 = \{“C_{\text{лег}}$  – незначительное беспокойство”, “ $C_{\text{умер}}$  – умеренное беспокойство”, “ $C_{\text{сред}}$  – среднее беспокойство”, “ $C_{\text{знач}}$  – значительно беспокойство”, “ $C_{\text{умер}}$  – сильное беспокойство”, “ $C_{\text{очень знач}}$  – очень сильное беспокойство”};  $X3 = [0, 20]$  – 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  $G3$ .

Лингвистическая переменная «степень тяжести состояния больно» была представлена как:

$$\langle b4, T4, X4, G4, M4 \rangle,$$

где  $b4$  – степень тяжести состояния больного;  $T4 = \{“легкая$  степень тяжести”, “средняя степень тяжести”, “тяжелое состояние”, “очень тяжелое состояние”};  $X4 = [0, 10]$ ;  $G4$  – 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 (1).

$$\mu(b1, b2, b3, S, K, C) = \left\{ \begin{array}{l} d_{\text{лег}} \text{ if } ((0 < b1 \leq S_{\min}) \text{ and } (0 < b2 \leq K_{\text{лег}}) \text{ and } (0 < b3 \leq C_{\text{лег}})) \\ \text{or } ((S_{\min} < b1 \leq S_{\text{сред}}) \text{ and } (0 < b2 \leq K_{\text{лег}}) \text{ and } (C_{\text{лег}} < b3 \leq C_{\text{умер}})) \\ d_{\text{сред}} \text{ if } ((S_{\min} < b1 \leq S_{\text{сред}}) \text{ and } (C_{\text{лег}} < b2 \leq K_{\text{сред}}) \text{ and } (C_{\text{умер}} < b3 \leq C_{\text{сред}})) \\ d_{\text{тяжел}} \text{ if } ((0 < b1 \leq S_{\min}) \text{ and } (C_{\text{лег}} < b2 \leq K_{\text{сред}}) \text{ and } (C_{\text{сред}} < b3 \leq C_{\text{знач}})) \\ d_{\text{очень тяжел}} \text{ if } \left( \begin{array}{l} (S_{\text{сред}} < b1 \leq S_{\text{знач}}) \text{ and } (C_{\text{лег}} < b2 \leq K_{\text{сред}}) \\ \text{and } (C_{\text{знач}} < b3 \leq C_{\text{очень знач}}) \end{array} \right) \\ \text{or } ((S_{\text{сред}} < b1 \leq S_{\text{знач}}) \text{ and } (C_{\text{сред}} < b2 \leq K_{\text{тяжел}}) \text{ and } (C_{\text{умер}} < b3 \leq C_{\text{знач}})) \\ \text{or } ((S_{\text{сред}} < b1 \leq S_{\text{знач}}) \text{ and } (C_{\text{лег}} < b2 \leq K_{\text{сред}}) \text{ and } (C_{\text{знач}} < b3 \leq C_{\text{очень знач}})) \end{array} \right. \quad (1)$$

В данном соотношении присутствует пять переменных, не считая констант на которые раскладываются переменные  $S, K, C$ , что затрудняет построение функции принадлежности в явном виде.

**2. Аналитический анализ**

Аналитические зависимости между термом  $d_i$  и переменными  $b_1, b_2, b_3$  устанавливается в случае объединения множеств  $S, K, C$ , либо рассмотрения по отдельности каждого множества. Например, введя в рассмотрение  $a = 0, b = S_{\min}, c = S_{\text{сред}}, b = S_{\text{знач}}$  получим трапецидальную функцию принадлежности

$$\mu(b1) = \begin{cases} d1 = \left(1 - \frac{S_{\min} - b1}{S_{\min}}\right), (0 < b1 \leq S_{\min}) \\ d2 = 1, (S_{\min} < b1 \leq S_{\text{сред}}) \\ d3 = \left(1 - \frac{b1 - S_{\text{сред}}}{S_{\text{тяжел}} - b1}\right), (S_{\text{сред}} < b1 \leq S_{\text{тяжел}}) \\ d4 = \text{"другие варианты"} \end{cases} \quad (2)$$

Аналогичные треугольные или трапецидальные принадлежности можно представить и для множеств  $K$  и  $C$  если рассматривать эти факторы по отдельности, однако это не будет описывать реальную базу знаний для диагностики заболевания, 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 Болдвинном [5-9].

Применяя квантификаторы, получим функции принадлежности термов применительно к соотношению (1) в предположении наличия одного нечеткого множества (признака заболевания), например проявление сыпи:

$$\begin{aligned} -\mu_{\text{сред}}(X2) &= d_{\text{сред}}(b2) = d_{\text{лег}}(b2)^2; \\ -\mu_{\text{тяж}}(X2) &= d_{\text{тяж}}(b2) = 1 - d_{\text{лег}}(b2). \end{aligned} \quad (3)$$

Данные соотношения представлены для нечеткого множества  $K$ , для нечеткого множества  $S$  с константами ( $S_{\min}, S_{\text{сред}}, S_{\text{знач}}$ ) функции принадлежности имеют вид:

$$\begin{aligned} -\mu_{\text{сред}}(X1) &= d_{\text{сред}}(b1) = d_{\min}(b1)^2; \\ -\mu_{\text{тяж}}(X1) &= d_{\text{тяж}}(b1) = 1 - d_{\min}(b1). \end{aligned} \quad (4)$$

Для нечеткого множества  $C$  определяем следующие функции принадлежности принимая во внимание большее число констант характеризующих границы степеней заболевания:

$$\begin{aligned} -\mu_{\text{умер}}(X3) &= d_{\text{умер}}(b3) = d_{\text{лег}}(b3)^{1/2}; \\ -\mu_{\text{сред}}(X3) &= d_{\text{сред}}(b3) = d_{\text{знач}}(b3)^{1/2}; \\ -\mu_{\text{знач}}(X3) &= d_{\text{знач}}(b3) = 1 - d_{\text{лег}}(b3); \\ -\mu_{\text{оченьзнач}}(X3) &= d_{\text{оченьзнач}}(b3) = d_{\text{знач}}(b3)^2. \end{aligned} \quad (5)$$

Таким образом мы имеем дело с тремя нечеткими множествами  $S, K, C$  с разным значени-

ем конечных элементов(термов)  $b1=X1=\{0...100\}, b2=X2\{0...18\}, b3=X3\{0..20\}$  в каждом множестве и с разным количеством функций принадлежности, которые обуславливаются медицинскими потребностями в рассматриваемой ситуации.

Для эффективной оценки состояния больного мы не можем уменьшить количество функций принадлежности и безосновательно пренебрегать количеством функций принадлежности данных на рассмотрение нечетких множествах.

Рассмотрим 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. Отношение с нечеткими множествами строятся на определенных правилах, наиболее важными из которых являются объединение и пересечения (правило ассоциативности для трех множеств):

$$\begin{aligned} -\mu_{S \cup K \cup C} &= \max(\mu_S(x), \max(\mu_K(x), \mu_C(x))), \\ -\mu_{S \cap K \cap C} &= \max(\mu_S(x), \max(\mu_K(x), \mu_C(x))). \end{aligned} \quad (6)$$

Введем в рассмотрение множество  $KC$  путем объединения множеств  $K$  и  $C$  для которого:

$$\begin{aligned} -\mu_{K \cup C} &= \max(\mu_K(x), \mu_C(x)), \\ -\mu_{K \cap C} &= \max(\mu_K(x), \mu_C(x)), \end{aligned}$$

и выражения для отрицаний и импликаций:

$$\begin{aligned} \mu_{\overline{KC}}(X) &= 1 - (\mu_{KC}(x)), \\ \mu_{S=KC}(X) &= \max(1 - \mu_S(x), \mu_{KC}(x)). \end{aligned}$$

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. 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 разнообразные 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.н.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.

Треугольной нормой ( $t$ -нормой) называется двуместная действительная функция  $T$ , ото-

бражающая две функции принадлежности нормальных нечетких множеств  $\mu_A(x)$ ,  $\mu_B(x)$  в одну функцию принадлежности нормального нечеткого множества и удовлетворяющая следующим условиям: Рассмотрим вначале дизъюнктивную сумму множеств  $S$  и  $K$ , отметим что данные множества являются не доминируемыми:

$$S \otimes K = (S - K) \cup (K - S) = (S \cap \bar{K}) \cup (\bar{K} \cap S), \quad (7)$$

с функцией принадлежности

$$\mu_{S-K}(X) = \max \left\{ \begin{array}{l} (\min(\mu_S(x), 1 - \mu_K(x))); \\ (\min(1 - \mu_S(x), \mu_K(x))) \end{array} \right\},$$

$$\mu_{A-B}(X) = \max \left\{ \begin{array}{l} (\min(\mu_A(x), 1 - \mu_B(x))); \\ (\min(1 - \mu_A(x), \mu_B(x))) \end{array} \right\}.$$

Результаты расчетов в системе Mathcad представлены на рис.1, на котором представлены две кривые; верхняя соответствует дизъюнктивной сумме  $S \oplus K$  ( $REZ^2$ ), а нижняя  $\mu_{S-K}(x)$  ( $\mu REZ^2$ ) аргументом обеих функций являются элементы множества  $S$ , заданные в таблице 4.

Из рисунка видно, 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.

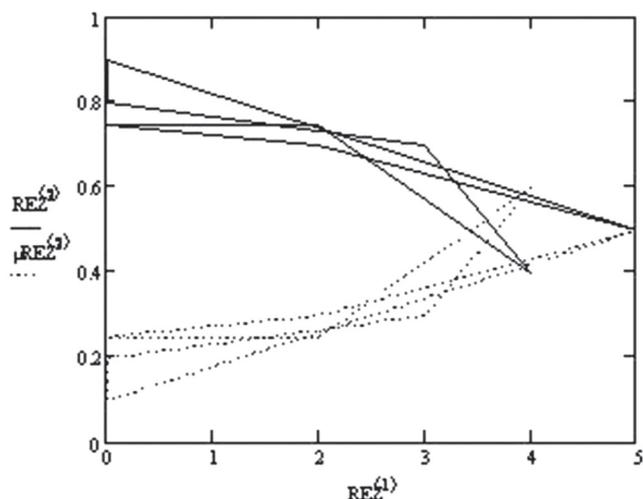


Рис. 1. Функции принадлежности множества S и K

## 2. Численный анализ

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 медицинского обследования пациента по трем признакам: оценка площади поражения кожи; оценка морфологических элементов сыпи; оценка субъективных симптомов рассмотрим таблицу1 диагностики 10 (де-

сяти) пациентов обследованных на атопический дерматит.

Представим их результаты в упрощенном виде при котором количество значащих элементов одинаково, т.е. соответствует 10, однако если одно и тоже значение множества встречается более одного раза количество переменных уменьшается.

Таблица 1

Данные 10 пациентов больных дерматитов

Номер больного	SCORAD	Площадь поражения кожи (баллы) – S (100макс.)	Субъективные признаки (зуд) – C (10макс.)	Сумма баллов объективных признаков – K (эритема, отек, сухость) (18 макс.)
1	38	5	5	8
2	61	95	5	9
3	28	10	2	6
4	21	20	0	5
5	20	4	2	5
6	60	12	4	15
7	24	20	3	5
8	15	5	0	4
9	7	0	0	2
10	20	2	5	8

Например, в множестве K значение 5 встречается у 4-ого, 5 и 7 пациента, таким образом увеличивается их степень принадлежности значения 5 составляет 0,3.

Таблица 2

Степень присутствия признака S в группе больных

Степень принадлежности элементов множества S	0,2	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1
Значение элементов множества S	5	95	10	20	4	12	2

Таблица 3

Степень присутствия признака K в группе больных

Степень принадлежности элементов множества K	0,2	0,1	0,1	0,3	0,1	0,1	0,1
Значение элементов множества K	8	9	6	5	4	15	2

Таблица 4

Степень присутствия признака C в группе больных

Степень принадлежности элементов множества C	0,3	0,2	0,3	0,1	0,1
Значение элементов множества C	5	2	0	4	3

Рассмотрим матрицу оценок заболевания девяти пациентов конкретным врачом.

Матрица оценок из таблицы 1 имеет вид (8):

$$M = \begin{pmatrix} 5 & 5 & 8 \\ 95 & 5 & 9 \\ 10 & 2 & 6 \\ 20 & 0 & 5 \\ 4 & 2 & 5 \\ 12 & 4 & 15 \\ 20 & 3 & 5 \\ 5 & 0 & 4 \\ 0 & 0 & 2 \end{pmatrix}. \tag{8}$$

Целесообразно представить все три качества в системе с одинаковым максимальным количеством баллов для каждой группы. Однако по количеству баллов, которыми пользуются медики для каждого фактора можно судить о степени важности каждого фактора. На рис. 2 представлена зависимость  $Cr_i = f(i)$  – усредненное графическое отображение оценок больных врачом по каждому фактору, соотношению (9):

$$Cr_i = \frac{1}{m} \sum_{j=0}^{m-1} M_{j,i}. \tag{9}$$

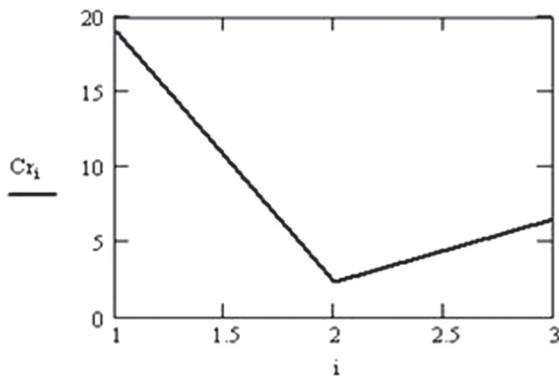


Рис. 2 Усредненное графическое отображение оценок больных по каждому фактору

На рис. 3 представлена зависимость  $Eksprt_j = f(j)$  усредненное графическое отображение общей оценки состояния конкретного больного по соотношению (10):

$$E_{kspjt_j} = \frac{1}{n} \sum_{j=0}^{n-1} (M^T)_j. \tag{10}$$

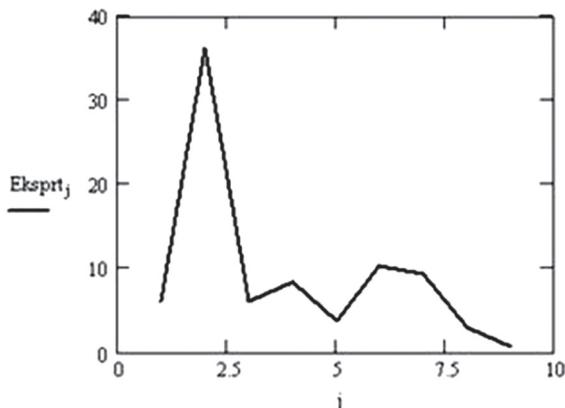


Рис. 3. Общая оценка состояния конкретного (j-) больного

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 обследования больных проводится по соотношению:

$$\alpha_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \left( \frac{M_{j,i}}{\sum_{i=1}^m M_{j,i}} \right), \tag{11}$$

$$\alpha = \begin{pmatrix} 0.503 \\ 0.095 \\ 0.402 \end{pmatrix},$$

$$\alpha^T = (0.503 \quad 0.095 \quad 0.402).$$

Расчет средневзвешенной оценки результатов обследования больных в баллах:

$$K_m = \frac{1}{n} \cdot \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m (\alpha_i \cdot M_{j,i}) = 12,413. \tag{12}$$

Весовые коэффициенты  $i$  (строка) фактора заболевания (переменной) в общей оценке заболевания каждого пациента  $j$  (столбец):

$$\alpha_{i,j} = \frac{M_{j,i}}{\sum_{i=1}^m M_{j,i}}, \tag{13}$$

$$\alpha = \begin{pmatrix} 0,276 & 0,872 & 0,556 & 0,8 & 0,364 & 0,387 & 0,714 & 0,556 & 0 \\ 0,278 & 0,046 & 0,111 & 0 & 0,182 & 0,129 & 0,107 & 0 & 0 \\ 0,444 & 0,083 & 0,333 & 0,2 & 0,455 & 0,484 & 0,179 & 0,444 & 1 \end{pmatrix}.$$

Оценка результирующего вывода о заболевании пациентов при равной значимости весовых коэффициентов:

$$K_m^1 = \frac{1}{n} \cdot \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m \left( \frac{M_{j,i}}{n} \right) = 3,099. \tag{14}$$

Численные значения весовых коэффициентов для трех признаков.

В числителях находятся коэффициенты, величина которых зависит от приоритетности признаков. Признак  $S = 0.95$  для  $(\alpha_1)$ ,  $K = 0.8$  для  $(\alpha_2)$ ,  $C = 0.5$  для  $(\alpha_3)$ . Поскольку приоритеты уже учтены баллах отводимые на каждый признак:

$$\alpha_1 = \frac{1,15}{n}, \alpha_2 = \frac{0,95}{n}, \alpha_3 = \frac{0,95}{n}.$$

Оценка степени заболевания пациента, при разном значении весовых коэффициентов учитывающих приоритеты признаков представлена как:

$$\alpha_1 = \frac{1,15}{n}, \alpha_2 = \frac{0,95}{n}, \alpha_3 = \frac{0,95}{n}, \tag{15}$$

$$K1 = 9.462.$$

Данное оценивание нельзя назвать абсолютно четким показало, что средневзвешенная оценка заболевания пациентов врачом составило 12,5 усл. баллов. При предположении равнозначности весовых коэффициентов оценка заболевания боль-

ных пациентом падает до 3,1 усл. баллов. При учете приоритета признаков оценка заболевания составляет 9,5 усл. баллов. Данный метод экспертного оценивания основывается на гипотезе равной значимости весовых коэффициентов, значения которых четко зависят от максимального количества баллов, которые определяются медиками по определению. К тому же его нельзя назвать методом четкого оценивания, поскольку есть необходимость учета приоритета признаков.

Для установления влияния приоритетности, ввиду их важности признаков проведем дополнительное Байесовское оценивание.

Рассмотрим определения важности одного из трех приведенных диагностических признаков. Разделим приведенные диагностические признаки в зависимости от их важности (табл. 5). Важность определим следующим образом: средняя важность –  $K$ , существенная важность –  $S$ , малосущественный признак –  $C$ . Таким образом рассматривая конкретный признак существует три варианта. Признак попадает в одну из трех групп. Примем, что 50% признаков имеет среднюю важность, 20% признаков имеют существенную важность и 30% признаков не существенно важны. Априорные вероятности в данном случае  $P(B_1)=0,5$ ,  $P(B_2)=0,3$ ,  $P(B_3)=0,2$ . Одними из критериев важности того или иного признака является использование его врачами и указывание на него пациентами. Существенный признак используют 80% процентов врачей. 50% процентов врачей используют признак средней важности, и 20% процентов врачей используют также малосущественные признаки. Укажем также на то, что на существенный признак отмечается 80 % больных  $P(A_2/B_1)=0,8$  у которых данный признак явно присутствует, на несущественный указывает 40% больных (среди тех у которых он явно указывает на дерматит),  $P(A_2/B_3)=0,8$  на признак средней важности указывает 20 % больных  $P(A_2/B_1)=0,2$  (однако по обследованиям он полностью подтверждает дерматит).

Вероятность того что признак  $S$  для себя приоритетным считают указывает 80 проц. врачей  $P(A_1/B_1)=0,8$ . Признак “ $K$ ” приоритетным для себя считают 50 проц. врачей. И 20 проц. врачей считают необходимым учитывать признак –  $C$ .

Таблица 5

Распределение вероятностей по признакам важности

Вероятность	1 средняя важность признака	2 низкая важность признака	3 высокая важность признака
$P(B_i)$	0,5	0,3	0,2
$P(A_1/B_i)$	0,8	0,5	0,25
$P(A_2/B_i)$	0,8	0,2	0,4

$$P\left(\frac{B_i}{A_i}\right) = \frac{P\left(\frac{A_i}{B_i}\right) \cdot P(B_i)}{\sum_{k=1}^3 P\left(\frac{A_i}{B_k}\right) \cdot P(B_k)}, \quad (16)$$

$$P\left(\frac{B_1}{A_1}\right) = \frac{0,8 \cdot 0,5}{0,8 \cdot 0,5 + 0,5 \cdot 0,2 + 0,25 \cdot 0,2} = \frac{0,4}{0,6} = 0,66,$$

$$P\left(\frac{B_2}{A_2}\right) = \frac{0,5 \cdot 0,3}{0,8 \cdot 0,5 + 0,5 \cdot 0,3 + 0,25 \cdot 0,2} = \frac{0,15}{0,6} = 0,25,$$

$$P\left(\frac{B_3}{A_3}\right) = \frac{0,25 \cdot 0,2}{0,8 \cdot 0,5 + 0,5 \cdot 0,3 + 0,25 \cdot 0,2} = \frac{0,05}{0,6} = 0,083.$$

После того как жалобы больных на возможное присутствие деоматита полностью подтвердилось, доверия к предположениям  $B_2$  и  $B_3$  потеряло важность, т. е. признаки средней и меньшей значимости подтверждаются как мнением врачей так и жалобами пациентов с меньшей вероятностью. Событие  $A_1$  – использование врачом признака как главного  $A_2$  – жалоба пациента на признак заболевания.  $B_1$  – диагностический признак имеет существенную важность,  $B_2$  – диагностический признак имеет среднюю важность,  $B_3$  – признак имеет малую важность.

Если независимость событий  $A_2$  и  $A_3$  объективна, то при верности гипотез  $B_1$ ,  $B_2$ ,  $B_3$  проведем оценки по формуле Байеса в следующем виде [8-10]:

$$P\left(\frac{B_i}{A_1 A_2}\right) = \frac{P\left(\frac{A_1}{B_i}\right) \cdot P\left(\frac{A_2}{B_i}\right) \cdot P(B_i)}{\sum_{k=1}^3 P\left(\frac{A_1}{B_k}\right) \cdot P\left(\frac{A_2}{B_k}\right) \cdot P(B_k)}, \quad (17)$$

$$P\left(\frac{B_1}{A_1 A_2}\right) = \frac{0,8 \cdot 0,5 \cdot 0,8}{0,8 \cdot 0,8 \cdot 0,5 + 0,5 \cdot 0,3 \cdot 0,2 + 0,25 \cdot 0,2 \cdot 0,4} = 0,86,$$

$$P\left(\frac{B_2}{A_1 A_2}\right) = \frac{0,8 \cdot 0,5 \cdot 0,8}{0,8 \cdot 0,8 \cdot 0,5 + 0,5 \cdot 0,3 \cdot 0,2 + 0,25 \cdot 0,2 \cdot 0,4} = 0,86,$$

$$P\left(\frac{B_3}{A_1 A_2}\right) = \frac{0,3 \cdot 0,5 \cdot 0,2}{0,8 \cdot 0,8 \cdot 0,5 + 0,5 \cdot 0,3 \cdot 0,2 + 0,25 \cdot 0,2 \cdot 0,4} = 0,08,$$

$$P\left(\frac{B_3}{A_1 A_2}\right) = \frac{0,2 \cdot 0,25 \cdot 0,4}{0,8 \cdot 0,8 \cdot 0,5 + 0,5 \cdot 0,3 \cdot 0,2 + 0,25 \cdot 0,2 \cdot 0,4} = 0,05.$$

Данные оценки подтверждают оценки по предыдущему соотношению с использованием экспертного оценивания.

### Выводы

Построенная модель базы знаний позволяет проводить экспертную оценку степени заболевания (или его отсутствия) пациента атопическим дерматитом. Численный анализ функций принадлежности термов от их значений при разном количестве термов показал реальные результаты качественно сопоставимые с результатами медицинского об-

следования. Использование разного количества термов, т.е. разные размеры исходных множеств, в предложенном методе не существенно повлияли на усложнение алгоритмов численного анализа базы знаний благодаря использованию матричного представления матричного представления введенных в рассмотрение нечетких множеств. Данный подход является менее наглядным, но практически более универсальным, нежели использование функций одной и более переменных для определения функций принадлежности, с помощью которых строится база знаний. К тому же он более функционален для построения экспертных систем, поскольку легче реализуются в средствах разработки связанных с базами данных [11, 12].

Проведенное экспертное оценивание с использованием средневзвешенных оценок и Байесовское оценивание четко показали необходимость учета приоритетности признаков заболевания при построении базы знаний и необходимости установления взаимосвязи между количеством баллов отводимых на оценку каждого признака с их приоритетностью.

Учет приоритетности признаков заболевания также важен для скорейшего определения диагноза, поскольку больные могут указывать на различные признаки. Приоритетность признаков заболевания также может варьироваться при разных стадиях заболевания.

На основании предложенного подхода в дальнейшем появляется реальная возможность выработки методик получения поправок к признаку SCORAD.

**Список литературы:** 1. Бых А.И. Метод анализа иерархии при построении мультифакторных моделей дифференциальной диагностики атопического дерматита / А.И. Бых, Е.В. Высоцкая, И.И. Ключник, А.А. Трубицин, А.П. Порван. // Восточно-Европейский журнал передовых технологий 2009 с. 5-8. 2. Клименко В.А. Информационная система диагностики и прогнозирования атопического дерматита у детей / В. А. Клименко, А. П. Порван, А. А. Трубицин. // Системы обработки информации. – Х.:ХВУ, 2004. – Вып. 8 (47). – С. 27-33. 3. Кораблев Н.М. Сравнительный анализ методов определения абсолютных приоритетов признаков при нечеткой исходной информации / Н.М. Кораблев, А.С. Непокупный, Алзин Ферас // Системы обработки информации. – Х.:ХВУ, 2005. – Вып. 9 (49). – С. 75-83. 4. Бых А.И. Разработка модели базы данных информационной системы зберігання та обробки інформації про пацієнтів із захворюваннями різними дерматозами / Бых А.И., Панфьорова І.Ю., Висоцька О.В., Жуков В.І., Кириченко Ю.В. // Вісник НТУ “ХПІ”. Тематичний

випуск: Інформатика і моделювання. – Харків: НТУ “ХПІ”. – 2010. – № 31. – С. 23 – 29. 5. Поворознюк А.И. Модель нечеткой экспертной системы прогноза риска развития профессионально обусловленных заболеваний / А.И. Поворознюк, Н.А. Чикина, И.В. Антонова // Системы обработки информации, 2010, вып. 5(86). 6. Baldwin J.F. Fuzzy logic and fuzzy reasoning. - London, Academic Press, 1981.] 7. Кораблёв Н.М. Дифференциальная диагностика аллергодерматозов с использованием адаптивной модели нечеткого вывода / Н.М. Кораблёв, И.В. Сорокина, А.Э. Макогон // Системы обработки информации, 2009, вып. 3(77). 8. Штовба С.Д. Проектирование нечетких систем средствами MATLAB / С.Д. Штовба. – М.: Горячая линия-Телеком, 2007. – 288с. 9. Брежнев Е.В. Модель прогнозирования риска с использованием нечеткого вывода / Е.В. Брежнев, А.А. Адаменко // Системы обработки информации, 2009, вып. 2(76). 10. Леоненков А. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH / Леоненков А. СПб.: БХВПетербург, 2005. – 736 с. 11. Цехмістро Р.І. Розробка транслятора простої мови програмування. / Цехмістро Р.І., Цимбал А.М., // Радиоелектроника и информатика №1(32) 2006. – С. 57-65. 12. Thekhmistro R.I. The comparative analysis of a multiprobe microwave multimeters with involvement of processing by the kalman filtering and the least-squares methods with regard for re-reflection of probes O.B. Zaichenko, I.I. Klyuchnik, M.A. Miroshni, R.I Thekhmistro - Telecommunications and Radio Engineering, 2015 p.79-86.

Поступила в редколлегию 2.06.2015

УДК 512.816

**Пошук способів оцінювання тяжкості захворювання атопічний дерматит з використанням моделі нечіткого виведення / М.А. Омаров, Р.І. Цехмістро, А.А. Трубицин // Біоніка інтелекту: наук.-техн. журнал. – 2015. – № 2 (85). – С. 74–80.**

Проведене експертне оцінювання з використанням середньозважених оцінок і Байесова оцінювання чітко показали необхідність врахування пріоритетності ознак захворювання при побудові бази знань і необхідності встановлення взаємозв'язку між кількістю балів відводяться на оцінку кожної ознаки з їх пріоритетністю. Табл. 5. Іл. 3. Бібліогр.: 12 найм.

UDC 512.816

**Search sposobov otsenyvaniya gravity with atopic dermatitis disease using the fuzzy logic model / М.А. Omarov, R.I. Tsekhmistro, A.A. Trubitsin // Bionics of Intelligense: Sci. Mag. – 2015. – № 2 (85). – P. 74–80.**

Of expert evaluation using a weighted average of estimates and Bayesian estimation clearly showed the need to consider the priority of signs of disease in the construction of knowledge and the need to establish the relationship between the number of points allocated to the assessment of each characteristic to their priority .

Tab. 5. Fig. 3. Ref.: 12 items.

УДК 004.42:617.7



К.В. Кривошеєв

СНУ ім. В.Даля, м. Северодонецьк, Україна, kinst@hotmail.com

## МЕТОД ПОБУДОВИ ГРАФІЧНИХ СТИМУЛІВ ДЛЯ СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ПРИ ДІАГНОСТУВАННІ ЗОРУ

Проведено аналіз існуючих моделей, методів та інформаційних технологій діагностики просторового зору людини. Запропоновано нову комп'ютерну методику діагностування зору людини на основі фізіологічної структури сітківки ока. Розроблено метод відображення графічних стимулів для діагностики, також вдосконалено алгоритм розмиття за Гауссом для задачі, що розв'язується. Базуючись на розроблених та вдосконалених методах створено систему підтримки прийняття рішень при діагностуванні зору людини.

МЕТОД, ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ, СИСТЕМА ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ, ГРАФІЧНИЙ СТИМУЛ, ПРОСТОРОВА КОНТРАСТНА ЧУТЛИВІСТЬ, ДІАГНОСТИКА ЗОРУ

### Вступ

Великий темп життя вимагає більш швидкого аналізу стану здоров'я людини: з позиції пацієнта, актуальним є відсутність якісних інформаційних технологій (ІТ), що надають можливість провести первинний огляд без лікаря або порадитися з ним не виходячи з дому чи офісу; з боку лікаря – велике навантаження призводить до розгляду усіх випадків захворювання однаково та не дозволяє зосередитися на ускладнених випадках захворювання [2, с.368].

Розробка ІТ медичного призначення, а саме, систем підтримки прийняття рішень (СППР), дозволяють подолати перешкоди на шляху встановлення правильного діагнозу, скоротити час обстеження та надати лікарю необхідну інформаційну підтримку. Така підтримка найбільш актуальна при проведенні первинного огляду. Прикладом може бути проведення планового огляду у лікаря офтальмолога, а саме діагностика просторового зору людини (ПЗЛ).

### 1. Аналіз існуючих методів

Оцінкою передатних функцій просторового зору людини займалося багато вітчизняних і закордонних вчених: Белозерів А.Е., Владимиров С.М., Волков В.В., Денисенко А.О., Колесникова Л.И., Колесникова Л.Н., Левкович Ю.И., Макулов В.Б., Мосин И.М., Паук В.Н., Пантелеєв Г.В., Шамшинова А.М., Шапиро В.М., Шелєпин Ю.Е. Велика увага приділяється розробкам СППР у роботах наступних авторів: Гусєва С.Є., Крутов С.І., Ляшенко Т.В., Рамазанов С.К., Руденко М.А., Симанков В.С., Халафян А.А. та інших. [1].

У роботах авторів сформовано базові принципи та моделі побудови СППР, також розкрито основні принципи оцінки просторового зору людини. Однак, в існуючих дослідженнях не вирішувалась проблема оцінки просторового зору людини на етапі діагностики виходячи з фізіологічної структури сітківки, саме це зумовило вибір теми дослідження.

Таким чином, метою цієї роботи є підвищення ефективності процесу діагностування очних захворювань за рахунок розробки інформаційної технології у вигляді системи підтримки прийняття рішень для оцінки стану зору людини.

### 2. Виклад основного матеріалу

Для досягнення поставленої мети сформовано та вирішено наступні задачі:

- розроблено метод формування питань експертної системи;
- удосконалено метод розмиття зображення за Гауссом;
- розроблено математичну модель ідентифікації діагнозу в умовах невизначеності;
- розроблено інформаційну технологію та її алгоритми на основі створених математичних моделей та методів;
- апробовано розроблену інформаційну технологію прийняття рішень у вигляді СППР, що була розроблена.

Розглянемо метод формування питань експертної системи детальніше.

Для полегшення прийняття рішень в області медицини створюються й широко розповсюджуються комп'ютерні медичні експертні системи (ЕС), які припускають наявність списку питань.

Інформація, що закладена у питаннях, може бути не тільки текстова, але й графічна, у вигляді стимулів збудження, кардіограм, рентгенограм та ін. Система аналізує всі параметри, враховуючи історію хвороби пацієнта, що зберігається у базі даних (БД), і пропонує лікарєві свій варіант діагнозу та перелік подальших дій (остаточне рішення ухвалює лікар). При цьому система ґрунтується на базі знань кваліфікованих фахівців, яка створювалася при розробці ІТ.

У даній роботі в якості «питань» використовується графічне зображення гексагональних сіток – стимулів (рис. 1) [1].

Для побудови подібних стимулів скористаємося властивостями правильного шестикутника, вписаного у коло з радіусом  $R$ , усі його сторони

дорівнюють цьому радіусу  $a = R$ . Кути між радіусом окружності та сторонами шестикутника дорівнюють 60 градусам.

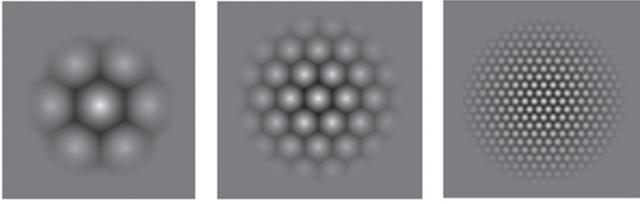


Рис. 1. Питання ЕС

Сітка відображається симетрично за висотою від центра поля стимуляції (рис. 2), тому необхідно обчислити відстань між центрами сусідніх вічок і по ширині, і по висоті. При цьому потрібно врахувати половинний зсув  $\delta$  між рядками решітки.

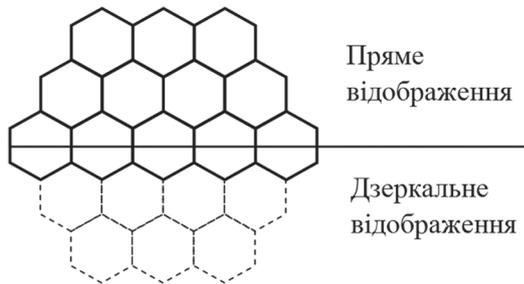


Рис. 2. Симетричне відображення стимулів

Для визначення відстані між центрами сусідніх вічок (патернів) при побудові сітки скористаємось властивостями правильного трикутника:

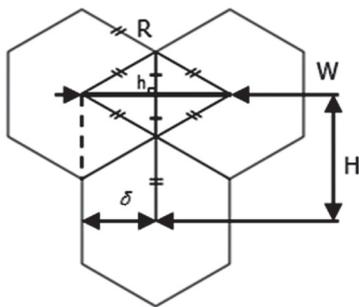


Рис. 3. Структура суміжних патернів

Величина  $W$ , що зображена на рисунку 3, відповідає за відстань між центрами вічок по ширині та може бути обчислена виходячи з висоти  $h$  правильного трикутника:

$$h = \frac{a\sqrt{3}}{2}, \quad (1)$$

де  $a$  – сторона правильного трикутника,  $a = R$ . Тоді  $W$  обчислимо за формулою:

$$W = 2h = 2 \cdot \left( \frac{R\sqrt{3}}{2} \right) = R\sqrt{3}. \quad (2)$$

Зсув по ширині  $\delta$  між рядками сітки дорівнює висоті правильного трикутника  $h$ .

Відстань між центрами патернів за вертикаллю позначимо як  $H$ . Її можна обчислити, як суму радіуса та половини радіуса:

$$H = R + \frac{R}{2} = \frac{3}{2}R = 1.5R. \quad (3)$$

При вивченні спеціальної медичної літератури, у якій описано методики вимірювання ПКЧ, були запозичені деякі поняття, необхідні для повного опису запропонованого методу діагностування. До таких понять відносяться:

1) Поле стимуляції ( $S$ ) – обмежена частина екрана в якій відображаються стимули при діагностиці.

2) Відстань до екрана ( $L$ ) – відстань від очей пацієнта до поля стимуляції, вимірюється в метрах.

3) Кут огляду ( $\varphi$ ) – кількість кутових градусів, які становлять поле стимуляції  $S$  при деякому віддаленні від екрана  $L$ .

4) Частота решітки (період) ( $d$ ) – кількість патернів (циклів), які укладаються в одному кутовому градусі, вимірюється в циклах/градус.

5) Контраст із фоном – рівень відмінності між фоном поля стимуляції.

6) Контрастність – відмінність у кольорі між сусідніми областями патерна.

Для досягнення точних результатів, вимірювання повинні проводитися з відстані до екрана  $L = 2$  метрам, кут огляду  $\varphi$  повинен становити 6 градусів, а поле стимуляції  $S = 18$  сантиметрів.

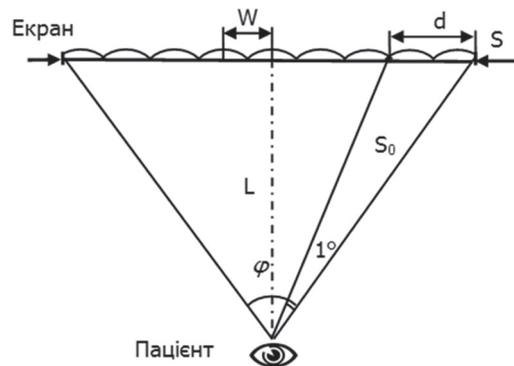


Рис. 4. Схема діагностування просторового зору

Для визначення радіуса вічок потрібно: по-перше, визначити довжину поля стимуляції, яке відсікається одним кутовим градусом:

$$S_0 = \frac{S}{\varphi}. \quad (4)$$

По-друге – обчислити відстань між патернами  $W$  через частоту решітки:

$$W = \frac{S_0}{d}. \quad (5)$$

По-третє - визначити радіус патерна, виходячи з формули (2).

$$R = \frac{W}{\sqrt{3}}. \quad (6)$$

Запропонований метод дослідження ПКЧ передбачає плавне розчинення графічних стимулів у кольорі фона екрана, при цьому не повинно виникати жодних чітких контурів у місцях стикування

поля стимуляції та фона. Також слід відзначити, що при низькому значенні рівня контрастності (значення кольору сусідніх пікселів зображення відрізняється на декілька одиниць) або при великій різниці у контрасті між сусідніми патернами графічного стимула, з'являються різкі артефакти, які дуже помітні оком.

Для того, щоб уникнути подібних негативних перетворень зображення, а також створити плавний перехід від одного значення контрасту до іншого, при формуванні патерна з наступним значенням контрасту і/або наступним значенням просторової частоти, використовуємо розмиття підсумкового зображення.

У якості методу розмиття підсумкового зображення пропонується метод розмиття зображення за Гаусом, який дуже розповсюджений при обробці графічних зображень, а саме його модифікацію у частині застосування матриці згортки на краях зображення.

Припустимо, що вихідне зображення буде задано яскравістю  $x(m, n)$ . Яскравість вихідного зображення, після застосування фільтра –  $y(m, n)$ . Тоді, розмиття за Гаусом з радіусом  $r$  розраховується за формулою:

$$y(m, n) = \frac{1}{2\pi r^2} \sum_{u, v} e^{-\frac{(u^2 + v^2)}{2r^2}} x(m + u, n + v). \quad (7)$$

Межу суми по  $u$  та  $v$  можна вибирати як плюс мінус кілька «сигм», тобто радіусів  $r$ , що дає складність алгоритму порядку  $O(r^2)$  операцій на піксель. Для великих  $r$  і багатопіксельних зображень це занадто велике значення для того, щоб застосовувати подібний підхід. Подібна складність алгоритму призведе до того, що розрахунки вихідного зображення будуть проводитись досить тривалий проміжок процесорного часу.

Перше прискорення при обробці зображень за допомогою цього фільтра дає властивість сепарабельності розмиття за Гаусом. Тобто, можна провести фільтрацію по осі  $x$  для кожного рядка, отримане зображення відфільтрувати за  $y$  по кожному стовпцю і отримати той же результат зі складністю  $O(r)$  операцій на піксель.

Друге прискорення при проведенні розмиття зображення графічного стимулу за Гаусом надає сама структура цього зображення. При побудові вихідного (кінцевого) зображення не потрібно проводити розрахунки у кутах початкового зображення (рис. 5). На наведеному малюнку області, що не потребують обчислень зазначені штриховою лінією.

Межа, поза якою не потрібно проводити розрахунки, може бути описана як окружність вписана у квадрат. А саме: окружність, це кінцева границя помітного зображення, а квадрат – границя поля стимуляції. Можна розрахувати обмеження при

обчисленнях для кожного кроку розмиття для кожного пікселя  $p(x, y)$  за наступною формулою:

$$\sqrt{x^2 + y^2} < \frac{S}{2}, \quad (8)$$

де  $S$ , як було зазначено вище, це довжина поля стимуляції, вона відповідає стороні квадрата, що зображений на рисунку 5.

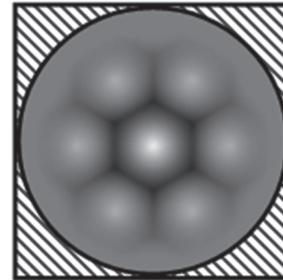


Рис. 5. Границі розрахунків кінцевого зображення стимулу

Отже, запропонований метод укладено до основ інформаційної технології, що реалізована у вигляді СППР, яка використовується для діагностування очних захворювань (рис. 6).



Рис. 6. Загальна функціональна схема ІТ у вигляді СППР

Стислий опис процесу діагностування з використанням наведеної ІТ можна описати наступним чином: діалог з пацієнтом здійснюється за допомогою відповідей типу «Бачу - Не бачу» при пред'явленні йому сіток різної частоти й контрастності. З метою збільшення вірогідності відповідей (виключення можливості відповіді «навмання») передбачено певний механізм: стимули пред'являються по черзі ліворуч, праворуч або у центру екрана монітора, таким чином, виключена ймовірність угадування наступного положення стимулу. Даний механізм дозволяє практично повністю усунути ефект послідовних образів - коли око тривалий час зафіксовано на об'єкті (особливо на яскравому), при переведенні очей вбік ми бачимо залишкове зображення цього об'єкта. По

досягненню кінцевого стимулу за його просторовою частотою дані, що було отримано, передаються до модуля експертної системи, що і висуває припущення про наявність чи відсутність певного захворювання.

Отже, алгоритм проведення діагностування з використанням методу відтворення графічних стимулів може бути описаний наступним чином:

**АЛГОРИТМ.** Діагностика ПЗЛ.

**ВХІД.** Ініціалізація параметрів:  $S, L, \varphi, d$ .

**ВИХІД.** Вектор симптомів, тобто множина значень контрасту для певної просторової частоти —  $S_d = \{s_1, s_2, \dots, s_n\}$ , при  $S_d \in K = \{k_1, k_2, \dots, k_m\}$ , де  $n$  — кількість значень просторової частоти;  $D$  — множина діагнозів;  $m$  — кількість усіх можливих діагнозів.

**МЕТОД.**

**КРОК 1.** Обчислити початкові параметри діагностування для заданої просторової частоти  $d = d_i, i = \overline{1, n} : S_0, W, R$ . Перейти до кроку 2.

**КРОК 2.** Встановити початкове значення контрасту  $k = k_j \in K$ , де  $j = \overline{1, m}, m \rightarrow \infty$ .

**КРОК 3.** Побудувати вихідне зображення графічного стимулу  $GI_{ij}$ , за встановленими значеннями просторової частоти  $d$ , контрасту  $k$  та обчислених параметрів.

**КРОК 4.** Пред'явити пацієнту стимул  $GI_{ij}$ .

**КРОК 5.** Ставимо питання до пацієнта: «Ви бачите зображення на екрані чи не бачите взагалі?».

**КРОК 6.** Якщо пацієнт бачить стимул, перехід до кроку 9.

**КРОК 7.** Не бачить — крок 8.

**КРОК 8.** Якщо  $j = m$ , то перейти до кроку 15.

**КРОК 9.** Збільшити значення контрасту  $k = k_{j+1}$  та перейти до кроку 3.

**КРОК 10.** Ставимо питання до пацієнта: «Де саме Ви бачите зображення: ліворуч, праворуч чи у центрі?».

**КРОК 11.** Пацієнт відповів вірно — крок 13.

**КРОК 12.** Не вірно — крок 15.

**КРОК 13.** Якщо  $j = 0$ , то перейти до кроку 15.

**КРОК 14.** Зменшити значення контрасту  $k = k_{j-1}$  та перейти до кроку 3.

**КРОК 15.** Зберегти значення контрасту  $k$  для поточної частоти  $d$ .

**КРОК 16.** Якщо дані по усіх просторових частотах отримано, тобто  $i = n$ , то перейти до кроку 18. Інакше перейти до кроку 17.

**КРОК 17.** Перехід до наступного значення просторової частоти  $d = d_{i+1}$ , перейти до кроку 1.

**КРОК 18.** Сформуємо вектор симптомів  $S_d$ .

**КРОК 19.** Алгоритм закінчено.

Під час проведення діагностування за наведеним алгоритмом є вірогідність появи колізій: коли пацієнт бачить стимул з контрастом  $k_j$ , але не бачить стимул з контрастом  $k_{j+1}$ , пацієнт застрягає між двома варіантами значень контрасту

та діагностика не може бути продовжена. Для вирішення цієї проблеми пропонується ввести додаткову перевірку — перевірка помилок відповіді пацієнта. У чому полягає суть: коли при діагностуванні змінюється значення частоти решітки, значення лічильника помилок відповідей пацієнта змінюється на 0; якщо для конкретної просторової частоти пацієнт вчиняє помилок більше, ніж дозволено налаштуваннями ІТ, система вважає, що він не бачить стимул, який йому пред'явлено і зберігає значення контрасту для поточної частоти.

## Висновки

У ході виконання роботи було проведено аналіз сучасних моделей, методів та інформаційних технологій, що використовуються у медицині для діагностики просторового зору людини. Також розроблено метод формування графічних стимулів для СППР, які відповідають фізіологічній структурі сітківки ока, що підвищує достовірність постановки діагнозу при діагностуванні очних захворювань. В роботі удосконалено метод розмиття зображення за Гаусом завдяки використанню обмежень границі зображення при розрахунках наступного графічного стимулу, що дає прискорення часу проведення опитувань пацієнта при діагностуванні. Крім того, розроблені та вдосконалені методи застосовано при реалізації інформаційної технології у вигляді СППР.

Завдяки цьому стає можливим вирішити актуальну науково-практичну задачу — підвищення ефективності процесу діагностування очних захворювань за рахунок розробки інформаційної технології у вигляді системи підтримки прийняття рішень для оцінки стану зору людини.

Також можна навести пропозиції щодо подальшого розвитку проведених досліджень:

1) спираючись на розроблені, методи та інформаційну технологію у короткий термін можна автоматизувати процес проведення первинного огляду у лікаря офтальмолога, насамперед завдяки побудові модуля онлайн-діагностування;

2) підвищити якість та швидкість первинного огляду у містах, де є нестача спеціалізованих фахівців;

3) через використання віддаленого серверу СУБД, для збереження даних досліджень пацієнтів, та надання доступу до єдиної БД для всіх медичних установ, стає можливим отримання актуальної інформації щодо стану очних захворювань на загальнодержавному рівні — це відкриває нові можливості аналізу, розробки та своєчасного коректування програм державної підтримки заходів з профілактики захворювань зору людини.

**Список літератури:** 1. Grigory Panteleev, Sultan Ramazanov, Konstantin Krivosheev. Expert system, as component of diagnostics system of man's sight // TEKA Commission of

Motorization and Power Industry in Agriculture. — Lublin-Rzeszyw, 2013. — Vol. 13 No.3. — P. 170-176. **2.** Рамазанов С.К., Пантелеев Г.В., Кривошеев К.В. Інформаційна система діагностики просторової контрастної чутливості в офтальмології // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля — Луганськ: Вид-во СНУ ім. В.Даля, 2012р. — №2(173) — С. 368-373. **3.** Рамазанов С.К., Пантелеев Г.В., Кривошеев К.В. Експертна система, як складова системи діагностики зору людини // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В.Даля. — Луганськ: Вид-во СНУ ім. В.Даля, 2012р. — №10(181) — С. 128-133. Grigory. **4.** Panteleev, Sultan Ramazanov, Konstantin Krivosheev. Information system of spatial contrast sensitivity diagnostics in ophthalmology // ТЕКА Commission of Motorization and Power Industry in Agriculture. — Lublin, 2010. — Vol. XD — Pp. 220-226. **5.** Белозеров А.Е. Пространственно-частотные характеристики стереопсиса при заболеваниях зрительной системы // Современные аспекты нейроофтальмологии: Мат. IV Московской научно-практич. нейроофтальмологической конф. — Москва: Изд-во НИИ нейрохирургии им. акад. Н.Н.Бурденко РАМН, 2000 г. — С. 8-10. **6.** Ляшенко Т.В. Интеллектуальная система поддержки принятия врачебных решений для больных с диагнозом тиреотоксическое сердце // Штучний інтелект — Київ, 2002 р. — №2002(4) — С. 28-36. **7.** Шелепин Ю.Е., Волков

В.В., Колесникова Л.Н., Макулов В.Б., Паук В.Н. Измерение функциональных возможностей зрительной системы человека. — Москва, 1987г. — С. 63-72.

*Надійшла до редколегії 5.06.2015*

УДК 004.42:617.7

**Метод построения графических стимулов для системы поддержки принятия решений при диагностике зрения** / К.В. Кривошеев // Бионика интеллекта: научн.-техн. журнал. — 2015. — № 2 (85). — С. 81–85.

Разработан метод отображения графических стимулов для диагностики пространственного зрения человека. На его основе создан алгоритм проведения диагностики. На базе полученных результатов, разработана информационная технология в виде СППР.

Ил. 6. Библиогр.: 7 назв.

UDK 004.42:617.7

**Method of construction graphics incentives for decision support systems for the diagnosis of vision** / K. Krivosheev // Bionics of Intelligense: Sci. Mag. — 2015. — № 2 (85). — P. 81–85.

A method for displaying graphical incentives for the diagnosis of human space. On the basis of established diagnosis algorithm. On the basis of the obtained results, developed information technology in the form of DSS.

Fig. 6. Ref.: 7 items.

И.Г. Перова<sup>1</sup>, Е.В. Бодянский<sup>2</sup><sup>1</sup> ХНУРЭ, г. Харьков, Украина, rikywenok@gmail.com;<sup>2</sup> ХНУРЭ, г. Харьков, Украина, yevgeniy.bodyanskiy@nure.ua

## НЕЙРО-ФАЗЗИ СИСТЕМА ДЛЯ ЗАДАЧ ОБРАБОТКИ МЕДИЦИНСКИХ ДАННЫХ В СИТУАЦИЯХ МНОЖЕСТВА ДИАГНОЗОВ

В работе предложена структура и алгоритм обучения диагностирующей нейро-фаззи системы, предназначенной для обработки медицинских данных в онлайн режиме. Предлагаемая система может работать на малых объемах обучающей выборки в режиме реального времени, а также в ситуациях, когда у пациента имеются сопутствующие заболевания, то есть возможен вариант наличия одновременно нескольких диагнозов.

НЕЙРО-ФАЗЗИ СИСТЕМА, ФАЗЗИФИКАЦИЯ, ГИПЕРБОЛИЧЕСКИЙ ТАНГЕНС, АКТИВАЦИОННАЯ ФУНКЦИЯ, СИНАПТИЧЕСКИЙ ВЕС

### Введение

Для решения широкого круга задач интеллектуального анализа данных (Data Mining), связанных прежде всего с диагностикой, классификацией, кластеризацией, распознаванием образов и т.п. сегодня все чаще используют методы вычислительного интеллекта (Computational intelligence) и, в первую очередь, мягкие вычисления (Soft Computing) и машинное обучение (Machine Learning) [1-8]. Здесь в качестве наиболее эффективных можно выделить нейро-фаззи-системы, благодаря их способности к обучению, включая самообучение, универсальным аппроксимирующим возможностям, лингвистической интерпретируемости и «прозрачности» получаемых результатов. Здесь наибольшее распространение получили ANFIS и TSK-системы различного порядка как аппроксиматоры и экстраполяторы и NEFCLASS [9] и его различные модификации, ориентированные на решение задач классификации – распознавания образов.

Вместе с тем существует достаточно широкий класс задач, где отмеченные системы неэффективны. Прежде всего, это задачи, где обучающая выборка коротка, данные на обработку подаются последовательно в виде потока [10], а собственно обучение системы должно происходить одновременно с анализом поступающей информации. Такая ситуация достаточно часто возникает в Medical Data Mining [11, 12] и осложняется тем, что обрабатываемые данные имеют нестационарный характер, а размерность входного пространства признаков может быть соизмерима с объемом обучающей выборки. Если же говорить о задаче диагностирования, то во-первых для редко встречающихся диагнозов выборка вообще может быть сверхмалой, а во-вторых, количество возможных диагнозов (особенно в случае массовых обследований) может изменяться по ходу процесса исследования. Также возможна ситуация, когда у пациента имеются сопутствующие заболевания и необходимо оценить уровень принадлежности к каждому из рассматриваемых диагнозов. Понятно, что традиционные диагностирующие нейро-фаззи-системы

типа NEFCLASS могут не справиться с возникающими проблемами.

### 1. Быстрая диагностирующая нейро-фаззи-система

Рассмотрим архитектуру диагностирующей нейро-фаззи-системы (DNFS), приведенную на рис.1 и состоящую из 6-ти последовательно соединенных слоев [13]. На входной слой системы подается  $(nЧ1)$ -мерный вектор входных сигналов-признаков  $x(k) = (x_1(k), x_2(k), \dots, x_n(k))^T \in R^n$ , где  $k = 1, 2, \dots$  – в данном случае текущее время. Первый скрытый слой системы содержит  $n^h$  функций принадлежности  $\mu_{il}(x_i(k))$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$ ;  $l = 1, 2, \dots, h$  и выполняет фаззификацию входного пространства признаков. При этом поскольку в рассматриваемой системе производится рассеянное разбиение этого пространства, то в качестве функции принадлежности используются стандартные колоколообразные конструкции с бесконечными носителями. Чаще всего это традиционные гауссианы или более экзотические функции, например, производные гиперболического тангенса.

Второй скрытый слой производит агрегирование уровней принадлежности, вычисленный в первом слое и состоит из  $h$  элементарных блоков умножения. Третий скрытый слой – это слой синаптических весов  $w_{jl}$  ( $j = 1, 2, \dots, m$  – число возможных диагнозов, которое принимается исходя из сугубо эмпирических соображений), подлежащих уточнению в процессе обучения. Это наиболее ответственный слой DNFS, поскольку от точности и скорости обучения зависит эффективность системы в целом. Общее количество синаптических весов составляет  $m^h$ . Четвертый скрытый слой образован  $m+1$  сумматорами также реализующими элементарные операции. В пятом скрытом слое, образованном  $m$  блоками деления, производится дефаззификация типа «центр тяжести». И наконец выходной (шестой) слой содержит  $m$  нелинейных активационных функций, при этом в задачах диагностики достаточно часто используются простейшие сигнум-функции, принимающие значение  $+1$  в случае правильного диагноза и  $-1$  – в противном

случае. В таком случае выходные сигналы DNFS  $y_j(k)$  могут принимать только два значения  $\pm 1$ .

При подаче на вход системы вектора признаков  $x(k) \in R^n$  на выходе первого скрытого слоя появляется  $hn$  значений  $\mu_{li}(x_i(k))$ , на выходе второго скрытого слоя –  $h$  сигналов  $\prod_{i=1}^n \mu_{li}(x_i(k))$ , на выходе третьего скрытого слоя –  $mh$  значений  $w_{jl} \prod_{i=1}^n \mu_{li}(x_i(k))$ , четвертого –  $m+1$  сигналов:  $\sum_{l=1}^h w_{jl} \prod_{i=1}^n \mu_{li}(x_i(k))$  и  $\sum_{l=1}^h \prod_{i=1}^n \mu_{li}(x_i(k))$ , пятого –  $u_j(k) = \frac{\sum_{l=1}^h w_{jl} \prod_{i=1}^n \mu_{li}(x_i(k))}{\sum_{l=1}^h \prod_{i=1}^n \mu_{li}(x_i(k))} = \sum_{l=1}^h w_{jl} \frac{\prod_{i=1}^n \mu_{li}(x_i(k))}{\sum_{l=1}^h \prod_{i=1}^n \mu_{li}(x_i(k))} = \sum_{l=1}^h w_{jl} \phi_l(x(k)) = w_j^T \phi(x(k))$  и шестого –  $m$  диагностирующих сигналов  $y_j(k) = \text{sign } u_j(k)$ .

Таким образом рассмотренная система представляет собой модификацию нейро-фаззи-системы Ванга-Менделя [14], предназначенную для решения задач online диагностики-классификации.

Вводя в шестой слой вместо сигнум-функций активационные функции гиперболического тангенса принятые в искусственных нейронных сетях:

$$y_j(k) = \tanh \gamma u_j(k) = \frac{1 - e^{-2\gamma u_j(k)}}{1 + e^{-2\gamma u_j(k)}}$$

при этом с увеличением параметра  $\gamma$  функция  $\tanh \gamma u_j$  как угодно близко приближается к  $\text{sign } u_j$ , не претерпевает при этом разрывов производной.

Вводя далее традиционный квадратичный критерий обучения

$$E_j(k) = \frac{1}{2} e_j^2(k) = \frac{1}{2} (d_j(k) - \tanh \gamma w_j^T \phi(x(k)))^2 = \frac{1}{2} (d_j(k) - \tanh \gamma u_j(k))^2$$

можно записать стандартное  $\delta$ -правило обучения элементарного персептрона Розенблатта

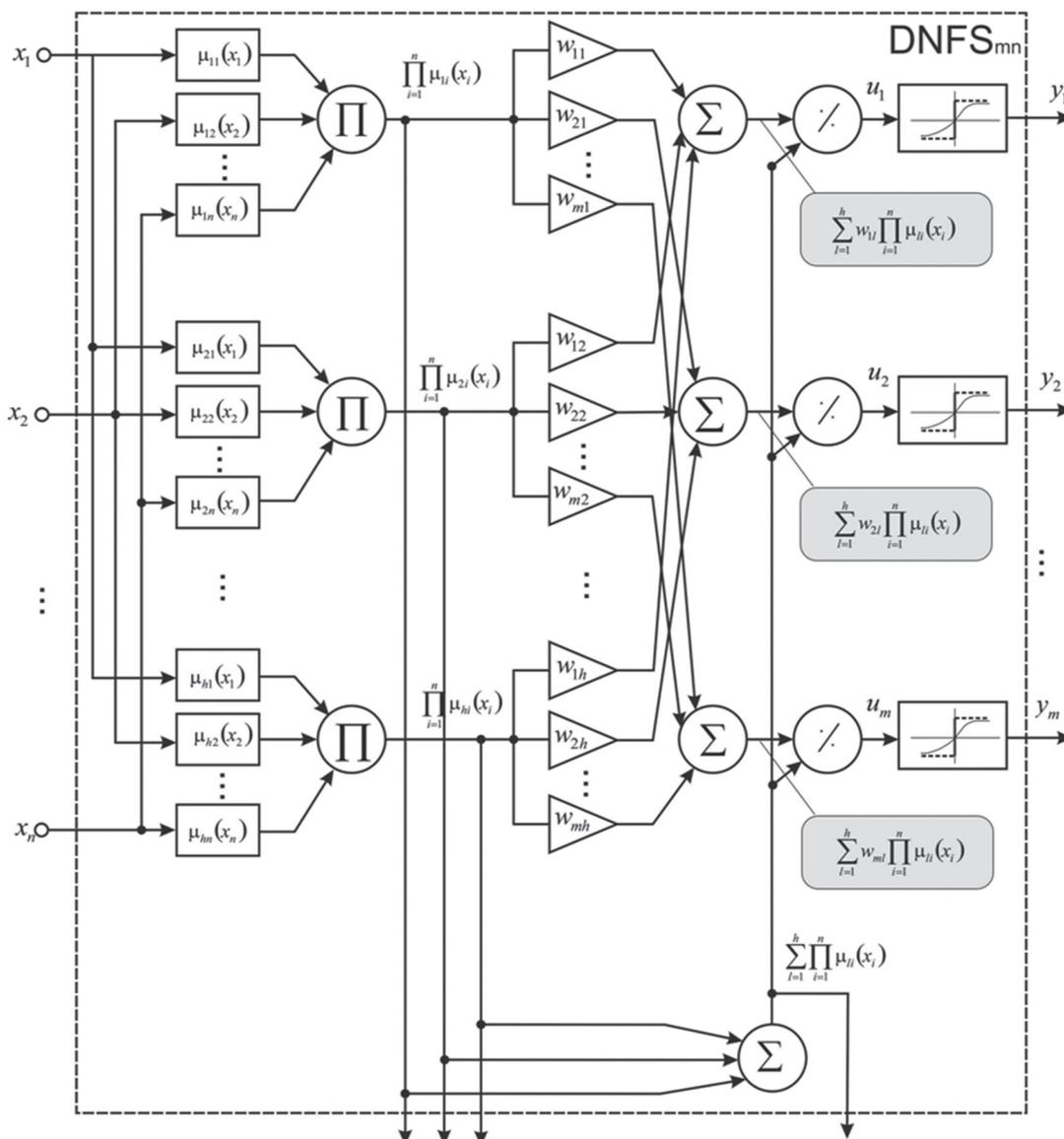


Рис. 1. Диагностирующая нейро-фаззи-система с  $n$  входами и  $m$  выходами DNFSmn

$$w_j(k+1) = w_j(k) + \eta(k)e_j(k)\gamma(1 - y_j^2(k))\phi(x(k)) = w_j(k) + \eta(k)\delta_j(k)\phi(x(k)), \quad (1)$$

где  $\eta(k) > 0$  – параметр шага обучения,  $\delta_j(k)$  –  $\delta$ -ошибка обучения  $j$ -го вектора системы на  $k$ -м такте настройки.

Воспользовавшись идеями квазиньютоновского обучения [16] можно ввести в рассмотрение оптимизированный вариант (1) вида [17]:

$$w_j(k+1) = w_j(k) + \frac{\delta_j(k)\phi(x(k))}{\eta + \|\phi(x(k))\|^2}$$

или в матричной форме типа (2):

$$W(k+1) = W(k) + \frac{\delta(k)\phi(x(k))}{\eta + \|\phi(x(k))\|^2},$$

а при  $\eta = 0$

$$W(k+1) = W(k) + \delta(k)\phi^+(x(k)),$$

где  $\delta(k) = (\delta_1(k), \delta_2(k), \dots, \delta_m(k))^T$ ,

$$\begin{aligned} \delta_j(k) &= e_j(k)\gamma(1 - y_j^2(k)) = \\ &= (d_j(k) - \tanh \gamma u_j(k))\gamma(1 - (\tanh \gamma u_j(k))^2). \end{aligned}$$

Улучшить аппроксимирующие свойства рассматриваемой системы можно, вводя дополнительно контур обучения параметра  $\gamma$ , задающего форму (“крутизну”) активационной функции, хотя обычно этот параметр полагается постоянным. Для этого может использоваться подход, предложенный в [18], где для настройки предлагается использовать градиентную оптимизацию.

Записывая  $j$ -й выход системы в виде

$$y_j(k) = \tanh \gamma_j u_j(k) = \frac{1 - e^{-2\gamma_j u_j(k)}}{1 + e^{-2\gamma_j u_j(k)}},$$

а критерий обучения –

$$\begin{aligned} E_j(k) &= \frac{1}{2}(d_j(k) - \tanh \gamma_j w_j^T \phi(x(k)))^2 = \\ &= \frac{1}{2}(d_j(k) - \tanh \gamma_j u_j(k))^2, \end{aligned}$$

можно вместо традиционного  $\delta$ -правила обучения (1) записать модифицированный алгоритм

$$\begin{cases} w_j(k+1) = w_j(k) + \eta_w(k)e_j(k)\gamma_j(k) \cdot \\ \cdot (1 - y_j^2(k))\phi(x(k)) = \\ = w_j(k) + \eta_w(k)\gamma_j(k)\delta_j(k)\phi(x(k)), \\ \gamma_j(k+1) = \gamma_j(k) + \eta_\gamma(k)e_j(k)(1 - y_j^2(k))u_j(k) = \\ = \gamma_j(k) + \eta_\gamma(k)\delta_j(k)u_j(k) = \\ = \gamma_j(k) + \eta_\gamma(k)\delta_j(k)w_j^T(k)\phi(x(k)). \end{cases} \quad (3)$$

Вводя далее составные векторы настраиваемых параметров  $\tilde{w}_j^T(k) = (w_j^T(k), \gamma_j(k))$  и сигналов  $\phi_j(x(k)) = (\gamma_j(k)\phi^T(x(k)), u_j(k))$ , несложно ввести алгоритм обучения всех параметров выходных перцептронов вида

$$\tilde{w}_j^T(k+1) = w_j(k) + \eta(k)\delta_j(k)\phi_j(x(k))$$

или его оптимизированные варианты

$$\begin{cases} \tilde{w}_j^T(k+1) = \tilde{w}_j(k) + \frac{\delta_j(k)\phi_j(x(k))}{\eta + \|\phi_j(x(k))\|^2}, \\ \tilde{w}_j^T(k+1) = \tilde{w}_j^T(k) + \delta_j(k)\phi_j^+(x(k)) \end{cases} \quad (4)$$

Поскольку на каждом выходе системы значения  $\gamma_j(k)$  в процессе обучения могут оказаться различными, отдельная настройка выходных перцептронов с помощью процедур (4) предпочтительнее матричной процедуры (2).

## 2. Быстрая диагностирующая нейро-фаззи-система в ситуации множества диагнозов

Достаточно часто может возникать ситуация, когда у пациента возможно наличие не одного, а сразу нескольких заболеваний, соответственно у него возможно наличие множества диагнозов. В этой связи целесообразно оценить не только факт наличия заболевания, но и нечеткий уровень принадлежности к каждому конкретному заболеванию.

Для этого в шестой выходной слой системы вместо сигмоидальных функций активации вводятся дополнительные элементы: функции активации типа «выпрямитель», используемые в нейроне Фукушимы [20, 21], сумматор и  $m$  блоков деления. При этом этот слой приобретает вид, приведенный на рис. 2.

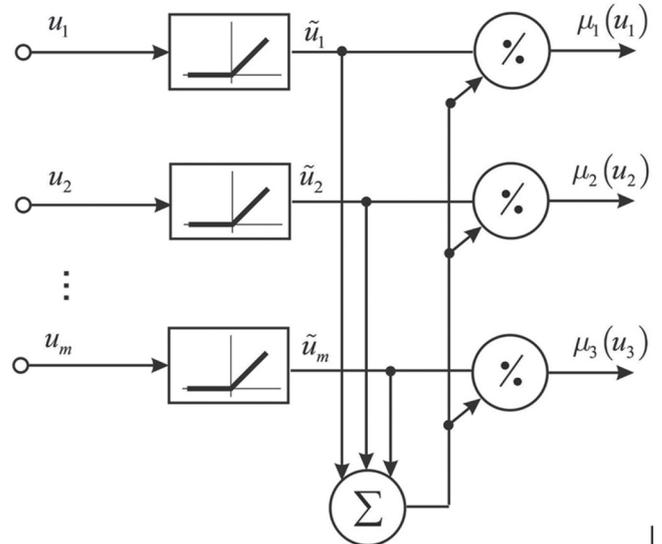


Рис. 2. Выходной слой системы

Элементы типа «выпрямитель» выделяют сигналы, определяющие сам факт наличия того или иного заболевания, а сумматор и делители вычисляют уровни принадлежности в виде

$$0 \leq \mu_j(u_j(k)) = \frac{\psi(\tilde{u}_j(k))}{\sum_{j=1}^m \psi(\tilde{u}_j(k))} = \frac{u_j(k)}{\sum_{j=1}^m u_j(k)} \leq 1,$$

где

$$\psi(u_j(k)) = \begin{cases} u_j(k), & \text{если } u_j(k) > 0 \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

Необходимо заметить, что дополнительным преимуществом, обеспечиваемым такой конструкцией выходного слоя, является возможность использовать для обучения оптимальные Гауссовско-Ньютоновские процедуры типа рекуррентного метода наименьших квадратов в виде:

$$\begin{cases} w_j(k+1) = w_j(k) + \frac{P(k)(d_j(k) - w_j^T(k)\varphi(x(k)))}{1 + \varphi^T(x(k))P(k)\varphi(x(k))} \varphi(x(k)) \\ P(k+1) = P(k) - \frac{P(k)\varphi(x(k))\varphi^T(x(k))P(k)}{1 + \varphi^T(x(k))P(k)\varphi(x(k))} \end{cases} \quad (4)$$

или в матричном виде

$$\begin{cases} W(k+1) = W(k) + \frac{e(k)\varphi^T(x(k))P(k)}{1 + \varphi^T(x(k))P(k)\varphi(x(k))} \\ P(k+1) = P(k) - \frac{P(k)\varphi(x(k))\varphi^T(x(k))P(k)}{1 + \varphi^T(x(k))P(k)\varphi(x(k))} \end{cases}, \quad (5)$$

где

$$e(k) = (e_1(k), e_2(k), \dots, e_m(k))^T.$$

Важно отметить также, что использование оптимальных по быстродействию процедур (4) и (5) позволяет не только сократить время обработки информации, но и уменьшить объём обучающей выборки, что особенно важно в случае редко встречающихся диагнозов.

### Выводы

В работе предложены архитектура и метод обучения диагностирующей нейро-фаззи-системы, предназначенной для решения широкого класса задач Data Stream Mining и, прежде всего, Medical Data Mining в online режиме в ситуациях, когда количество возможных диагнозов заранее неизвестно и может изменяться в процессе обучения-диагностирования, а также в тех ситуациях, когда пациент может иметь не один, а несколько диагнозов одновременно. Предлагаемая система проста в численной реализации и характеризуется высокой скоростью обучения, что позволяет использовать ее как на малых обучающих выборках, так и на больших массивах данных, поступающих в реальном времени.

**Список литературы:** 1. Jang J.-S.R. Neuro-Fuzzy and Soft Computing / J.-S.R. Jang, C.-T. Sun, E. Mizutani. — Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ. — 1997. — 640 p. 2. Friedman J. The Elements of Statistical Learning. Data Mining, Inference and Prediction / Friedman J., Hastie T., Tibshirani R. — Berlin: Springer, 2003. — 552 p. 3. Osowski S. Sieci neuronowe do przetwarzania informacji. — Warszawa: Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, 2006. — 422s. 4. L. Ruthowski, “Computational Intelligence. Methods and Techniques”, Berlin-Heidelberg: Springer-Verlag, 2008. — 514 p. 5. Mumford C.L., Jain L.C. Computational Intelligence. Collaboration, Fusion and Emergence. — Berlin: Springer-Verlag, 2009. — 725p. 6. Kruse R., Borgelt C., Klawonn F., Moewes C., Steinbrecher M., Held P. Computational Intelligence. Methodological introduction. — Berlin: Springer-Verlag, 2013. — 488 p. 7. Kroll A. Computational Intelligence. Eine Einführung in Probleme, Methoden und technische Anwendungen. —

Muenchen: Oldenbourg Verlag, 2013. — 428 s. 8. K.-L. Du, M.N.S. Swami, Neural Networks and Statistical Learning, London: Springer-Verlag, 2014. — 824 p. 9. Nauck D., Kruse R. NEFCLASS - a neuro-fuzzy approach for the classification of data / Eds. K.M. George e.a. Proc. of the 1995 ACM Symposium on Applied Computing, “Applied Computing 1995” Nashville, 1995, pp. 461-465. 10. Bifet A. Adaptive Stream Mining. Pattern Learning and Mining from Evolving Data Streams. — Amsterdam. IOS Press, 2010. — 224 p. 11. Rizzo R. Computational Intelligence Methods for Bioinformatics and Biostatistics / Rizzo R. - In Lecture Notes in Bioinformatics (7th International Meeting, CIBIB 2010, Palermo, Italy, September 16-18, 2010). — Springer. — 2011. — 301 p. 12. Kountchev R. Advances in Intelligent Analysis of Medical Data and Decision Support Systems (Studies in Computational Intelligence) / Kountchev R. and etc - Springer. — 2013. — 246 p. 13. Бодянский Е.В., Винокурова Е.А., Мулеца П.П., Перова И.Г. Диагностирующая нейро-фаззи-система и ее адаптивное обучение в задачах интеллектуальной обработки данных медико-биологических исследований / Системные технологии. — 2014. — Вып. 2 (91). — с. 125-135. 14. Wang L.X. Fuzzy basis functions, universal approximation, and orthogonal least squares learning / L.X. Wang, J.M. Mendel // IEEE Trans. on Neural Network. — 1992. — 3. — P. 807-814. 15. Shynk J.J. Performance surfaces of a single-layer perceptron / Shynk J.J. // IEEE Trans. on Neural Networks. — 1990. — 1. — P. 268-274. 16. Shepherd A.J. Second-Order Methods for Neural Networks / A.J. Shepherd. — London: Springer-Verlag. — 1997. — 145 p. 17. Otto P., Bodyanskiy Ye., Kolodyazhniy V. A new learning algorithm for forecasting neural-fuzzy network // Integrated Computer-Aided Engineering. — 10. — №4. — Amsterdam : IOS Press, 2003. — P. 399-409. 18. Kruschke J.K., Movellan J.R. Benefits of gain: speeded learning and minimal layers backpropagation networks // IEEE Trans. on Systems, Man, and Cybernetics. — 1991. — 21. — P. 273-280. 19. Turuta O., Perova I., Deineko A. Evolving Flexible Neuro-Fuzzy System for Medical Diagnostics Tasks // International Journal of Computer Science and Mobile Computing, Vol. 4, Issue. 8, August 2015, P. 475-480. 20. Fukushima K. Cognitron: a self-organizing multilayer neural network // Biolog. Cybernetics, vol. 20, 1975, P. 121-136. 21. Fukushima K. Neocognitron: a self-organizing neural network model for a mechanism of pattern recognition unaffected by shift in position // Biolog. Cybernetics, vol. 36, 1980, P. 193-202.

Поступила в редколлегию 14.04.2015

УДК 615.471:616-071:004.032.26

**Нейро-фаззі система для задач обробки медичних даних в ситуаціях великої кількості діагнозів.** /І.Г. Перова, Є.В. Бодяньський // Біоніка інтелекту: наук.-техн. журнал. — 2015. — № 2 (85). — С. 86—89.

В статті розглянуті структура і алгоритм навчання діагностуючої нейро-фаззі системи для обробки медичних даних в онлайн режимі при наявності одного або більше діагнозів.

Іл. 2. Бібліогр.: 21 найм.

UDK 615.471:616-071:004.032.26

**Neuro-Fuzzy system for Medical Data Mining Tasks in Condition of Many Diagnosis/** I.G. Perova, Y.V. Bodyanskiy // Bionics of Intelligence: Sci. Mag. — 2015. — № 2 (85). — P. 86—89.

In article architecture and training method for diagnostic neuro-fuzzy-system for Medical Data Mining Tasks in online-mode and in condition of various diagnosis are proposed.

Fig. 2. Ref.: 21 items.

УДК 004.9



М.О. Гончаренко

ХНУРЭ, г. Харьков, Украина, myroslavagoncharenko@gmail.com

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ ФОРМИРОВАНИЯ ДЕСКРИПТОРОВ ИЗОБРАЖЕНИЙ В КОНТЕКСТЕ ЗАДАЧИ СЕГМЕНТАЦИИ ВИДЕОПОТОКА

В работе представлены результаты сравнения существующих методов обнаружения ключевых точек изображения с целью детектирования изменений сцены видеоданных. Исходные видеоданные представляются в виде последовательности кадров. Для каждого изображения выполняется поиск ключевых точек и формируется дескриптор. Для соседних видеок кадров выявляются общие ключевые точки путем сравнения дескрипторов. Решение о наличии изменений контекста видеоданных принимается исходя из количества общих ключевых точек.

ВИДЕОДАННЫЕ, КЛЮЧЕВАЯ ТОЧКА, ДЕСКРИПТОР ИЗОБРАЖЕНИЯ, ДЕТЕКТОР КЛЮЧЕВЫХ ТОЧЕК

### Введение

Одним из вариантов решения задачи сегментации потоков данных является выделение ключевых кадров видеопоследовательности. В [1] подробно рассмотрен общий подход к поиску видео по ключевым кадрам. Исходные видеоданные представляются в виде последовательности видеок кадров, затем выявляются подпоследовательности, где изменение сцены не превышает заданный порог (происходит сегментация видеопотока). Таким образом, поиск ключевых кадров сводится к задаче последовательного сравнения всех видеок кадров исходной последовательности и выявления видеок кадров, наименее отличающегося от остальных. Различные методы поиска детерминирующих кадров отличаются механизмами сегментации видеопотока и метриками вычисления подобия между видеок кадрами.

Поиск ключевых кадров, в свою очередь, описывается на формализацию описания видеок кадра: нахождения дескрипторов изображения и их сравнения между собой в заданной метрике. Дескрипторы должны быть уникальными и обладать рядом свойств, таких как инвариантность к различным преобразованиям, устойчивостью. Разумеется, при решении реальных задач дескрипторы не обладают сразу всеми указанными характеристиками, поэтому, в зависимости от особенностей предметной области и технических характеристик анализируемых изображений, выбирается тот, который лучшим образом удовлетворяет приоритетной функциональности. В [2-9] подробнее рассмотрены требования, предъявляемые к дескрипторам и их классификация.

В зависимости от используемого математического аппарата, алгоритмы поиска ключевых точек изображения могут быть направлены на поиск углов (особые точки, которые формируются из двух или более граней, которые, как правило, определяют границу между различными объектами и / или частями одного и того же объекта) [10] и описание изображения в терминах регионов (blobs). К первой группе, к примеру, можно отнести детектор

Харриса, метод FAST, ко второй – SIFT, SURF, BRIEF. Процесс построения можно условно разделить на выявление ключевых точек изображения и непосредственно формирования дескриптора.

Анализ видеоданных требует больших вычислительных ресурсов. Главным достоинством представления сигнатуры в виде дескриптора является вычислительная эффективность. Однако, такой подход не обладает необходимой для представления сложной семантики изображения информацией. Для решения этой проблемы можно использовать конкатенацию дескрипторов отдельных областей. Это делает более осуществимой возможность разделения изображения на отдельные объекты, сохраняя информацию о пространственном распределении последних.

Говоря об анализе видеоданных, следует учитывать, что последовательные видеок кадры отличаются незначительно и количество общих ключевых точек может быть достаточно велико. Принимая это во внимание, следует тщательно выбирать метрику их сравнения, позволяющую детектировать незначительные изменения, но в то же время, устойчивую к шумам и погрешностям вычислений. Целью данной работы является выявление наиболее подходящего дескриптора ключевых точек для сегментации видеоданных, для чего был проведен анализ часто используемых алгоритмов.

### 1. Анализируемые подходы детектирования ключевых точек и их дескрипторов

Нами было проведено сравнение результатов поиска ключевых точек кадров видеопоследовательности следующими методами: FAST, CenSurE, SIFT, SURF, ORB, угловой детектор Харриса, BRISK. Для построения дескрипторов на базе полученного множества точек использовались алгоритмы: SIFT, SURF, ORB, BRIEF, BRISK, FREAK. Результирующие дескрипторы сравнивались между собой следующими алгоритмами: метод ближайшего соседа, метод полного перебора.

Рассмотрим основные принципы, используемые при построении вышеупомянутых алгоритмов.

**FAST (Features from Accelerated Segment Test).**

Для точки-кандидата  $P$  при помощи алгоритма Брезенхема строится окружность из 16 пикселей. Точка является угловой, если для нее существуют  $N$  смежных пикселей на окружности, интенсивности которых больше  $I_p+t$  или интенсивности всех меньше  $I_p-t$ , где  $I_p$  — интенсивность точки  $P$ ,  $t$  — пороговая величина. Далее необходимо сравнить интенсивность в вертикальных и горизонтальных точках на окружности с интенсивностью в точке  $P$ . Если для 3 из этих точек выполнится условие  $I_{p_i} > I_p+t$  или  $I_{p_i} < I_p-t$ ,  $i = 1, \dots, 4$ , то проводится полный тест для всех 16 точек [11].

**CenSurE (Center Surround Extremas for Realtime Feature Detection and Matching).** Определение ключевых точек происходит в 3 шага. На первом вычисляются отклики на упрощенную двухуровневую функцию LoG (Laplacian of Gaussian) и малые отбрасываются. В результате определяются границы на изображении. На втором шаге вычисляются локальные экстремумы. После этого с помощью метрики Харриса определяются экстремумы с высоким откликом. В качестве дескриптора применяется MU-SURF, который использует взвешенные Гауссианом (с параметром сглаживания 2.5) вейвлеты Хаара для вычисления откликов в горизонтальном и вертикальном направлениях для областей [13].

**SIFT (Scale Invariant Feature Transform).** Строится пространство переменного масштаба, в нем вычисляются функции LoG с различным параметром сглаживания. Точка считается ключевой, если она является локальным экстремумом разности Гауссианов. После множество предполагаемых ключевых точек уточняется (удаляются точки с малым контрастом и на границе объектов) и вычисляются их ориентации. Для этого строится взвешенная гистограмма градиентов в окрестности, выбирается направление, соответствующее максимальной компоненте гистограммы. Точке присваиваются все направления, которым соответствуют значения компонент гистограммы, больших заданного порога. Инвариантен относительно сдвигов, вращений, масштаба, не смещающим локальные экстремумы [10].

**SURF (Speeded Up Robust Features).** Для нахождения особых точек используется матрица Гессе. Детерминант матрицы Гессе (гессиан) достигает экстремума в точках максимального изменения градиента яркости. После нахождения ключевых точек, метод SURF формирует их дескрипторы. Дескриптор представляет собой набор из 64 (либо 128) чисел для каждой ключевой точки. Эти числа отображают флуктуации градиента вокруг ключевой точки. Инвариантен к повороту [10].

**ORB.** Использует FAST для нахождения ключевых точек. FAST принимает в качестве параметра пороговое значение интенсивности между центральным пикселем и описанной вокруг него окружности. В ORB используется модификация

FAST-9 (радиус окружности принимается равным 9), поскольку она оказалось наиболее эффективной с точки зрения производительности. После выявления потенциальных ключевых точек используется угловой детектор Харриса для их уточнения. Чтоб получить  $N$  ключевых точек, сначала используется низкий порог для того, чтоб получить больше  $N$  точек, затем они упорядочиваются при помощи метрики Харриса и выбираются первые  $N$  точек. Для построения дескриптора полученных точек используется модификация BRIEF, инвариантная к повороту за счет дополнительных преобразований [12].

**Угловой детектор Харриса.** Для изображения  $I$  рассматривается окно  $W$  с центром  $(x, y)$ , а также его сдвиг на  $(u, v)$  и вычисляется взвешенная сумма квадрата разностей (sum of squared differences — SSD) между сдвинутым и исходным окном. Угол характеризуется большими изменениями этой величины. Инвариантен к поворотам [11].

**BRIEF (Binary Robust Independent Elementary Features).** Дескриптор, который позволяет представить исходное изображение в виде бинарных строк, построенных для областей. Сглаженное изображение разделяется на участки и для них уникальным образом выбирается набор точек  $n_d(x, y)$ . Затем для них сравнивается интенсивность. В результате получаем бинарную строку размерности  $n_d$  (128, 256 или 512). Полученные дескрипторы сравниваются при помощи метрики Хэмминга [14].

**BRISK (Binary Robust Invariant Scalable Keypoints).** К круговым окрестностям потенциальных ключевых точек применяется Гауссово сглаживание. Для определения направления ключевой точки используется сумма локальных градиентов [15].

**FREAK (Fast Retina Keypoint).** Подобно BRISK использует круговые окрестности точек, с тем отличием, что имеет большую плотность точек ближе к центру (возрастает экспоненциально). Каждая окрестность сглаживается фильтром Гаусса. Для вычисления ориентации точек используется механизм подобный BRISK, но анализ происходит не для произвольно выбранных точек, а с использованием множества из 45 симметрично расположенных пар точек с заданным расположением [16].

Далее мы проанализируем совместное использование рассмотренных подходов с точки зрения анализа видеопоследовательностей.

## 2. Сравнение результатов применения различных методов формирования дескрипторов

Эксперименты проводились для 9 видеороликов с различными техническими характеристиками, относящихся к различным тематическим областям: видео с камер наблюдения, моделирование геометрических поверхностей, анимационный ролик. Полученные результаты отличаются незначительно и могут корректироваться входными параметрами. Так же следует отметить, что в силу достаточно однородного распределения ключевых

точек на соседних видеокдрах, использование различных метрик сравнения дескрипторов также не сильно влияет на качество выявления общих точек.

Рассмотрим результаты анализа на примере тестового видео (320\*240, 27471 kbps). Вычисления производились с использованием процессора i5 и 16gb RAM. Ключевые кадры видеопоследовательности (158 кадров) и номер кадра, соответствующий началу данного сегмента, приведены на рис. 1.

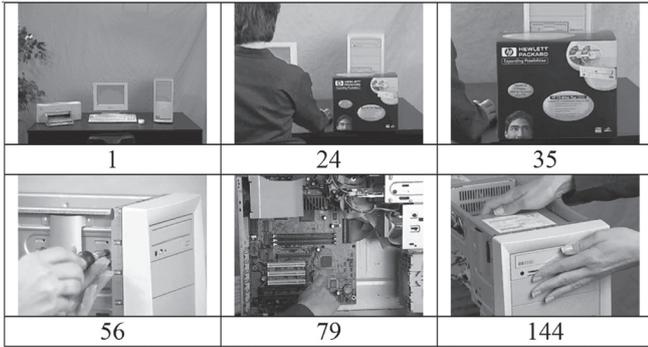
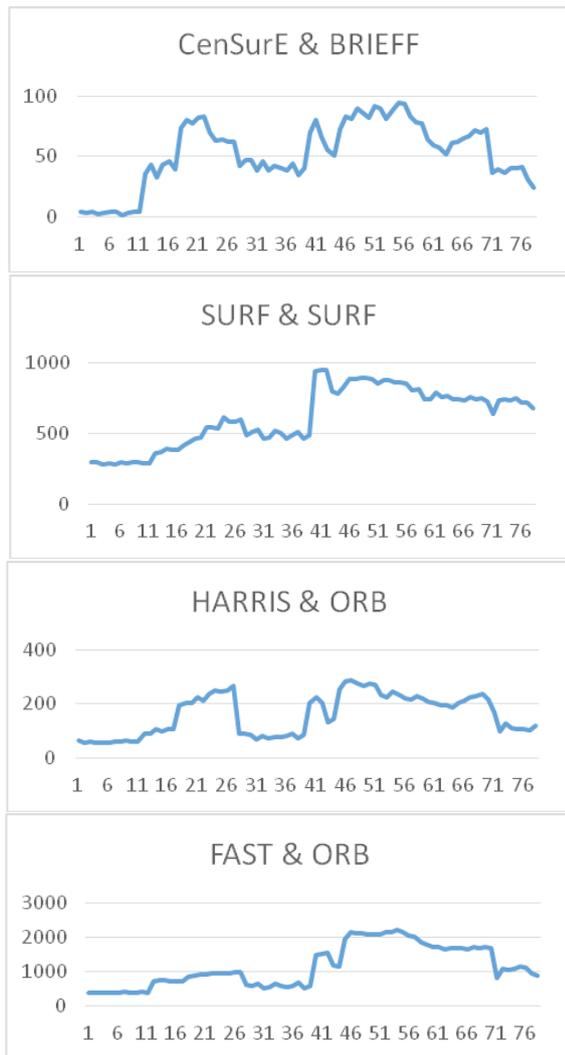


Рис. 1 Ключевые кадры видеопоследовательности

На рис. 2 показаны результирующие графики изменения количества общих ключевых точек изображений, полученные с помощью алгоритмов, перечисленных выше.



Следует обратить внимание, что, поскольку, на графиках показано изменение количества точек между двумя последовательными изображениями, то его размерность вдвое меньше количества кадров в исходной видеопоследовательности. Кроме того, резкий рост количества точек может говорить не только о резком изменении контекста изображений (как, например, между сегментами, соответствующими 3 и 4 ключевым кадрам), но и о появлении множества мелких объектов различения (сегменты для 4 и 5 кадров).

Все приведенные графики были получены при помощи сравнения дескрипторов методом полного перебора; как упоминалось выше, использование других метрик не сказывается качественно на результате.

Кроме того, анализировалась эффективность комбинирования различных детекторов ключевых точек и методов построения дескрипторов (каждый с каждым). Распределение общих ключевых точек на изображении при этом меняется незначительно, а, следовательно, и результаты отличаются в малой степени. К примеру, на рис. 3 показаны результаты комбинирования детектора SIFT с дескрипторами SIFT, BRIEF и FREAK.

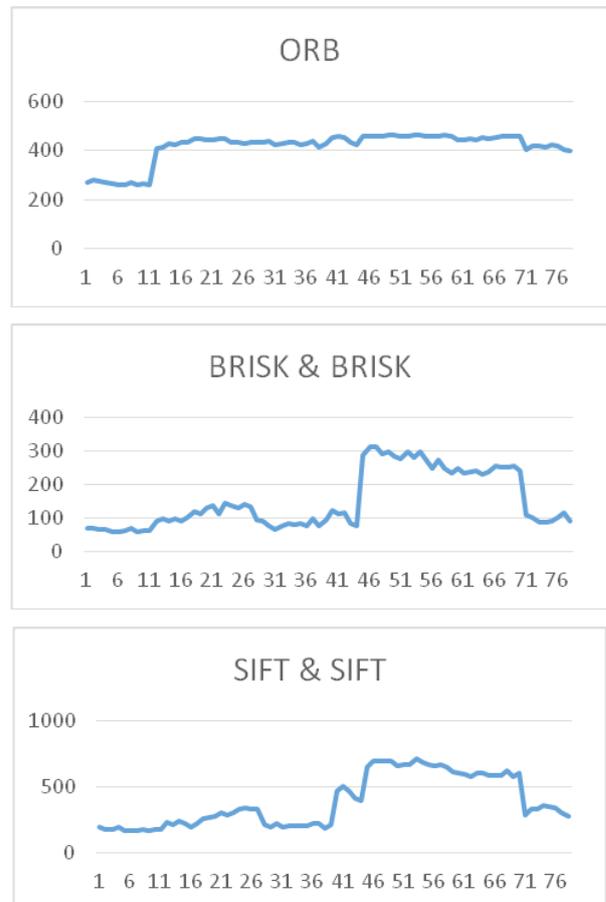


Рис. 2. Графики изменения количества общих ключевых точек; (название графика: алгоритм выделения ключевых точек / алгоритм вычисления дескриптора)

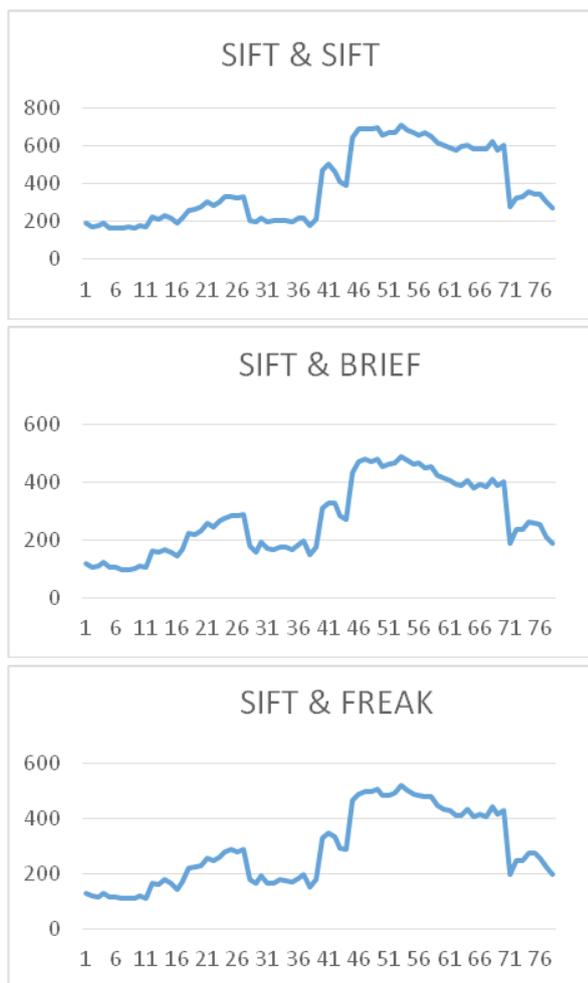


Рис. 3. График изменения количества общих ключевых точек для детектора SIFT

В табл. 1 приведены результаты производительности работы алгоритмов.

Таблица 1

	Время работы (мс)			
	SIFT	SURF	ORB	
SIFT	12551	70567	2444	
SURF	13569	<b>7588</b>	2935	
ORB	-	<b>7580</b>	2578	
BRIEF	<b>6049</b>	19106	<b>2173</b>	
BRISK	41740	43388	4818	
FREAK	15353	14650	7852	

	BRISK	HARRIS	FAST	CenSurE
SIFT	44766	4564	37929	3859
SURF	48346	<b>3093</b>	24833	1742
ORB	59687	4152	<b>7866</b>	1594
BRIEF	<b>42430</b>	3236	8538	<b>1027</b>
BRISK	113343	6260	58797	1440
FREAK	65057	9600	19499	3418

Как видим, лучшими характеристиками производительности обладает детектор ORB, однако на графиках видно, что изменения сцены он демонстрирует неотчетливо.

Хорошие результаты, как по времени выполнения, так и по точности, показали метод CenSurE

и угловой детектор Харриса. Примеры найденных ключевых точек и их соответствие представлены на рис. 4.

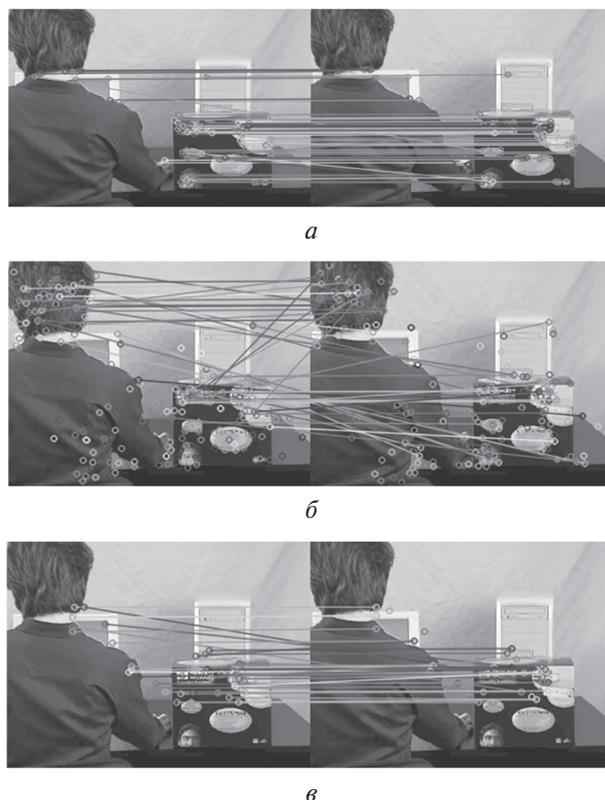


Рис. 4. Примеры соответствия ключевых точек, найденных детектором Харриса (а), SIFT (б), CenSurE(в)

### Выводы

Рассмотрены основные существующие методы нахождения ключевых точек изображения и построения их дескрипторов. Проведен анализ возможности и целесообразности комбинирования различных методов детектирования особых точек и соответствующих дескрипторов. Полученные дескрипторы сравнивались общеизвестными методами, как например, полного перебора или ближайшего соседа, которые не являются оптимальными в задаче сегментирования видеопотока. Хорошие результаты детектирования в случае сравнения дескрипторов указанными алгоритмами показал метод CenSurE (Center Surround Extremas for Realtime Feature Detection and Matching). На основе проведенных исследований, принимая во внимание особенности алгоритма CenSurE, можно перейти к формированию более специфических для анализа видеоданных компараторов дескрипторов.

**Список литературы:** 1. Канканхали, А. Сегментация потокового видео [Текст] / А. Канканхали, В. Смоляр – Нью-Йорк: Мультимедийні системи, 2003. – 10–28 с. 2. Zitova B. Image registration methods: a survey / B. Zitova, J. Flusser. // Image and Vision Computing. – 2003. – №21. – С. 97–1000. 3. Mingqiang Y. A Survey of Shape Feature Extraction Techniques / Y. A. Mingqiang, K. Kidiyo, J. Ronsin., 2001. 4. Liu G. Content-based image retrieval using color difference histogram / G. Liu, J. Yang. – 2013. – №1. 5. Raghavendra G. Fourier

Descriptors For Shape Based Image Retrieval / Raghavendra. // International Journal of Engineering Research and Technology. – 2013. – №4. **6.** Latecki L. Shape descriptors for non-rigid shapes with a single closed contour / L. Latecki, R. Lakamper, U. Eckhardt. – U: Computer Vision and Pattern Recognition, 2000. **7.** Do M. Wavelet-Based texture retrieval using generalized Gaussian density and Kullback-Leibler distance / M. Do, M. Vetterli. // Trans. Image Process. – 2002. – №2. **8.** Mas J. Video shot boundary detection based on color histogram / J. Mas, G. Fernandez. – Gaithersburg: NIST, 2003. **9.** Abhishak Y. Digital Image Processing / Y. Abhishak, Y. Poonam., 2009. **10.** Lowe. Object recognition from local scale-invariant features / Lowe, G. David., 1999. – (Proceedings of the International Conference on Computer Vision). **11.** Edward R. Faster and better: a machine learning approach to corner detection / R. Edward, P. Reid, D. Tom. // Cambridge University Engineering Department. – 2008. **12.** ORB: an efficient alternative to SIFT or SURF / R. Ethan, R. Vincent, K. Kurt, K. Gary. // Willow Garage. – 2011. **13.** Mosalam E. SUSurE: Speeded Up Surround Extrema Feature Detector and Descriptor for Realtime Applications / E. Mosalam, W. Walterio. – 2008. **14.** BRIEF: Binary Robust Independent Elementary Features / C. Michael, L. Vincent, S. Christoph, F. Pascal. // CVLab, EPFL. – 2009. **15.** Stefan L. BRISK: Binary Robust Invariant Scalable Keypoints / L. Stefan, C. Margarita, Y. Roland. // ETH. – 2010. **16.** Alexandre A. FREAK: Fast Retina Keypoint / A. Alexandre, O. Raphael, V. Pierre. // EPFL. – 2011.

*Поступила в редколлегию 23.04.2015*

УДК 004.9

**Порівняльний аналіз методів формування дескрипторів зображень в контексті задачі сегментації відеопотоку / М. О. Гончаренко // Біоніка інтелекту: наук.-техн. журнал. – 2015. – № 2 (85). – С. 90–94.**

У роботі представлені результати порівняння існуючих методів виявлення ключових точок зображення з метою детектування змін сцени відеоданих. Вихідні відданні представляються у вигляді послідовності кадрів. Для кожного зображення виконується пошук ключових точок і формується дескриптор. Для послідовних відеокadrів виявляються загальні ключові точки шляхом порівняння дескрипторів. Рішення про наявність змін контексту відеоданих приймається виходячи з кількості загальних ключових точок.

Табл. 1. Лл. 4. Бібліогр.: 16 найм.

UDC 004.9

**Comparative analysis of key points detection methods as a part of video segmentation problem / M.O. Goncharenko // Bionics of Intelligence: Sci. Mag. – 2015. – № 2 (85). – P. 90–94.**

The paper presents comparison results of existing methods for retrieving image key points which can be used for detecting scene changes in the video. Raw image data are represented as a frames sequence. For each image points are searched and descriptor is formed. The decision about video context changes is based on the number of common points.

Tab. 1. Fig. 4. Ref.: 16 items.

УДК 004.89

Н.М. Кораблев<sup>1</sup>, Г.С. Иващенко<sup>2</sup>ХНУРЭ, г. Харьков, Украина, <sup>1</sup>korablev.nm@gmail.com, <sup>2</sup>igs2005@rambler.ru

## КРАТКОСРОЧНОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ, СОДЕРЖАЩИХ АНОМАЛЬНЫЕ ЗНАЧЕНИЯ, ПРИ ПОМОЩИ МОДЕЛЕЙ ИСКУССТВЕННЫХ ИММУННЫХ СИСТЕМ

В статье предложен метод прогнозирования временных рядов, содержащих аномальные значения, при помощи искусственных иммунных систем. Рассмотрена гибридная модель выявления аномальных значений и прогнозирования искаженных временных рядов на основе модели клонального отбора и метода вывода по прецедентам (CBR). Оценка эффективности модели выполнена путем сравнительного анализа, представлены результаты экспериментальных исследований, демонстрирующие особенности предлагаемого подхода.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ, ВРЕМЕННОЙ РЯД, АНОМАЛЬНОЕ ЗНАЧЕНИЕ, ИСКУССТВЕННАЯ ИММУННАЯ СИСТЕМА, ВЫВОД ПО ПРЕЦЕДЕНТАМ, МОДЕЛЬ КЛОНАЛЬНОГО ОТБОРА, АНТИТЕЛО, АНТИГЕН, АФФИННОСТЬ

### Введение

Краткосрочное прогнозирование позволяет решить задачу определения будущего состояния различных систем на основе анализа уже имеющихся ретроспективных данных. Точность прогноза во многом определяется надежностью исходных данных, поэтому наличие аномальных выбросов в обрабатываемых ретроспективных данных является одной из проблем задачи прогнозирования, для решения которой необходимо использовать подход, позволяющий обрабатывать искаженные данные таким образом, чтобы они оказывали минимальное воздействие на результат работы прогнозирующей модели [1]. Анализ временного ряда после исключения аномальных значений может привести к получению некорректного прогноза, и как следствие, к принятию неверных решений [2].

Перспективным подходом является применение метода вывода на основе прецедентов (case based reasoning – CBR), в котором при рассмотрении новой задачи выполняется поиск подобного прецедента в предыстории в качестве аналога [4]. Если представить временной ряд как совокупность выборок, то прогнозирование при помощи CBR заключается в определении выборки, максимально соответствующей последним известным значениям временного ряда и последующей оценки его будущих значений. Выявление аномалий при помощи этого метода заключается в поиске в базе прецедентов выборки, подобной анализируемой. Если обнаружена подобная выборка ранее была определена как содержащая аномальные значения, то делается вывод о присутствии аномальных выбросов и в анализируемой выборке. Недостатком данного подхода является требование базы прецедентов значительного объема, в то время как в реальных условиях набор исходных данных ограничен и часто не содержит примеров аномальных значений временного ряда.

В настоящее время активно развиваются подходы на основе методов вычислительного интеллекта, таких как искусственные нейронные сети и искусственные иммунные системы (ИИС), которые могут интегрироваться с другими подходами и отличаются быстродействием и адаптационными возможностями.

В [4] предложен подход, основанный на применении модели клонального отбора, использующей различные антитела, построенные на основе вывода по прецедентам и простейших методов прогнозирования, который использует сегментацию временного ряда и подбор для каждого участка наиболее эффективного метода прогнозирования. Однако данный подход не позволяет учитывать внешние факторы, влияющие на прогнозируемую величину, и получать прогноз для временных рядов, содержащих аномальные выбросы. В представленной работе получил дальнейшее развитие подход, предложенный в [4].

### 1. Постановка задачи

Набор данных, описывающий протекание какого-либо длительного процесса, может быть представлен в виде временного ряда  $Z(t) = z_1, z_2, \dots, z_N$  длины  $N$ , и  $S$  внешних факторов, представленных в виде рядов  $X_1(t), X_2(t), \dots, X_S(t)$ , значения которых получены в моменты времени  $t_1, t_2, \dots, t_N$ . Набор последовательных значений  $Z_t^L = z_t, z_{t+1}, \dots, z_{t+L-1}$ , лежащих внутри временного ряда, назовем выборкой из этого ряда, имеющей длину  $L$ , с моментом начала отсчета  $t$ ,  $L \in [1, N-1]$ ,  $t \in [1, N-L]$ . Аномальный выброс определяется как значение временного ряда, существенно отличающееся от других элементов выборки. Необходимо построить модель, которая позволит определять, содержит ли проверяемая выборка аномальные значения, и выполнять прогнозирование временного ряда в условиях его искажения аномальными значениями.

## 2. Выявление аномалий при помощи моделей ИИС

Существуют различные модели, основанные на принципах работы иммунной системы: модель клонального отбора, модель отрицательного отбора, модель иммунной сети и другие, которые можно использовать для решения задачи выявления аномалий и прогнозирования временных рядов.

Применение подхода на основе модели положительного отбора [5], заключается в генерации детекторов, соответствующих выборкам значений временного ряда, не содержащих аномальных выбросов. Метод включает в себя этапы обучения и распознавания. В ходе обучения случайным образом создаются детекторы, которые сопоставляются с выборками значений, составляющих анализируемый временной ряд. Если значение аффинности меньше заданного порогового значения, новый детектор удаляется из популяции.

Создание случайных детекторов и их последующий отбор проводится до формирования набора детекторов, описывающих анализируемый ряд. В процессе распознавания выборка принимается содержащей аномальные выбросы в том случае, если ее аффинность детекторам меньше порогового значения. Недостатком данного подхода на основе модели положительного отбора является необходимость обучающей выборки, включающей в себя информацию об аномальных выбросах [5].

В случае применения сочетания модели клонального отбора и CBR для решения задачи выявления аномалий [6], прецедент содержит выборку значений временного ряда и ее характеристику (содержит данная выборка аномальные выбросы, или нет). Модель клонального отбора основывается на поиске антител (вариантов решения), наиболее соответствующих антигену (поставленной задаче), основываясь на значении функции аффинности (мере близости между антителом и антигеном).

Представим популяцию антигенов в виде множества  $Ag = \{Ag_1, Ag_2, \dots, Ag_M\}$ , где  $M$  – размер популяции антигенов, соответствующий количеству примеров в обучающей выборке.

Каждый элемент множества  $Ag$  – пример из обучающей выборки, проверяемый участок временного ряда, представленный в виде вектора фиксированной длины  $Ag_j = \langle ag_1, ag_2, ag_3, \dots, ag_L \rangle$ , где  $j$  – индекс в популяции антигенов,  $L$  – число значений в составе антигена – длина выборки проверяемых значений ряда.

Популяция антител представлена в виде множества  $Ab = \{Ab_1, Ab_2, \dots, Ab_N\}$ , где  $N$  – размер популяции антител. Антитело – основной элемент ИИС, в терминах подхода CBR исполняет роль прецедента, состоит из двух частей:  $Ab_j = \langle ab_1, ab_2, ab_3, \dots, ab_L, D_{Ab} \rangle$ . Первая часть  $ab_1, ab_2, \dots, ab_L$  аналогична по структуре антигену, определяет меру близости антитела антигену, при помощи определения значения функции аффин-

ности. Вторая часть антитела содержит его идентификатор (получаемый при создании), значение меры отклонения  $D_{Ab}$ , показывающей близость антитела к аномальному,  $D_{Ab} \in (0, 1]$ , и идентификатор того антитела, на основании сравнения с которым определяется значение  $D_{Ab}$ . Чем ближе значение  $D_{Ab}$  к пороговому, тем вероятнее присутствие в составе антитела (той выборки, что формировала его первую часть) аномального значения. Данная часть не участвует в определении аффинности.

Аффинность – мера близости между антителом и антигеном, основной критерий отбора антител – определяется как

$$Aff = \frac{\sum_{k=1}^L (1 + |ab_k - ag_k|)^{-1}}{L} \in (0, 1], \quad (1)$$

Алгоритм выявления аномальных значений следующий:

1. Создание начальной популяции антител на основе значений ряда. При этом вторая часть созданных антител на данном этапе содержит только их собственный идентификатор. Предполагается, что созданные антитела не содержат аномальных значений. Неиспользуемые значения исходного ряда служат обучающей и контрольной выборками. При наличии тренда в исходном временном ряду рекомендуется использовать ряд приращений.

2. Формирование обучающей выборки. Возможна настройка модели как путем обучения с учителем (когда известно, какие антитела из обучающей выборки соответствуют аномальным участкам ряда), так и при помощи обучения без учителя. В том случае, когда изначально неизвестно, какие данные являются аномальными, ИИС самостоятельно формирует обучающую выборку путем вычисления матрицы аффинностей между антителами. Те из них, средняя аффинность которых наименьшая (меньше определенного порога, что говорит о том, что данные антитела существенно отличаются от остальных в популяции), принимаются за аномальные и составляют обучающую выборку.

3. Добавление в популяцию антител, содержащих аномальные значения. При этом происходит проверка аффинностей между ними и присутствующими в популяции антителами, значение  $D_{Ab}$  которых пока не задано или меньше единицы. В случае, если  $D_{Ab'} * Aff < D_{Ab}$ , где  $D_{Ab'}$  – значение меры отклонения добавляемого в популяцию антитела, то  $D_{Ab} = D_{Ab'}$ .

4. Проверка антигена, о котором неизвестно, содержит аномальные значения, или нет. Выполняется отбор антител, имеющих наибольшую аффинность к антигену. Отбор так же проходят антитела, на которые ссылаются отобранные. Если значение  $D_{Ab}$  для антитела, имеющего наивысшую аффинность, выше порогового, принимается ре-

шение о присутствии в антигене аномальных значений. Вывод делается не об одном аномальном значении ряда, а об аномальной последовательности, поскольку проверяется весь антиген, а не его отдельная часть.

5. При наличии информации о том, является антиген аномальным или нет, следует коррекция модели, в зависимости от принятого решения:

ба. Антиген правильно определен как содержащий или не содержащий аномальные выбросы. Следует клонирование отобранных антител, применение ненаправленной обратно пропорциональной мутации, значение  $D_{Ab}$  клонов рассчитывается на основании аффинности с проверяемым антигеном или имеющимися в популяции антителами с наибольшими значениями меры отклонения.

бб. Антиген ошибочно определен как содержащий аномалии. Отобранные антитела клонируются и после этого устраняются из популяции. Значения  $D_{Ab}$  клонов рассчитывается на основании аффинности с присутствующими в популяции антителами, содержащими аномальные значения.

бг. Антиген ошибочно определен как не содержащий аномалий. В популяцию добавляется новое антитело, имеющее значение  $D_{Ab} = 1$ , и происходит перерасчет меры отклонения для всех антител популяции.

7. При наличии нового проверяемого антигена происходит возврат к пункту 4.

Данный подход позволяет выявлять аномалии во временных рядах в условиях отсутствия примеров аномальных значений и недостаточной информации о критерии, по которому возможно различать нормальные и аномальные выборки значений временного ряда.

### 3. Гибридная модель прогнозирования временных рядов на основе модели клонального отбора

Прогнозирование на основе модели клонального отбора основано на поиске антител (вариантов решения), наиболее соответствующих антигену (поставленной задаче), основываясь на значении функции аффинности (мере близости между антителом и антигеном) [4-6].

Согласно гипотезе, сформулированной в [7], если мера подобия между выборками  $Z_t^L$  и  $Z_{t-k}^L$  имеет значение, близкое к единице, то мера подобия между выборками длины  $P$ , следующими за ними,  $Z_{t+L}^P$  и  $Z_{t-k+L}^P$ , также близка к единице. Тогда путем определения выборки, максимально соответствующей последним известным значениям временного ряда, возможна оценка его будущих значений.

Антиген представляет собой совокупность выборок значений прогнозируемого и сопутствующих рядов [8]. Выборка значений прогнозируемого ряда может включать в себя неизвестное число аномальных значений.

Антитело, используемое для решения задачи прогнозирования, состоит из двух частей. Первая часть  $ab_1, ab_2, \dots, ab_L, ab'_1, ab'_2, \dots, ab'_L$  по структуре аналогична антигену (но включает в себя выборку значений только одного внешнего фактора  $ab'_1, ab'_2, \dots, ab'_L$ ), представляет собой набор параметров, описывающих поставленную задачу (в нашем случае это выборки известных значений ряда, включая пропущенные значения) и используется при определении аффинности. Вторая часть  $ab_{L+1}, \dots, ab_{L+f}$ , длина которой равна горизонту прогнозирования, не влияет на вычисляемое значение аффинности и описывает предлагаемый антителом прогноз для той выборки значений временного ряда, что составляет его первую часть.

Общее число антител в популяции при отсутствии пропущенных значений во временном ряду определяется следующим образом:

$$n = \sum_{i=L_{\min}}^{L_{\max}} ((N - (L_i + k) + 1) N_m F), \quad (2)$$

где  $N$  – число известных значений прогнозируемого временного ряда;  $L$  – длина части антитела, участвующей в определении аффинности,  $L \in [L_{\min}, L_{\max}]$ ;  $k$  – величина горизонта прогнозирования (длина выборки прогнозируемых значений ряда);  $N_m$  – число методов прогнозирования, используемых в модели [4];  $F$  – число поддерживаемых моделью внешних факторов, потенциально влияющих на прогнозируемую величину.

Аффинность определяется с учетом значения меры отклонения  $D_{Ab}$ , и величины весовых коэффициентов для выборок, представляющих различные внешние факторы:

$$Aff(Ab) = D_{Ab} * \eta * (\eta_{Ab} * Aff_{Ab} + \eta_{Ab'} * Aff_{Ab'}), \quad (3)$$

где  $\eta$  – значение коэффициента отбора;  $\eta_{Ab}$  и  $\eta_{Ab'}$  – коэффициенты, определяющие влияние выборок исходного и сопутствующего рядов на аффинность антитела, при этом  $\eta_{Ab} + \eta_{Ab'} = 1$ . В антигене могут быть не представлены некоторые внешние факторы, а в отдельном антителе представлена только одна сопутствующая выборка. Коэффициент отбора  $\eta$  предназначен для определения приоритета антител различных типов, т.к. антитела, созданные на основе одной и той же выборки, будут иметь одинаковое значение аффинности. Меры подобия выборок прогнозируемого временного ряда  $Aff_{Ab}$  и выборок рядов значений внешних факторов  $Aff_{Ab'}$  определяется согласно (1).

В качестве результата (предлагаемого варианта прогноза) в данном поколении принимаются значения, входящие в состав антител  $ab_{L+1}, ab_{L+2}, \dots, ab_{L+f}$ , аффинность которых  $Aff(Ab) \rightarrow 1$ .

### 4. Получение прогноза и процесс обучения ИИС

На начальном этапе получения прогноза требуется определить аномальные значения в исследуемом временном ряду, согласно подходу, описанному в разделе 2. После определения аномальных

значений формируется антиген на основе выборки значений ряда, предшествующих прогнозируемому, и происходит создание популяции антител, обладающих аффинностью, выше пороговой. Результатом является прогноз того антитела среди них, которое имеет наибольшую аффинность к заданному антигену.

После получения реальных значений прогнозируемой величины происходит коррекция коэффициентов, влияющих на значения аффинностей антител. Приращение коэффициента отбора  $\eta$  получают антитела того типа, представитель которого среди популяции отобранных показал наименьшую ошибку прогноза, что дает преимущество при последующих отборах антител при определении аффинности, т.е. предпочтение будет отдано тем антителам, которые использовали для получения своего варианта прогноза метод, успешно показавший себя на предыдущих итерациях [4].

При  $S > 0$  прогноз строится с учетом внешних факторов, представленных в виде сопутствующих временных рядов и происходит коррекция значений весовых коэффициентов, определяющих аффинность выборок, составляющих антитело. Коррекция весового коэффициента в ходе обучения ИИС позволяет снижать влияние того или иного внешнего фактора на предлагаемый вариант прогноза, путем вытеснения из популяции антител, которые включают в себя выборку значений наименее значимого внешнего фактора [8].

При определении аффинности приоритет отдается антителам, построенным на основе выборок с меньшим числом аномальных значений, и в процессе обучения шаблоны, имеющие аномалии, будут замещены близкими к ним, но с меньшим значением  $D_{Ab}$ .

Для антител, использующих CBR, применяется направленная прямо пропорциональная мутация, которой подвергается только та часть антитела, которая определяет его прогноз и не участвует в определении аффинности. Для антител, вычисляющих свой вариант прогноза самостоятельно, ненаправленной мутации подвергается только первая часть (и соответственно изменяется предлагаемый вариант прогноза), что частично решает проблему недостатка прецедентов в базе.

Обучение ИИС повторяется для каждого антигена из обучающей выборки заданное число раз, или до достижения некоторого заданного значения средней абсолютной ошибки. Антитела, имевшие наибольшее значение аффинности на каждой итерации алгоритма, становятся клетками памяти – шаблонами, описывающие анализируемый ряд.

### 5. Результаты сравнительного анализа

В ходе экспериментальных исследований было проведено краткосрочное прогнозирование рядов, используемых в M3-Competition [9], и сравнение результатов, полученных с помощью рассмотренного подхода (в таблице 1 – метод ClonAlg) с при-

веденными в [9] результатами прогнозирования неискаженных рядов с помощью экспоненциального сглаживания (Exp.Smooth), модели Хольта (HoltWinters), модели ARIMA. Симметричные средние абсолютные ошибки прогнозирования приведены в таблице 1, для ряда Meteo (более 20 тыс. значений среднесуточной температуры) указана средняя абсолютная ошибка (MAE, °C).

Таблица 1

Ошибка прогнозирования при использовании различных методов и разном количестве аномальных значений

Метод	N736 (44)	N1366 (63)	N2830 (104)	N2841 (104)	Meteo
Exp.Smooth	12,11	0,42	2,47	0,5	4,56
Exp.Smooth (10%)	12,5	0,45	2,48	0,59	4,7
HoltWinters	10,68	1,04	3,27	0,39	2,9
HoltWinters (10%)	12,04	1,18	3,51	0,44	3,13
Box–Jenkins	7,35	0,57	2,45	0,5	2,99
Box–Jenkins (10%)	7,85	0,65	2,48	0,53	3,35
<b>ClonAlg</b>	7,65	0,41	1,83	0,14	2,44
<b>ClonAlg (10%)</b>	9,74	0,91	2,34	0,21	2,49
<b>ClonAlg (10%), cntrl</b>	8,45	0,41	1,83	0,23	2,44
<b>ClonAlg (20%)</b>	8,26	0,56	3,31	0,53	3,77

Аномальные значения для экспериментов вносились путем увеличения или уменьшения случайно выбранных 10% значений ряда на 20% от  $(z_{max} - z_{min})$ . Для прогноза при помощи гибридного подхода анализировалось два варианта расположения аномалий – во всем ряду (пример на рис. 1), и только в контрольной части (для случая, когда была возможность перед использованием создать и обучить ИИС на неповрежденных данных). Кроме того, для предложенного подхода были проведены эксперименты с внесением 20% аномальных значений во временной ряд.

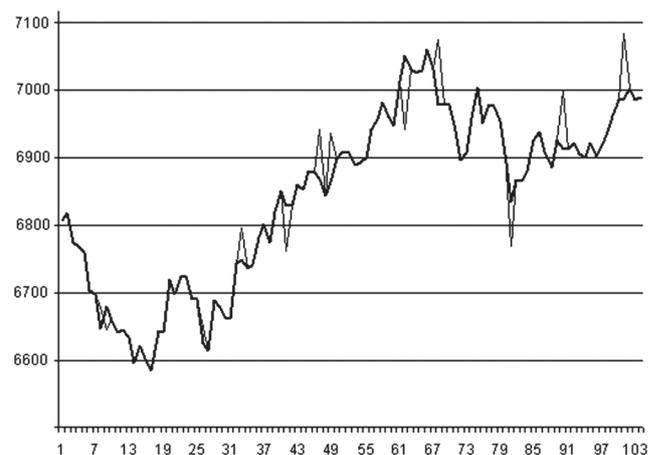


Рис. 1. Пример искаженного временного ряда (N2841)

Наличие аномальных значений ведет к увеличению ошибки на 5-8%, но если аномальные значения расположены только в контрольной части ряда (результаты для ClonAlg (10%), control), ошибка увеличивается только на 1-3% процента. Результаты прогнозирования подтверждают преимущество использования предложенного подхода на основе модели клонального отбора.

Вследствие выявления большинства аномалий, результаты, как правило, соответствуют результатам прогнозирования временных рядов, содержащих пропущенные значения [8]. Основной проблемой остается прогнозирование коротких временных рядов (результаты N736 и N1366), количество значений которых не позволяет создать популяцию антител достаточного размера, вследствие чего предложенный подход на основе модели клонального отбора уступает на таких рядах традиционным методам прогнозирования.

### Выводы

Предложена гибридная модель краткосрочного прогнозирования искаженных временных рядов, содержащих аномальные значения, на основе модели клонального отбора. Данная модель отличается применением иммунных операторов для управления базой прецедентов, в качестве которых используются разнородные антитела, созданные на основе метода вывода по прецедентам и простейших методов прогнозирования.

В процессе предварительной обработки данных выполняется поиск аномальных значений прогнозируемого ряда при помощи подхода на основе модели клонального отбора. Возможна ее настройка как путем обучения с учителем, так и при помощи обучения без учителя, путем расчета матрицы аффинностей между антителами. В дальнейшем, в ходе получения прогноза, при определении аффинностей антител используются полученные на этапе поиска аномалий значения меры отклонения антитела. Данный подход позволяет выявлять аномалии во временном ряде в процессе решения задачи краткосрочного прогнозирования, что позволяет повысить точность получаемого прогноза.

**Список литературы:** 1. Бучацкая, В. В. Обработка аномальных значений уровней временного ряда как этап комплексной оценки информации в подсистеме прогнозирования для ситуационного центра [Текст] / В. В. Бучацкая // Вестник Адыгейского государственного университета, Сер.: Естественно-математические и технические науки. – 2013. – Вып. 3. – С. 98-102. 2. Литтл, Р. Дж. А. Статистический анализ данных с пропусками / Р. Дж. А. Литтл, Д. Б. Рубин. – М.: Финансы и статистика, 1991. – 430 с. – ISBN 5-279-00443-X. 3. Черный, С. Г. Применение case based reasoning для поддержки принятия решений [Текст] / С. Г. Черный // Вестник ХНТУ. – 2010. – № 2(38). –

С. 336–342. 4. Кораблев, Н.М. Гибридный метод краткосрочного прогнозирования временных рядов на основе модели клонального отбора [Текст] / Н.М. Кораблев, Г.С. Иващенко // 16-я всероссийская научно-техническая конференция с международным участием «Нейроинформатика-2014», 27-31 января 2014 г.: сборник научных трудов. – Москва, 2014. – Часть 1. – С. 79-89. 5. Кораблев, Н.М. Обнаружение аномальных выбросов во временных рядах при помощи модели положительного отбора [Текст] / Н.М. Кораблев, Г.С. Иващенко, Т.В. Гайдамака // 2-я международная научно-техническая конференция «Проблемы информатизации», 12-13 апреля 2014 г.: тезисы докладов. – Киев, 2014. – С. 72. 6. Кораблев, Н.М. Выявление аномальных значений во временных рядах при помощи модели клонального отбора, использующей вывод по прецедентам [Текст] / Н.М. Кораблев, Г.С. Иващенко // Сучасні проблеми правового, економічного та соціального розвитку держави, 22 листопада 2013 г.: тези доповідей. – Харків, 2013. – С. 421-423. 7. Чучуева, И.А. Модель экстраполяции временных рядов по выборке максимального подобия [Текст] / И. А. Чучуева // Информационные технологии. – 2010. – № 12. – С. 43–47. 8. Кораблев, Н.М. Применение модели клонального отбора для прогнозирования временных рядов, имеющих пропущенные значения [Текст] / Н.М. Кораблев, Г.С. Иващенко // Электротехнические и компьютерные системы. – 2014. – Вып. 13 (89). – С. 170-177. 9. Makridakis, S. The M-3 Competition: Results, Conclusions and Implications [Текст] / S. Makridakis, M. Hibon // International Journal of Forecasting. – 2000. – № 16. – P. 451–476.

*Поступила в редколлегию 11.05.2015*

УДК 004.89

**Короткострокове прогнозування часових рядів, що містять аномальні значення, за допомогою моделей штучних імунних систем.** / М.М. Кораблев, Г.С. Иващенко // Біоніка інтелекту: наук.-техн. журнал. – 2015. – № 2 (85). – С. 95–99.

У статті розглядається комбінований метод короткострокового прогнозування часових рядів за умов їх викривленості аномальними спостереженнями за допомогою штучних імунних систем. Запропоновано підхід на основі моделі клонального відбору та методу виведення з прецедентів. Був проведений порівняльний аналіз ефективності застосування запропонованої моделі та традиційних методів прогнозування часових рядів.

Табл. 1. Лл. 1. Бібліогр.: 9 найм.

UDK 004.89

**Application of the models of artificial immune systems for short-term forecasting of time series containing abnormal values.** / N.M. Korablev, G.S. Ivashchenko // Bionics of Intelligence: Sci. Mag. – 2015. – № 2 (85). – P. 95–99.

This paper proposes the combined method of short-term forecasting of time series containing abnormal values using artificial immune systems. A model of the prediction is based on the model of clonal selection and the case based reasoning method. Was performed a comparative analysis of the effectiveness of the proposed approach based on the immune model and the traditional methods of time series prediction.

Tab. 1. Fig. 1. Ref.: 9 items.

УДК 681.518:004.93.1'

В.О. Дрофа<sup>1</sup>, Т.М. Єфіменко<sup>2</sup><sup>1</sup> СумДУ, м. Суми, Україна, brviktoriya@yahoo.com<sup>2</sup> СумДУ, м. Суми, Україна, tetayna91@gmail.com

## ІНФОРМАЦІЙНО-ЕКСТРЕМАЛЬНИЙ АЛГОРИТМ РОЗПІЗНАВАННЯ НЕСТАЦІОНАРНИХ ЗА ЯСКРАВІСТЮ ЗОБРАЖЕНЬ

Розглядається в рамках інформаційно-екстремальної інтелектуальної технології алгоритм навчання системи розпізнавання зображень морфології тканин, одержаних при гістологічних дослідженнях. Як критерій оптимізації параметрів навчання системи розпізнавання використано модифіковану інформаційну міру Кульбака. При цьому для формування вхідного математичного опису використано навчальну матрицю яскравості зображень, яка складалася із RGB-складових.

АЛГОРИТМ НАВЧАННЯ, СИСТЕМА РОЗПІЗНАВАННЯ, ІНФОРМАЦІЙНА МІРА КУЛЬБАКА, ЯСКРАВІСТЬ ЗОБРАЖЕННЯ

### Вступ

Розпізнавання зображень морфології тканин, отриманих за методом біопсії, вимагає від лікаря-онколога високого професійного рівня та тривалого практичного досвіду. Тому задача створення системи підтримки прийняття рішень для розпізнавання цифрових зображень морфології тканин, що характеризують певні онкопатології, є актуальною.

Аналіз існуючих методів клінічної діагностики свідчить про відсутність високодостовірних комп'ютеризованих засобів розпізнавання цифрових зображень морфології тканин пацієнтів через довільні початкові умови формування зображень, вплив неконтрольованих збурюючих факторів і перетин класів розпізнавання, що характеризують різні онкопатології [1]. Остання причина обумовлює появу інтенсивних фонових завад, що потребує їх фільтрації. Тому вирішення проблеми підвищення функціональної ефективності комп'ютеризованих систем діагностування онкопатологій за цифровими зображеннями морфології тканин, одержаних за методом біопсії, потребує надання їм властивості адаптивності шляхом застосування ідей і методів машинного навчання та розпізнавання образів.

Одним із перспективних шляхів вирішення цієї проблеми є застосування ідей і методів інформаційно-екстремальної інтелектуальної технології (ІЕІ-технології), що ґрунтується на максимізації інформаційної спроможності в процесі навчання системи розпізнавання [2-4]. В праці [4] формування вхідної навчальної матриці здійснювалося за результатами оброблення одержаних за допомогою мікроскопа зображень морфології тканин, які розглядалися як стаціонарні за яскравістю зображення типу "текстура". При цьому формування навчальної матриці яскравості пікселів рецепторного поля зображень здійснювалося шляхом його зчитування в декартовій системі координат, що не забезпечувало інваріантність алгоритму навчання до довільних початкових умов формування зображень.

У статті розглядається інформаційно-екстремальний алгоритм навчання системи розпізнавання нестационарних за яскравістю зображень морфології тканин на прикладі комп'ютерного діагностування онкопатологій молочної залози.

### 1. Постановка задачі

Розглянемо в рамках ІЕІ-технології формалізовану постановку задачі інформаційного синтезу здатної навчатися системи діагностування онкопатологій за їх цифровими зображеннями. Нехай задано алфавіт класів розпізнавання  $\{X_m^o \mid m = \overline{1, M}\}$ , які характеризують можливі функціональні стани онкопатологічного процесу за відповідними цифровими зображеннями морфології тканини пацієнта, отриманими за методом біопсії. Як відомо основна задача інформаційно-екстремального навчання системи розпізнавання полягає в оптимізації в інформаційному розумінні геометричних параметрів радіально-базисних функцій. Для спрощення розглянемо такі функції у вигляді гіперсферичних контейнерів класів розпізнавання, для яких деяким способом визначено геометричні центри.

Таким чином, необхідно сформулювати вхідний математичний опис системи розпізнавання і в процесі її машинного навчання відновити в радіальному базисі простору ознак оптимальні в інформаційному розумінні гіперсферичні контейнери класів розпізнавання за умови, що інформаційний критерій функціональної ефективності (КФЕ) навчання системи набуває максимального значення в робочій області визначення його функції:

$$E_m^* = \max_{\{k\}} E_m^{(k)}, \quad (1)$$

де  $E_m^{(k)}$  – обчислений на  $k$ -му кроці навчання інформаційний КФЕ навчання системи розпізнавати реалізації зображень класу  $X_m^o$ ;  $\{k\}$  – впорядкована множина кроків навчання.

При функціонуванні системи в режимі екзамену, тобто безпосереднього діагностування, необхідно прийняти рішення про належність реалізації зображення, що розпізнається, до відповідного класу із заданого алфавіту.

## 2. Формування вхідного математичного опису

Основною задачею формування вхідного математичного опису здатної навчатися системи діагностування онкопатологій за цифровими зображеннями є формування для кожного класу  $X_m^o$  апіорно класифікованої багатовимірної навчальної матриці яскравості пікселів рецепторного поля зображень типу «об'єкт-властивість»  $\|y_{m,i}^{(j)}\|$ ,  $i = \overline{1, N}$ ,  $j = \overline{1, n}$ , де  $N$ ,  $n$  – кількість ознак розпізнавання та векторів-реалізацій зображень відповідно. При цьому основна відмінність формування вхідної навчальної матриці за нестационарними за яскравістю цифровими зображеннями полягає на відміну від стаціонарних в тому, що структурований вектор-реалізація зображення складається із значень яскравості всіх пікселів рецепторного поля зображень. При цьому з метою забезпечення інваріантності алгоритму навчання системи діагностування до зсуву та повороту зображень їх оброблення здійснювалося в полярній системі координат.

Формування структурованих векторів-реалізацій зображень, оброблених в полярних координатах, здійснювалося за формулою [5]

$$\Theta_r = \frac{1}{N_r} \sum_{l=1}^{N_r} \theta_l, \quad (2)$$

де  $\Theta_r$  – усереднене значення яскравості пікселів, що належать колу зчитування  $r$ -го радіусу,  $r = \overline{0, R}$ ;  $\theta_l$  – значення яскравості кольорової складової в  $l$ -му пікселі кола зчитування;  $N_r$  – загальна кількість пікселів в  $r$ -му колі зчитування.

За ознаки розпізнавання, які розглядалися як координати структурованого вектора-реалізації зображення, приймалися усереднені значення яскравості пікселів в кожному колі зчитування. Оскільки зображення морфології тканин є кольоровими, то формування навчальної матриці здійснювалося шляхом послідовного оброблення його RGB-складових. При цьому для рецепторного поля зображень  $200 \times 200$  пікселів вектор-реалізація кожного зображення складався із 300 ознак розпізнавання.

Важливим питанням при формуванні вхідної навчальної матриці є забезпечення її репрезентативності. Згідно з працею [2] мінімальний обсяг  $n_{\min}^*$  репрезентативної навчальної вибірки визначався за умови забезпечення прийнятних з практичних міркувань мінімальної статистичної похибки

$$\varepsilon = |n_i / n_{\min} - p_i|,$$

де  $n_i / n_{\min}$  – емпірична частота попадання значення  $i$ -ї ознаки розпізнавання в своє поле контрольних допусків за  $n_{\min}$  спостережень;  $p_i$  – імовірність попадання значення  $i$ -ї ознаки розпізнавання в своє поле контрольних допусків.

Таким чином, вибір мінімального обсягу репрезентативної навчальної матриці здійснювався шляхом прийняття компромісного в розумінні Парето рішення і дорівнював  $n_{\min}^* = 40$  реалізаціям зображень для кожного класу.

## 3. Інформаційно-екстремальний алгоритм навчання системи розпізнавання зображень

Вхідною інформацією для навчання системи розпізнавання за інформаційно-екстремальним алгоритмом є навчальна матриця яскравості зображень, яка представляє собою дійсний в загальному випадку тривимірний масив реалізацій образу  $\{y_{m,i}^{(j)}\}$  і система полів контрольних допусків  $\{\delta_K\}$  на ознаки розпізнавання.

Розглянемо основні етапи реалізації алгоритму:

1. Визначення системи нижніх  $A_{HK,i}$  і верхніх  $A_{BK,i}$  контрольних допусків на ознаки розпізнавання в градаціях яскравості пікселів рецепторного поля

$$A_{HK,i} = y_i - \frac{\delta_K y_i}{100}; \quad A_{BK,i} = y_i + \frac{\delta_K y_i}{100},$$

де  $y_i$  – середнє вибіркоче значення  $i$ -ї ознаки розпізнавання для базового класу розпізнавання, відносно якого формується система контрольних допусків.

2. Формування для заданої системи контрольних допусків на ознаки розпізнавання бінарної навчальної матриці  $\|x_{m,i}^{(j)}\|$ .

3. Формування масиву еталонних (усереднених за реалізаціями множини  $\{x_m^{(j)}\}$ ) двійкових векторів-реалізацій  $\{x_{m,i} | m = \overline{1, M}, i = \overline{1, N}\}$ , елементи яких визначаються за правилом

$$x_{m,i} = \begin{cases} 1, & \text{if } \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n x_{m,i}^{(j)} > \rho_m; \\ 0, & \text{if } \text{else,} \end{cases} \quad (3)$$

де  $\rho_m$  – рівень селекції координат двійкового еталонного (усередненого) вектора-реалізації  $x_m \in X_m^o$ .

У виразі (3) під рівнем селекції розуміється рівень квантування дискрет полігону емпіричних частот попадання значень ознак розпізнавання в свої поля контрольних допусків, який за замовчуванням дорівнює 0,5 для всіх класів розпізнавання.

4. Для загального випадку, якщо  $M > 2$ , здійснюється розбиття множини еталонних двійкових векторів на пари найближчих «сусідів»:  $\mathfrak{X}_m^{[2]} = \langle x_m, x_l \rangle$ , де  $x_l$  – еталонний вектор сусіднього класу  $X_l^o$ , яке може здійснюватися за такою схемою:

а) структурується множина еталонних векторів, починаючи з вектора  $x_1$  базового класу  $X_1^o$ , відносно якого задається система контрольних допусків на ознаки розпізнавання;

б) для структурованої множини векторів  $\langle \{x_m\} \rangle$  будується симетрична матриця кодових відстаней розмірності  $M \times M$ , в якій елементам головної діагоналі присвоюється найбільше значення, наприклад,  $N$  – кількість ознак у векторі-реалізації;

в) для кожного  $m$ -го рядка матриці кодових відстаней знаходиться мінімальний елемент, який

визначає стовпчик вектора, найближчого до вектора  $x_m$ . За наявності декількох однакових мінімальних елементів може вибиратися з них будь-який, оскільки вони є рівноправними;

г) формується структурована множина елементів попарного розбиття  $\{\mathfrak{X}_m^{[2]}\}$ , яка задає послідовність відновлення оптимальних контейнерів для пар найближчих класів розпізнавання.

5. Оптимізація кодової відстані  $d_m$  відбувається за ітераційною процедурою

$$d_m^* = \arg \max_{\{d\}} E_m(d). \quad (4)$$

де  $\{d\} = \{d_1, \dots, d_k, \dots, d_{\max}\} \in [0; d(x_m \oplus x_l) - 1]$  – множина радіусів гіперсфер, які в процесі навчання відновлюються в радіальному базисі простору ознак розпізнавання і центр яких визначається вершиною двійкового еталонного вектора  $x_m \in X_m^o$ . При цьому  $E_m(0) = 0$ .

6. Процедура закінчується при знаходженні максимуму КФЕ в робочій області визначення його функції:

$$E_m^* = \max_{\{d\}} E_m,$$

Як критерій оптимізації параметрів навчання розглядався модифікований критерій Кульбака, який для двохальтернативних рівноймовірних гіпотез має вигляд [2]

$$E_m^{(k)} = \frac{1}{n} \log_2 \left\{ \frac{2n + 10^{-r} - [K_{2,m}^{(k)} + K_{3,m}^{(k)}]}{[K_{2,m}^{(k)} + K_{3,m}^{(k)}] + 10^{-r}} \right\} \times [n - (K_2^{(k)} + K_3^{(k)})], \quad (5)$$

де  $10^{-r}$  – достатньо мале число, яке вводиться для усунення проблеми поділу на нуль;  $r$  – число цифр у мантисі значення критерію  $E_m^{(k)}$ ;  $K_{2,m}^{(k)}$  – обчислена на  $k$ -му кроці навчання кількість подій, які характеризуються неналежністю реалізацій контейнеру  $K_{1,m}^o$ , якщо в дійсності вони належать навчальній матриці класу  $X_1^o$ ;  $K_{3,m}^{(k)}$  – кількість подій, які характеризуються належністю реалізацій контейнеру  $K_{1,m}^o$ , якщо вони насправді належать навчальній матриці класу  $X_2^o$ .

У виразі (5) величина  $r$  на практиці вибирається в межах  $1 < r \leq 3$ .

Одержані в процесі інформаційно-екстремального навчання оптимальні радіуси контейнерів класів розпізнавання  $\{d_m^*\}$  і еталонні вектори-реалізації  $\{x_m^*\}$  для заданого алфавіту  $\{X_m^o\}$  є обов'язковими вхідними даними для функціонування системи діагностування в режимі екзамену, тобто безпосереднього прийняття рішень.

Таким чином, основною функцією алгоритму навчання системи розпізнавання у рамках ІЕІ-технології є обчислення на кожному кроці навчання інформаційного КФЕ і організація пошуку глобального максимуму в робочій області визначення його функції з метою визначення оптимальних в інформаційному розумінні геометричних параме-

трів гіперсферичних контейнерів класів розпізнавання.

#### 4. Приклад розпізнавання зображень морфології тканин

Розглянемо результати реалізацію вище наведеного алгоритму навчання на прикладі системи діагностування онкопатологій раку молочної залози за цифровими зображеннями морфології тканин пацієнтів, отриманих за методом біопсії. Для наочності розглядалися морфологічні зображення двох класів, які характеризують ракові захворювання молочної залози, дольковий (клас розпізнавання  $X_1^o$ ) та протоковий (клас розпізнавання  $X_2^o$ ) рак. Цифрові зображення морфології тканин при цих патологіях показано на рис. 1.

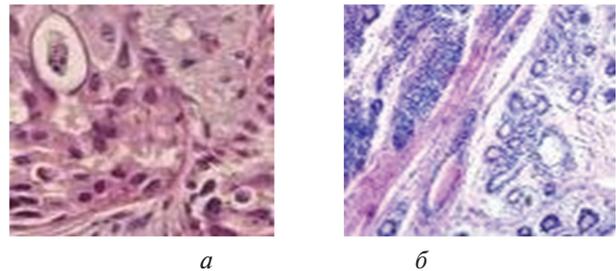


Рис. 1. Морфологічні зображення тканин:  
а – клас  $X_1^o$ ; б – клас  $X_2^o$

Оскільки зображення розглядалися як нестационарні за яскравістю, то формування вектора-реалізації навчальної матриці здійснювалося шляхом їх оброблення в полярній системі координат за формулою (2). При цьому зображення оброблялися по їх  $RGB$ -складовим, тобто кожний структурований вектор-реалізація складався з ознак розпізнавання цих складових.

На рис. 2 показано полутонові зображення класів розпізнавання для  $RGB$ -складових, за якими формувалися відповідні вектори-реалізації навчальної матриці.

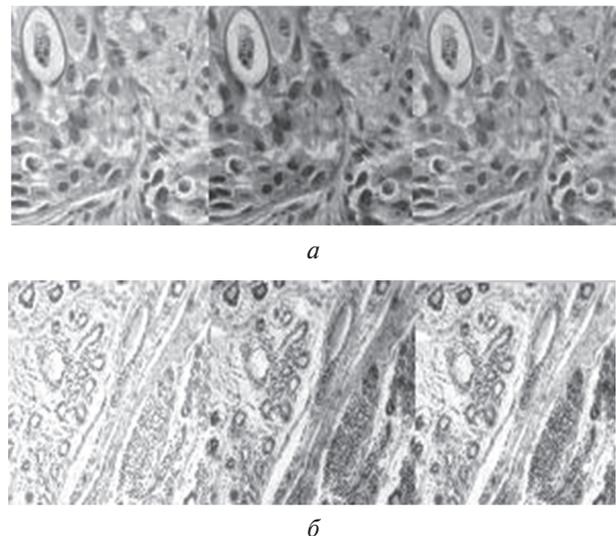


Рис. 2. Полутонові зображення:  
а – клас  $X_1^o$ ; б – клас  $X_2^o$

Оскільки оброблялося по 40 зображень одного класу, то в результаті навчальна матриця для кожного класу розпізнавання складалася із 40 векторів-реалізацій, кожний з яких містив 300 ознак при розмірі рецепторного поля для кожної RGB-складової  $200 \times 200$  пікселів.

В рамках ІЕІ-технології процес оптимізації геометричних параметрів контейнерів класів розпізнавання полягає в адаптації вхідного математичного опису шляхом максимізації в процесі навчання інформаційної спроможності системи розпізнавання. Оскільки вхідна навчальна матриця, яка відбиває властивості зображень, повинна залишатися незмінною, то в процесі інформаційно-екстремального навчання системи розпізнавання здійснюється її трансформація в бінарний простір ознак розпізнавання. Таким чином, надається можливість застосування допустимих перетворень робочої бінарної навчальної матриці в процесі пошуку глобального максимуму інформаційного КФЕ навчання системи розпізнавання.

Оскільки відновлення в процесі навчання контейнерів класів розпізнавання відбувається в радіальному базисі простору ознак, то для визначення їх геометричних центрів необхідною процедурою є формування двійкових еталонних (усереднених) векторів-реалізацій відповідних зображень.

На рис. 3 показано структури еталонних векторів-реалізацій, сформованих за бінарними навчальними матрицями класів розпізнавання  $X_1^o$  і  $X_2^o$  за правилом (3).

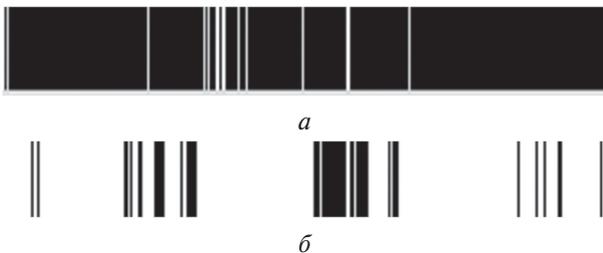
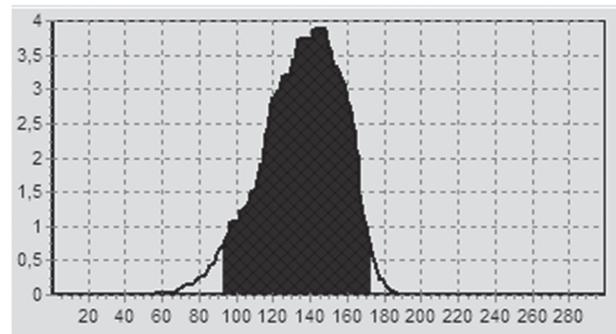


Рис. 3. Структури двійкових еталонних векторів:  
а – клас  $X_1^o$ ; б – клас  $X_2^o$

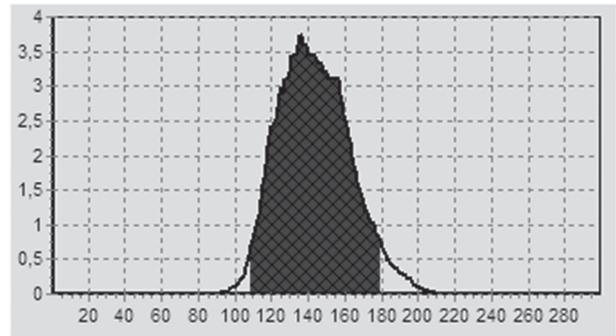
Аналіз рис. 3 показує, що візуально еталонні вектори класів розпізнавання суттєво відрізняються і при цьому міжцентрова кодова відстань дорівнює 236.

Оптимізація радіусів контейнерів класів розпізнавання здійснювалася при заданій системі контрольних допусків на ознаки за ітераційним алгоритмом (4) пошуку глобального максимуму інформаційного критерію (5) в робочій області визначення його функції.

На рис. 4 показано графіки залежності КФЕ (б) від радіусів контейнерів класів розпізнавання, отримані в процесі навчання системи діагностування. При цьому темними ділянками на графіках позначено робочі області визначення функції критерію, в яких помилки першого і другого роду менше відповідно першої і другої достовірностей.



а



б

Рис. 4. Графіки залежності КФЕ від радіусів контейнерів класів розпізнавання:

а – клас  $X_1^o$ ; б – клас  $X_2^o$

Аналіз рис. 4 показує, що оптимальні радіуси контейнерів в кодових одиницях дорівнюють  $d_{1,1}^* = 136$  для класу  $X_1^o$  і  $d_{2,2}^* = 132$  для класу  $X_2^o$  при усередненому максимальному значенні ненормованого КФЕ  $\bar{E}^* = 3,7$ . При цьому мають місце такі точнісні характеристики класифікації реалізацій:

- для класу  $X_1^o$  – перша достовірність  $D_{1,1} = 0,97$ , друга достовірність  $D_{2,1} = 1$ , помилка першого роду  $\alpha_1 = 0,03$  і помилка другого роду  $\beta_1 = 0$ ;

- для класу  $X_2^o$  – перша достовірність  $D_{1,2} = 1$ , друга достовірність  $D_{2,2} = 0,96$ , помилка першого роду  $\alpha_2 = 0$  і помилка другого роду  $\beta_2 = 0,04$ .

Таким чином, реалізація алгоритму (4) дозволяє отримати високу асимптотичну повну ймовірність правильної класифікації реалізацій розглянутих класів розпізнавання, але наявність помилок першого і другого роду не дозволяє стверджувати, що побудовані вирішальні правила є безпомилковими за навчальною матрицею.

### Висновки

Застосування інформаційно-екстремального алгоритму навчання системи діагностування онкопатологій молочної залози за нестационарними за яскравістю зображеннями морфології тканин дозволило побудувати високодостовірні вирішальні правила. При цьому морфологічні зображення оброблялися в полярній системі координат, що забезпечило інваріантність алгоритму навчання

до зсуву і повороту зображень. У перспективі для побудови безпомилкових за навчальною матрицею вирішальних правил необхідно здійснювати оптимізацію інших просторово-часових параметрів навчання, які впливають на функціональну ефективність системи діагностування.

**Список літератури:** 1. Луцик О.Д. Гістологія людини / О.Д. Луцик, А.Й. Іванова, К.С. Кабак, Ю.Б. Чайковський – Київ: Книга плюс. – 2010. – 584 с. 2. Довбиш А.С. Основи проектування інтелектуальних систем: Навчальний посібник / А.С. Довбиш. – Суми: Видавництво СумДУ. – 2009. – 171 с. 3. Стадник Г.А. Визначення базового класу розпізнавання при діагностуванні інфекційних захворювань / Г.А. Стадник // Харків: Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – 2012. – № 4 (56) – С. 174-179. 4. Довбиш А.С. Інтелектуальна система підтримки прийняття рішень для діагностування онкопатологій / А.С. Довбиш, В.О. Жаловага В.О. // Вісник СумДУ. Серія: Технічні науки. – 2009. – № 3. – С. 5-12. 5. Довбиш А.С. Оптимізація параметрів плану навчання системи розпізнавання магнітокардіограм / А.С. Довбиш, С.С. Мартиненко. – Харків: Біоніка інтелекта, 2010. – №3 (74) – С. 129–132.

*Надійшла до редколегії 19.05.2015*

УДК 681.518:004.93.1'

**Информационно-экстремальный алгоритм распознавания нестационарных по яркости изображений / В.А. Дрофа, Т.М. Ефименко // Бионика интеллекта: научн.-техн. журнал. – 2015. – № 2 (85). – С. 100–104.**

Рассматривается в рамках информационно-экстремальной интеллектуальной технологии алгоритм обучения системы распознавания изображений морфологии тканей, полученных при гистологических исследованиях. В качестве критерия оптимизации параметров обучения используется модифицированная информационная мера и Кульбака. При этом для формирования входного математического описания использована обучающая матрица яркости изображения, которая состояла из RGB-составляющих.

Ил. 4. Библиогр.: 5.

UDC 681.518:004.93.1'

**Information and extreme recognition algorithm unsteady brightness images / V.A. Drofa, T.M. Efimenko // Bionics of Intelligence: Sci. Mag. – 2015. – № 2 (85). – P. 100–104.**

The training algorithm for the system of recognition of tissue morphology patterns, obtained during histological examinations, is reviewed within the frame informative and extreme intelligent solution. At that in order to form the input mathematical description there has been used an image brightness training matrix composed of RGB-components.

Fig. 4. Ref.: 5.

УДК 615.47



Т.В. Жемчужкина<sup>1</sup>, Т.В. Носова<sup>1</sup>, Я.В. Носова<sup>1</sup>, А.В. Губанов<sup>1</sup>,  
Д.Р. Дуплий<sup>2</sup>, И.В. Котульский<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Харьковский национальный университет радиоэлектроники,  
г. Харьков, Украина, nuav007@gmail.com;

<sup>2</sup>ГУ «Института патологии позвоночника и суставов им. проф. М.И. Ситенко НАМН Украины»,  
г. Харьков, Украина, duplijd@gmail.com

## СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СПЕКТРАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭМГ-СИГНАЛА С ЦЕЛЬЮ ДИФФЕРЕНЦИРОВАНИЯ ПОЯСНИЧНЫХ БОЛЕЙ

В данной статье исследуется зависимость набора спектральных показателей ЭМГ-сигнала от пола и диагноза в связанных и несвязанных выборках непараметрическими методами математической статистики. Работа проводилась на основе результатов обследования в четырех группах пациентов: практически здоровые без жалоб; условно здоровые с жалобами на боли в спине; вертебрологические пациенты; пациенты, страдающие сколиозом.

БОЛИ ПОЯСНИЧНЫЕ, КРИТЕРИЙ МАННА-УИТНИ, КРИТЕРИЙ УИЛКОКСОНА, МЫШЦЫ, СПЕКТР, СТАТИСТИКА, УТОМЛЯЕМОСТЬ, ЧАСТОТА МЕДИАННАЯ, ЭЛЕКТРОМИОГРАФИЯ

### Введение

Боль в поясничном отделе позвоночника (БПОП) является мультифакториальным страданием, чрезвычайно распространенным среди населения. Согласно социальным опросам, примерно 80% всего взрослого населения хотя бы один раз в жизни испытывали БПОП. Среди ведущих нарушений здоровья боль в спине является второй по частоте причиной пропусков работы и снижения трудоспособности в США (2002).

Диагностика и лечение поясничной боли являются крайне сложной задачей, так как у большинства пациентов отсутствует достаточное количество органических признаков заболевания, выявляемых при рентгенографии магнитно-резонансной томографии позвоночника. В результате, более чем у 85% людей, страдающих поясничными болями, не удается выявить структурную патологию и таким пациентам зачастую ставят диагноз «периодические или хронические боли в нижней части спины» (low back pain). Некоторые авторы предполагают, что у многих из этих людей имеются изначальные скелетно-мышечные нарушения, что, в свою очередь, предрасполагает к появлению БПОП.

Клинические исследования (1989) таких пациентов показали, что болям в спине сопутствует еще хотя бы одно ярко выраженное нарушение опорно-двигательного аппарата. Так же авторами выявлены локализованные точки болезненности спины, ограничение двигательной активности спины и шеи, преходящие нарушения чувствительности, ригидность отдельных мышц, снижение объема движений бедер, изменения походки и прочие функциональные нарушения, которые не относятся к неврологической симптоматике [1]. В этом свете электромиография представляется перспективным методом исследования, поскольку позволяет регистрировать различные функциональные состояния мышц.

Биоэлектрическая активность мышцы в состоянии изометрического напряжения представлена электромагнитными колебаниями функционирующих в ней двигательных единиц. Запись поверхностной (глобальной, интерференционной) электромиограммы (ЭМГ) представляет собой суммарную разность биоэлектрических потенциалов всех мышечных волокон, расположенных в проекции кожного электрода. Величина потенциала, генерируемого отдельным мышечным волокном обусловлена его диаметром, а суммарная мышечная активность зависит от количества вовлеченных двигательных единиц, синхронности их активации. В начале сокращения амплитуда может несколько увеличиваться вместе с вовлечением и синхронизацией максимального количества двигательных единиц, затем, по мере развития утомления, амплитуда постепенно снижается. Таким образом, частота и амплитуда сигнала изменяются в зависимости от степени напряжения мышцы [2]. Если полученную сложную интерференционную кривую разложить с помощью преобразований Фурье, возможно распознать преобладающие гармоники двигательных единиц конкретной мышцы. Поэтому актуальной является проблема получения информативных показателей электромиографического сигнала, характеризующих состояние мышечной системы в норме и при развитии патологии.

### 1. Цель и постановка задачи

На основе данных поверхностной электромиографии проанализировать отличия между группами практически здоровых добровольцев, не предъявляющих никаких жалоб (здоровых), добровольцев, страдающих периодическими болями в спине без выявленной органической патологии (условно здоровые) и пациентами, имеющими дегенеративные заболевания позвоночника (пациенты вертебрологической клиники ИППИС им. М.И. Ситенко).

Задачами исследования являются:

- рассчитать спектральные характеристики электромиографических сигналов мышц спины, полученных в указанных группах;
- проанализировать вероятность различий спектральных характеристик исследуемых групп относительно полового признака;
- проанализировать вероятность различий спектральных характеристик ЭМГ-сигнала между группами здоровых, условно здоровых и группой пациентов пациенты вертебрологической клиники;
- проанализировать спектральные характеристики ЭМГ-сигнала, характеризующие утомляемость мышц спины во время электромиографического исследования в зависимости от наличия или отсутствия вертебрологической патологии.

## 2. Выбор спектральных характеристик и статистических методов

Исследования проводились в рамках сотрудничества между кафедрой биомедицинской инженерии Харьковского национального университета радиоэлектроники и лабораторией патофизиологии Института патологии позвоночника и суставов им. М.И. Ситенко АМН Украины. Для выполнения поставленных задач было обследовано 93 человека. При регистрации электромиограммы поверхностные электроды размещали на разгибателе туловища (*m. Erector Spinae*) на 2-3 см вправо и влево от срединной линии спины, на уровне пятого поясничного позвонка (L5) тела человека (рис. 1). Зарегистрированный сигнал с мышц усиливался и проходил предварительную фильтрацию непосредственно в 4-канальном компьютерном электромиографе Нейро-ЭМГ (Нейрософт), после чего передавался для дальнейшей обработки и анализа в персональный компьютер.

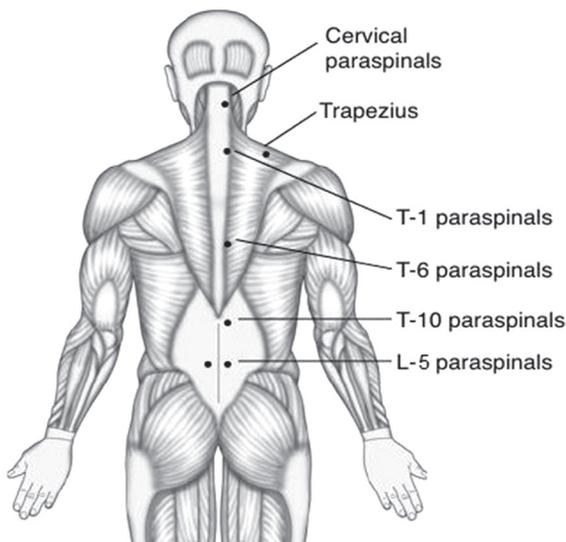


Рис. 1. Мышцы спины человека

Исходный сигнал поверхностной ЭМГ представлен в виде звукового файла в формате WAVE с частотой дискретизации 20 кГц.

Существуют две основные группы параметров для оценки ЭМГ – параметры, рассчитанные во временной и частотной областях. В данной работе исследовались частотные параметры ЭМГ-сигнала. Выбор количественных спектральных характеристик для расчета основан на работах [3-5].

В частотной области основными параметрами являются медианная частота и средняя частота.

Медианная частота определяется как частота (1), делящая спектральную плотность мощности (СПМ) на две равные части. Вычисляется по формуле:

$$\int_0^{MedF} P(f)df = \int_{MedF}^{\infty} P(f)df = \frac{1}{2} \int_0^{\infty} P(f)df, \quad (1)$$

где *MedF* – медианная частота, Гц; *P* – спектральная плотность мощности; *f* – частота.

Средняя частота – частота, на которой СПМ принимает среднее значение (2), вычисляется по формуле:

$$MeanF = \frac{\int_0^{\infty} f \cdot P(f)df}{\int_0^{\infty} P(f)df}, \quad (2)$$

где *MeanF* – средняя частота, Гц.

Также определялись:

- пиковая частота (*PeakF*) – частота, на которой СПМ принимает максимальное значение, Гц;
- средняя мощность (*MeanP*) – частота, на которой СПМ принимает среднее значение, В<sup>2</sup>/Гц;
- общая мощность (*TotalP*) – суммарная СПМ на всех частотах, В<sup>2</sup>/Гц.

Для анализа динамики медианной частоты, которая используется для в качестве характеристики усталости мышц (в норме медианная частота в процессе физической нагрузки снижается), запись сигнала поверхностной электромиограммы разделяется на интервалы по 1 секунде, перекрывающиеся на 50%. Для каждого односекундного интервала вычисляется СПМ и медианная частота. В качестве анализируемых параметров для оценки динамики медианной частоты будем использовать медианную частоту в начале исследуемого интервала времени (*dMedFfirst*) и медианную частоту в конце исследуемого интервала времени (*dMedFend*), а также скорость изменения медианной частоты (тангенс угла наклона регрессионной прямой, аппроксимирующей значения медианных частот для односекундных интервалов) – *frate*.

Анализ спектральных показателей ЭМГ-сигнала в зависимости от пола проводили в четырех группах:

- A1 – практически здоровые добровольцы без жалоб (20 женщин; 8 мужчин);
- A2 – условно здоровые с жалобами на боль в спине (10 женщин; 8 мужчин);
- A3 – вертебрологические пациенты (25 женщин; 16 мужчин);

– А4 – пациенты, страдающие сколиозом (5 женщин; 2 мужчины).

Анализ спектральных показателей ЭМГ-сигнала без учета пола проводили в четырех группах обследуемых, а именно:

- Б1 – практически здоровые добровольцы без жалоб (32 миограммы);
- Б2 – условно здоровые с жалобами на боль в спине (38 миограмм);
- Б3 – вертебрологические пациенты (72 миограммы);
- Б4 – пациенты, страдающие сколиозом (19 миограмм).

Для определения различий между выбранными параметрами ЭМГ-сигнала и полом обследуемого был выбран непараметрический критерий U (Манна-Уитни). Критерий U (Манна-Уитни) в математической статистике позволяет оценивать различия двух выборок. Они могут быть даны по уровню некоего признака, который измерен количественно. Этот метод идеален для оценки различий малых выборок [6]. U-критерий Манна-Уитни является непараметрическим критерием, поэтому, в отличие от t-критерия Стьюдента, не требует наличия нормального распределения сравниваемых совокупностей. U-критерий подходит для сравнения малых выборок: в каждой из выборок должно быть не менее 3 значений признака. Допускается, чтобы в одной выборке было 2 значения, но во второй тогда должно быть не менее пяти. Метод основан на определении того, достаточно ли мала зона перекрещивающихся значений между двумя вариационными рядами (ранжированным рядом значений параметра в первой выборке и таким же во второй выборке). Чем меньше значение критерия, тем вероятнее, что различия между значениями параметра в выборках достоверны [7].

Для оценки динамики медианной частоты был выбран непараметрический критерий Уилкоксона. Анализировались два массива медианных частот, измеренных в начале исследуемого интервала времени (dMedFfirst) и в конце исследуемого интервала времени (dMedFend) в четырех группах Б1-Б4.

T-критерий Уилкоксона применяется для сопоставления показателей, измеренных в двух разных условиях на одной и той же выборке испытуемых, т.е. используется для статистической оценки двух связанных выборок. Он позволяет установить не только направленность изменений, но и их выраженность. Суть метода состоит в сопоставлении выраженности сдвигов в том и ином направлениях по абсолютной величине. Для этого сначала ранжируются все абсолютные величины сдвигов, а потом суммируются ранги. Если сдвиги в положительную и в отрицательную сторону происходят случайно, то суммы рангов абсолютных значений их будут примерно равны. Если же интенсивность сдвига в одном из направлений перевешивает, то сумма рангов абсолютных значений сдвигов в противополо-

жную сторону будет значительно ниже, чем это могло бы быть при случайных изменениях [8].

### 3. Статистический анализ спектральных характеристик электромиограмм

Для расчета спектральных параметров ЭМГ-сигнала был разработан программный модуль на языке MatLab, который позволяет вырезать неинформативные участки интерференционной кривой, рассчитать спектральные характеристики сигнала (рис.2) [9]. Результаты работы модуля с информацией о пациенте в автоматическом режиме сохраняются в базу данных для последующей статистической обработки анализируемых выборок.

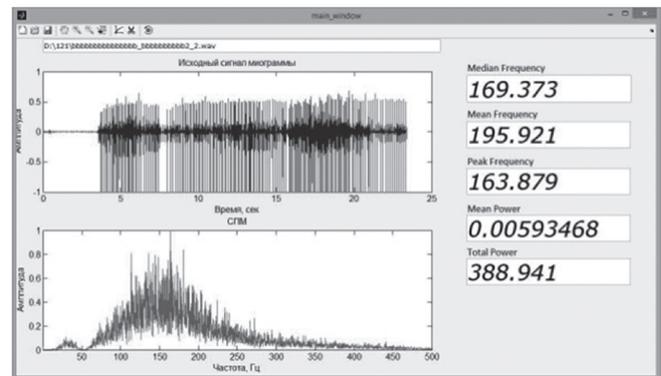


Рис. 2. Основное окно программного модуля спектрального анализа ЭМГ сигнала

После получения спектральных характеристик электромиограмм были сформированы выборки для статистической обработки и выявления статистически значимых связей между группой, к которой относится пациент и каждой спектральной характеристикой, а также половым признаком. Расчеты проводились с помощью пакета SPSS Statistics 17.0.

Проведенные расчеты вероятности различия между спектральными параметрами ЭМГ-сигнала и полом пациента для группы А1, А2, А3, А4 показали, что разница спектральных показателей ЭМГ-сигналов между женщинами и мужчинами не является статистически значимой для всех исследуемых показателей ( $p > 0,001$ ) во всех группах.

Что позволяет проводить дальнейший анализ миограмм, не учитывая половой принадлежности обследуемого.

При определении различий среди выбранных параметров ЭМГ-сигнала между пациентами без патологий и с патологиями нервно-мышечного аппарата, получили следующие результаты:

- в группах Б1+Б4, Б1+Б2, Б3+Б2 разница показателей ЭМГ-сигнала между группами не является статистически значимой ( $p > 0,001$ );
- в группах Б2+Б4 разница показателей ЭМГ-сигнала между группами не является статистически значимой ( $p > 0,001$ ), кроме параметров MedF, MeanF ( $p < 0,001$ );

– в группах Б3+Б4 разница показателей ЭМГ-сигнала между группами не является статистически значимой ( $p > 0,001$ ), кроме параметра MedF ( $p < 0,001$ );

– в группах Б1+Б3 разница показателей ЭМГ-сигнала между группами не является статистически значимой ( $p > 0,001$ ), кроме параметров TotalP, frate ( $p < 0,001$ ).

Для анализа утомляемости мышц обследуемых оцениваем динамику медианной частоты. Значение медианной частоты в начале исследуемого интервала времени (dMedFfirst) и медианную частоту в конце исследуемого интервала времени (dMedFend) сравниваем с помощью непараметрического критерия Уилкоксона.

Численное значение вероятности ошибки ( $p > 0,001$ ) в группах Б3, Б4 свидетельствует об очень незначимой разнице, а в группах Б1, Б2 – ( $p < 0,001$ ) очень значимая разница между медианной частотой, измеренной в начале исследуемого интервала времени и в конце исследуемого интервала времени.

### Выводы

Спектральные параметры ЭМГ мужчин и женщин ни в группах пациентов с дегенеративными заболеваниями позвоночника, ни в группах практически и условно здоровых добровольцев статистически достоверно не различаются.

Группы здоровые с болью и обследуемые со сколиозом различаются по параметрам медианной и средней частоты. Группы пациентов, страдающих вертебрологическими заболеваниями и сколиозом, различаются по параметру медианной частоты. Группы здоровые и страдающие вертебрологическими заболеваниями различаются параметрами общей мощности и скорости изменения медианной частоты.

У обследуемых в группах с патологиями (Б3, Б4) не наблюдается существенного изменения медианной частоты во время физической нагрузки, которая свидетельствует о мышечном утомлении, а в контрольной группе и группе здоровых обследуемых с болями в спине (Б1, Б2) – пациенты испытывают утомляемость мышц. При анализе средних значений начальной и конечной медианных частот в различных группах было замечено, что у пациентов с вертебрологическими заболеваниями начальная медианная частота находится на уровне конечной медианной частоты в контрольной группе, и практически не изменяется с течением времени в процессе физической нагрузки. В группе пациентов со сколиозом начальная медианная частота находится на уровне начальной медианной частоты здоровых с болями и практически не изменяется во времени. У здоровых с болями начальная медианная частота ниже таковой в контрольной группе, в процессе физической нагрузки наблюдается ее существенное снижение.

Перспективой работы является дальнейший статистический анализ данных электромиографического исследования по возрастным категориям, а также построение моделей для классификации пациентов по значениям спектральных характеристик данных поверхностной электромиографии

**Список литературы:** 1. Michael E. Geisse, [Text] Surface Electromyography and Low Back Pain // SPECIAL ISSUE Biofeedback Volume 35, Issue 1, pp. 13-16. 2. Скиданов А. Г., Спектральный анализ электромиограмм мышц спины при дегенеративных заболеваниях позвоночника (обзор литературы) [Текст] / А.Г. Скиданов, Д.Р. Дуплий, В.А. Колесниченко, В.А. Радченко ISSN 0030-5987. Ортопедия, травматология и протезирование. – 2015. – № 1 – С. 98-105. 3. Antoni V.F. Nargol, Anthony P.C. Jones, Peter J. Kelly, Charles G.Greenough Factors in the Reproducibility of Electromyographic Power Spectrum Analysis of Lumbar Paraspinal Muscle Fatigue // SPINE – 1999.- Volume 24 - Issue 9, pp. 883-888. 4. Chia-Chun Hug, Tsu-Wang Shen, Chung-Chao Liang, Wen-Tien Wu [Text] Using Surface Electromyography (SEMG) to Classify Low Back Pain Based on Lifting Capacity Evaluation with Principal Component Analysis Neural Network Method // IEEE. – 2014. – P. 18-21. 5. EMG Frequency Signal Analysis [Электронный ресурс] Biopac systems, Inc., 2010. URL: <http://www.biopac.com/emg-electromyogram-frequency-signal-analysis>. 6. Kriterij Manna-Utni [Электронный ресурс], fb.ru, 2014. URL: <http://fb.ru/article/141592/kriteriy-manna-uitni-primer-tablitsa>. 7. U-критерий Манна-Уитни [Электронный ресурс] Медицинская статистика - 2013. URL: <http://medstatistic.ru/theory/mann.html>. 8. Л. С. Туткова. Математические методы в психологии // Издательство Дальневосточного университета: ВЛАДИВОСТОК. – 2002. – 142 с. 9. Губанов О.В., Жемчужкина Т.В., Носова Т.В., Носова Я.В. Модуль обработки электромиографических данных // 5-й Міжнародний радіоелектронний форум «Прикладна радіоелектроніка. Стан та перспективи розвитку» (МРФ-2014), конференція «Проблеми біомедіцинженерії. Наука і технології». – Харків. – 2014. – Том 3, С.25-27.

Поступила в редколлегию 25.05.2015

УДК 615.47

**Статистичний аналіз спектральних характеристик ЕМГ-сигнала з ціллю диференціювання поперекових болей** / Т.В. Жемчужкіна, Т.В. Носова, Я.В. Носова, О.В. Губанов, Д.Р. Дуплій, І.В. Котульський // Біоніка інтелекту: наук.-техн. журнал. – 2015. – № 2 (85). – С. 105–108.

Досліджується залежність спектральних показників ЕМГ-сигналу в залежності від статі та діагнозу у пов'язаних та незалежних вибірках методами математичної статистики.

Лл. 02. Бібліогр. : 09 найм.

UDC 615.47

**Statistical analysis of the spectral characteristics of the EMG signal for the purpose of differentiation of lumbar pain** / T.V. Zhemchuzhkina, T.V. Nosova, Y.V. Nosova, A.V. Gubanov, D.R. Duplij, I.V. Kotulskij // Bionics of Intelligence: Sci. Mag. – 2015. – № 2 (85). – P. 105–108.

Is researched dependence of spectral parameters of the EMG signal from the floor and in the diagnosis and non samples, methods of mathematical statistics.

Fig. 02. Ref.: 09 items.



В.О. Тимофєєв<sup>1</sup>, О.М. Гуца<sup>2</sup>, Д.Б. Єльчанінов<sup>3</sup>

<sup>1</sup> ХНУРЕ, м. Харків, Україна, kafedra\_eim@kture.kharkov.ua;

<sup>2</sup> ХНУРЕ, м. Харків, Україна, gutsabox@gmail.com;

<sup>3</sup> НТУ «ХПІ», м. Харків, Україна, d.b.elchaninov@gmail.com

## ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ АУДИТУ СКЛАДУ НА ОСНОВІ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

Розглянуто інформаційну технологію автоматизації аудиторської перевірки складських приміщень підприємства на основі мереж Петрі. Особливу увагу звернено на властивості мережі Петрі, що є найважливішими для аудиторської перевірки складу: збереження та досяжність маркування. На прикладі моделі складу кондитерських виробів показано особливості використання основних методів аналізу мереж Петрі (дерево досяжності та матричне рівняння) у процесі аудиту складських приміщень.

ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ, АУДИТ, СКЛАД, ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ, МЕРЕЖІ ПЕТРІ

### Вступ

Постановка проблеми. Складське приміщення – важливий індикатор, за яким можна робити висновки про ефективність підприємства у цілому. Саме там зосереджуються усі проблеми, що є наслідками неефективної роботи ключових підрозділів підприємства, зокрема відділів закупівель та продаж. Отже, аудит підприємства доцільно розпочинати з аудиту його складських приміщень [1].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідженню цього питання присвячено багато праць вітчизняних та закордонних фахівців. Зокрема, Л.М. Очеретько та А.В. Федоряк у роботі [2] пропонують удосконалену програму внутрішнього аудиту виробничих запасів підприємств України. Також питання, пов'язані з удосконаленням методики проведення внутрішнього аудиту запасів та документуванням результатів роботи внутрішніх аудиторів в акціонерних товариствах України розкриваються у статтях О.В. Сметанко [3, 4]. У роботі [5] О.В. Кондратенко наголошує на необхідності застосування інформаційних технологій в процесі аудиторської перевірки складських запасів у вигляді комп'ютерних програм, що враховують особливості діяльності промислових підприємств.

Інформаційні технології в аудиті в основному базуються на обробці даних у табличному вигляді [6, 7]. Імітаційне моделювання використовується не так поширено (див., наприклад, [8]). Однією з класичних є інформаційна технологія імітаційного моделювання на основі мереж Петрі [9].

Формулювання мети статті. Отже, актуальною є задача розроблення інформаційної технології автоматизації аудиторської перевірки складських приміщень підприємства на основі мереж Петрі.

### 1. Моделювання складу засобами мереж Петрі

Основні поняття теорії мереж Петрі майже ідеально підходять для моделювання процесів у складських приміщеннях:

– позиція моделює місце збереження ресурсу (стелаж, сейф, резервуар, холодильник та ін.);

– перехід – переміщення ресурсу до/з місця збереження;

– маркер – ресурс (маркер завжди належить деякій позиції, таким чином моделюється розподіл ресурсів по місцях збереження);

– дуга з позиції у перехід – напрям переміщення ресурсу з місця збереження;

– дуга з переходу до позиції – напрям переміщення ресурсу до місця збереження.

Таким чином, елементарний процес переміщення ресурсу у межах складського приміщення може бути промодельованим мережею Петрі, що складається з двох позицій та одного переходу (рис. 1).



Рис. 1. Модель елементарного процесу переміщення ресурсу на складі

Особливу увагу при моделюванні складських приміщень мають наступні властивості мережі Петрі:

– безпечність – кількість маркерів в позиції не перевищує 1;

– обмеженість – кількість маркерів в позиції не перевищує деякого числа;

– збереження – кількість маркерів в мережі не змінюється;

– досяжність маркування – існування послідовності виконань переходів, при якій можна досягнути певного маркування.

Для аудиторської перевірки найважливішими є дві останні властивості мережі Петрі. Дійсно, якщо модель складу у вигляді мережі Петрі має властивість зберігати кількість маркерів, тоді це означає, що ресурси у процесі переміщення по місцях збереження не зникають зі складського приміщення. Наприклад, у мережі Петрі на рис. 2 з начальним маркуванням позиції «Пункт прийому» трьома маркерами завжди буде зберігатись ця кількість маркерів.

Виявлення відхилення загальної кількості маркерів у мережі від трьох свідчить про порушення обліку на складі.

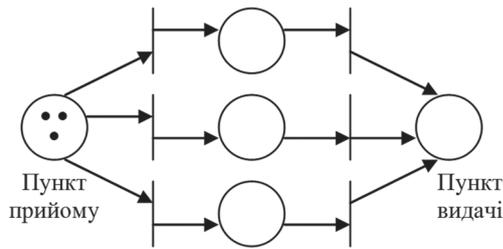


Рис. 2. Мережа Петрі з властивістю збереження

Досяжність маркування означає відповідність пересування ресурсів по складському приміщенню. Наприклад, у мережі Петрі на рис. 3 з початковим маркуванням позиції «Пункт прийому» трьома маркерами не є досяжним маркування, коли у «Пункті розміщення 1» знаходиться два маркери, але у «Пункті розміщення 2» – один маркер.

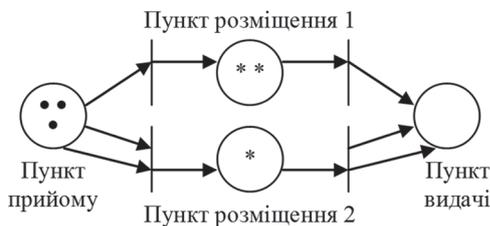


Рис. 3. Мережа Петрі з недосяжним маркуванням

Виявлення недосяжного маркування свідчить про порушення правил пересування ресурсів на складі.

**2. Аудит складу методами аналізу мереж Петрі**

Для дослідження наявності/відсутності властивості мережі Петрі використовують методи, пов'язані з будованям дерева досяжності або розв'язанням матричного рівняння. У дереві досяжності вказують початкове маркування, та всі маркування, що досяжні від нього через запуск певних переходів. Отже, виявлення маркування, що не належить до дерева досяжності, свідчить про порушення обліку на складі.

Матричне рівняння дозволяє визначити кількість запусків переходів для досягнення певного маркування. Таким чином, виявлення неможливості запусків переходів свідчить про порушення правил пересування ресурсів на складі.

Розглянемо приклад моделі складу кондитерських виробів (рис. 4). Нехай склад отримує вироби від трьох відомих українських кондитерських

компаній: Рошен, АВК та Конті. Пункт прийому моделюється позиціями P1, P2 та P3. Позиція P1 моделює зону прийому кондитерських виробів компанії Рошен, P2 – зону прийому виробів компанії АВК, P3 – Конті. У моделі не розглядаються процеси розвантаження та прийому товарів.

Пункт зберігання моделюється позиціями P4, P5, P6 та переходами T1, T2, T3. Позиція P4 моделює зону зберігання кондитерських виробів компанії Рошен, P5 – зону зберігання виробів компанії АВК, P6 – Конті. Фізичною реалізацією цих позиції є стелажі або штабелі. Переходи T1, T2 та T3 моделюють процеси переміщення одиниці товару відповідної компанії з пункту прийому та її розміщення у пункті зберігання.

Пункт розпакування моделюється позиціями P7, P8, P9 та переходами T4, T5, T6. Позиція P7 моделює зону розпакування кондитерських виробів компанії Рошен, P8 – зону розпакування виробів компанії АВК, P9 – Конті. Переходи T4, T5 та T6 моделюють процеси переміщення одиниці товару відповідної компанії з пункту зберігання та її розкриття у пункті розпакування. Наприклад, це може бути:

- переміщення гофроящика вагою 1,8 кг, що містить вафельні батончики «Johnny Krocker Milk» вагою 20 г, що виробляє компанія Рошен, та його розпакування на 90 батончиків;
- переміщення гофроящика вагою 3 кг, що містить глазуровані цукерки «Tigosh» вагою 25 г, що виробляє компанія АВК, та його розпакування на 120 цукерків;
- переміщення ящика вагою 2,3 кг, що містить плитки чорного шоколаду «Amor» вагою 100 г, що виробляє компанія Конті, та його розпакування на 23 плитки.

Отже, дуга з переходу T4 до позиції P7 має вагу 90, з переходу T5 до позиції P8 – 120, з T6 до P9 – 23.

Пункт комплектування моделюється позиціями P10, P11, P12 та переходами T7, T8, T9. Позиція P10 моделює зону комплектування замовлення набору №1 кондитерських виробів, що складається з 50 вафельних батончиків «Johnny Krocker Milk» та 70 глазурованих цукерків «Tigosh». Позиція P11 моделює зону комплектування замовлення набору №2, що складається з 60 батончиків «Johnny Krocker Milk» та 80 цукерків «Tigosh». Позиція P12 – набору №3 з 90 цукерків «Tigosh» та 15 пли-

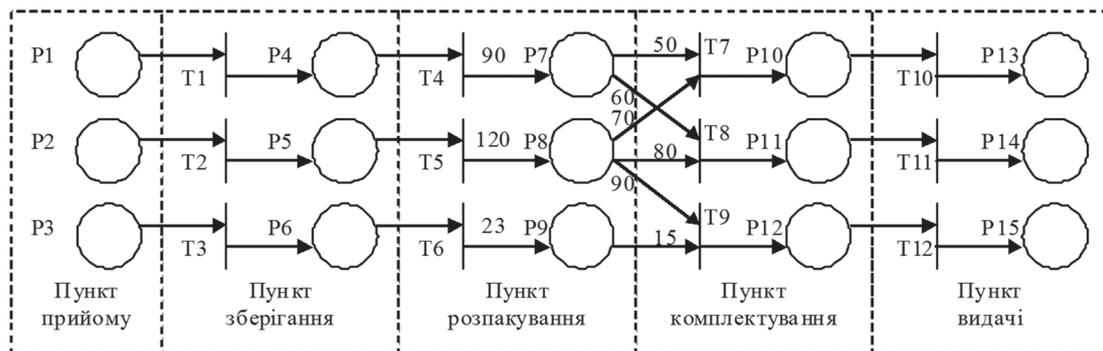
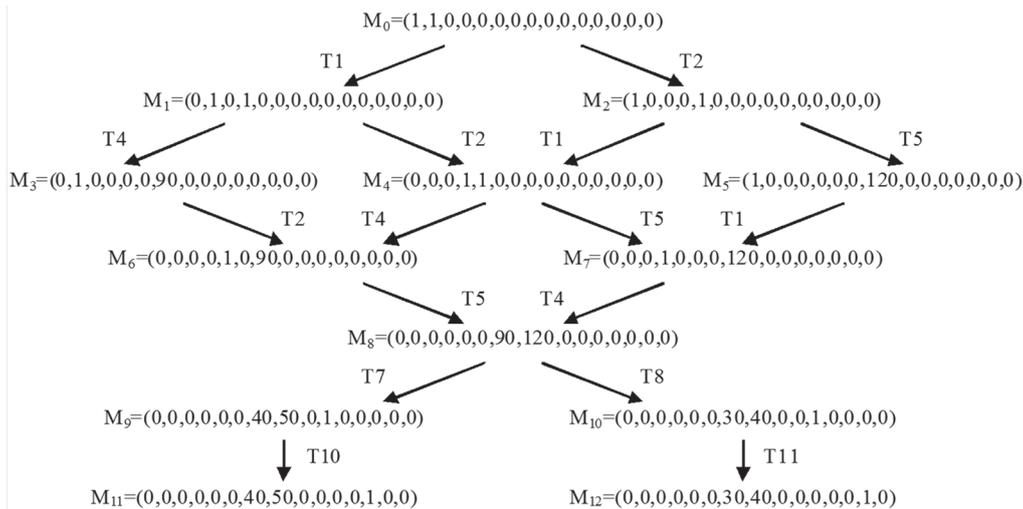


Рис. 4. Приклад моделі складу кондитерських виробів



Рис. 6. Дерево досяжності мережі Петрі з начальним маркуванням  $M_0=(1, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0)$ 

Цей вектор можна використовувати як засіб обмеження дерева досяжності наступним чином: при запуску переходу відповідний йому компонент вектора запуску зменшується на одиницю — якщо компонент дорівнює нулю, тоді запуск відповідного переходу заборонено. Отже, на рис. 6 були б відсутні дуги, що відповідають переходам  $T_7$  та  $T_{10}$ , а також вершини  $M_9$  та  $M_{11}$ .

### Висновки

Отже, інформаційна технологія автоматизації аудиторської перевірки складських приміщень підприємства на основі мереж Петрі суттєво спрощує роботу аудитора, визначає обґрунтованість висновку та його доказову цінність.

Перспективи подальших досліджень у даному напрямку полягають у розширенні розглянутої моделі через врахування процесів, пов'язаних з розвантаженням та прийомом товарів, а також їх переміщенням з пункту видачі та завантаженням. Для зменшення розмірності моделі та надання більшої наочності доцільно використовувати для моделювання засоби кольорових мереж Петрі. Для врахування фізичних обмежень на можливу кількість ресурсів на складі доречно використовувати мережі Петрі зі стримуючими дугами.

**Список літератури:** 1. Колмачихин Ю.Н. Аудит склада [Електронний ресурс] / Ю.Н. Колмачихин // L&SCM. Логистика и управление цепями поставок. — 10.12.12г. — Режим доступа : [http://logscm.ru/?page\\_id=2460](http://logscm.ru/?page_id=2460). 2. Очеретько Л.М. Удосконалення програми проведення внутрішнього аудиту виробничих запасів на підприємстві / Л.М. Очеретько, А.В. Федоряк // Сталий розвиток економіки. — 2013. — № 2. — С. 233–239. 3. Сметанко О.В. Удосконалення методики проведення та документування внутрішнього аудиту запасів в акціонерних товариствах України / О.В. Сметанко // Економічні науки. Сер. : Облік і фінанси. — 2012. — Вип. 9(3). — С. 307–315. 4. Сметанко О.В. Внутрішній аудит операцій з виробничими запасами в акціонерних товариствах України / О.В. Сметанко // Наукові праці Кіровоградського національного технічного університету. Економічні науки. — 2010. — Вип. 18(1). — С. 146–152. 5. Кондратенко О.В. Формування програм зовнішнього аудиту складських запасів на промисловому підприємстві / О.В. Кондратенко

// Економіка і управління. — 2011. — № 2. — С. 110–114. 6. Івахненко С.В. Інформаційні технології аудиту та внутрішньогосподарського контролю в контексті світової інтеграції / С.В. Івахненко. — Житомир : ПП «Рута», 2010. — 432 с. 7. Ivakhnenkov S. Information Technologies in Accounting and Auditing: A Post-Soviet Approach / S. Ivakhnenkov. — Saarbrücken : VDM Verlag Dr. Müller GmbH & Co, 2010. — 159 p. 8. Рудницький В.С. Процедури моделювання та прийняття рішень в процесі аудиту / В.С. Рудницький, О.М. Бунда. — Львів : Видавництво Львівської комерційної академії, 2009. — 208 с. 9. Питерсон Дж. Теория сетей Петри и моделирование систем / Дж. Питерсон. — М. : Мир, 1984. — 264 с. 10. Ельчанинов Д.Б. Применение двумерных сетей Петри для инженерных сетей в контексте решения задачи достижимости / Д.Б. Ельчанинов, В.Г. Лобода // Автоматизация, телемеханизация и связь в нефтяной промышленности. — 1997. — № 5–6. — С. 9–11.

Надійшла до редакції 30.04.2015

УДК 004.9

**Информационная технология аудита склада на основе имитационного моделирования** / В.А. Тимофеев, О.Н. Гуца, Д.Б. Ельчанинов // Бионика интеллекта: науч.-техн. журнал. — 2015. — № 2 (85). — С. 109–112.

Автоматизация аудиторской проверки складских помещений предприятия на основе сетей Петри существенно упрощает работу аудитора, определяет обоснованность заключения и его доказательную ценность. Основным свойством модели склада является возможность достижения заданной маркировки. Для анализа этого свойства целесообразно использовать дерево достижимости и матричное уравнение.

Ил. 6. Библиогр.: 10 назв.

UDC 004.9

**Warehouse audit information technology based on simulation modeling** / V.O. Timofeev, O.M. Gutsa, D.B. Yelchaninov // Bionics of Intelligence: Sci. Mag. — 2015. — № 2 (85). — P. 109–112.

Automation of an audit inspection of the enterprise warehouse on the basis of Petri nets significantly simplifies work of the auditor, defines validity of the conclusion and its evidential value. The main property of a warehouse model is possibility of achievement of the set marking. For the analysis of this property it is expedient to use an approachability tree and the matrix equation.

Fig. 6. Ref.: 10 items.

УДК 004.9:616-07



Ю.Н. Колтун<sup>1</sup>, П.М. Подпружников<sup>1</sup>, В.А. Радченко<sup>1</sup>,  
О.А. Тарануха<sup>2</sup>, В.В. Токарев<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ХНУРЭ, г. Харьков, Украина

<sup>2</sup>ХНМУ, г. Харьков, Украина

## КОМПЬЮТЕРНАЯ ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА УЧЕТА ЛЮДЕЙ С ВРОЖДЕННЫМИ И ПРИОБРЕТЕННЫМИ ЗАБОЛЕВАНИЯМИ СЕТЧАТКИ ЗРИТЕЛЬНОГО АНАЛИЗАТОРА ЧЕЛОВЕКА

Статья посвящена разработке компьютерной информационной системы учета людей с различными врожденными и приобретенными заболеваниями сетчатки зрительного анализатора человека. Ключевую роль играют новейшие методы и методики неинвазивной предиктивной диагностики, позволяющие в кратчайшие сроки установить диагноз путем анализа полученных данных с помощью современных компьютерных информационных систем.

ВРОЖДЕННЫЕ И ПРИОБРЕТЕННЫЕ ЗАБОЛЕВАНИЯ, СЕТЧАТКА, КОМПЬЮТЕРНАЯ ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА, ПРЕДИКТИВНАЯ, НЕИНВАЗИВНАЯ, ДИАГНОСТИКА И АНАЛИЗ, МОДУЛЬНАЯ СТРУКТУРА

### Введение

Особенностью болезней сетчатки зрительного анализатора человека является то, что они часто служат причиной стойкой утраты работоспособности.

Отмечено значительное увеличение инвалидности по зрению среди людей трудоспособного возраста, причиной, которой являлись ишемические оптические нейропатии, глаукома и травмы зрительного анализатора.

Результатом стала необходимость в разработке специализированного программного обеспечения, которое позволит осуществлять учет людей с врожденными и приобретенными заболеваниями сетчатки зрительного анализатора человека с применением неинвазивных методов и методик предиктивной диагностики.

Анализ литературы. Проблематика моделирования и диагностики сетчатки зрительного анализатора человека описаны в [1, 2]. Существующие подходы к диагностике врожденных и приобретенных заболеваний зрительного анализатора человека рассмотрены в [3–8]. Диагностика функционального состояния цветового зрения человека является предметом изучения в [9, 10]. Описанные подходы, методы и практики при их формализации и реализации в рамках компьютерной информационной системы позволят существенно сократить временные и финансовые затраты на обслуживание пациентов.

### 1. Актуальность и постановка задачи исследований

Вопросы диагностики людей с врожденными и приобретенными заболеваниями (ВПЗ) занимают важное место в современном мире. К сожалению, информационная и предиктивная неинвазивная диагностика сильно фрагментированы.

Определение видов и объемов необходимой помощи является неотъемлемой частью учета людей в трудовой и бытовой сфере, учебных заведениях. Для

полноценной интеграции в общество необходимо создание и формирование «безбарьерной среды».

Актуальными задачами на сегодняшний день есть:

- применение современных компьютерных систем неинвазивной, предиктивной диагностики функциональных нарушений в зрительном анализаторе человека;
- выявление психологических портретов личности, объяснение их генеза, причин и следствий;
- осуществление сбора, обработки и анализа полученных данных;
- прогнозирование, планирование, адресное предоставление специальных реабилитационных условий.

Существующие методы, методики и средства экспресс-анализа состояний органов и систем организма человека не полностью удовлетворяют потребностям медицинских учреждений, при обследовании большого контингента людей с ВПЗ для получения быстрых результатов. Это заставляет искать новые методы и методики, а также современные технические решения в области hardware и software.

В связи с особенностями психофизиологического состояния людей с ВПЗ необходимо учитывать особые требования, предъявляемые к проведению диагностических мероприятий.

Необходимо применение неинвазивных методов предиктивной диагностики с возможностью получения полной информации о состоянии организма пациента.

Полученные данные в результате предиктивной диагностики, разовых или периодических обследований, лечебных и реабилитационных мероприятий представляют собой необычайную ценность, потому что являются источником для проведения разного рода исследований, как статистических, так и скрытых взаимосвязей (Data Mining).

Основой таких исследований должны стать новейшие методы, методики и компьютерные информационные технологии, позволяющие осуществлять сбор, обработку и анализ полученных данных. Такие системы будут обеспечивать прогнозирование, планирование, адресное предоставление специальных условий каждому пациенту с учетом его индивидуальных потребностей.

Целью исследований является разработка компьютерной информационной системы учета людей с ВПЗ, обработки поступающих данных, анализа диагностической информации, формирования индивидуальных рекомендаций для реабилитации, ведения документации и отчетности.

## 2. Материалы и результаты исследований

Компьютерная информационная система (рис. 1) состоит из следующих модулей:

- базовый модуль;
- модуль обработки и анализа диагностической информации;
- модуль оценки функционального состояния организма;
- статистический модуль.

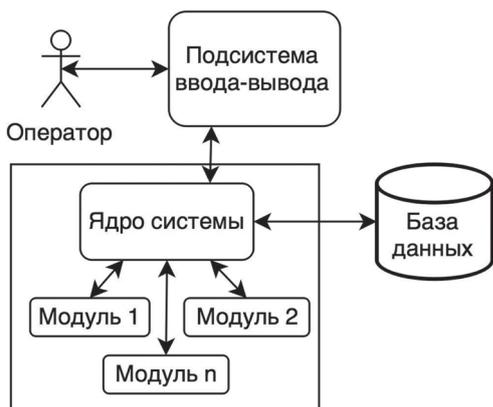


Рис. 1. Структура компьютерной информационной системы

Ядром разрабатываемой компьютерной информационной системы (КИС) является программная платформа, осуществляющая взаимодействие компонентов, представленных на рис. 1, между собой.

База данных содержит следующую информацию о каждом из пациентов:

- паспортные, антропометрические данные, место учебы/работы;
- данные о психоэмоциональном и функциональном состоянии;
- результаты диагностических процедур и обследований;
- перечень врожденных и приобретенных заболеваний, медицинская история;
- индивидуальная реабилитационная программа, рекомендованная медико-социальной экспертной комиссией.

Программная платформа, осуществляющая взаимодействие с базой данных, имеет модульную

структуру. Это позволяет с минимальными временными затратами расширять функциональность КИС в случае необходимости внедрения новых методов диагностики, анализа хранимой информации, программ реабилитации и т.д.

Ниже перечислена функциональность модулей КИС:

- регистрация, редактирование профиля, ведение истории изменений, расширенный поиск;
- управление пользователями системы и ограничение прав доступа;
- сбор, обработка и анализ диагностической информации;
- оценка функционального состояния организма;
- ведение статистики и формирование отчетов.

*Базовый модуль* предоставляет пользовательский интерфейс для оператора по созданию учетной записи человека с ВПЗ, внесения и редактирования информации о нем, медицинских данных, и быстрого доступа к хранящимся профилям благодаря функции поиска. Также реализована функциональность управления пользователями системы, позволяющая создавать «организации» – изолированные виртуальные пространства хранения пациентов и иерархии пользователей, имеющих доступ к конкретному пространству.

Данные о человеке, полученные в результате обследования с помощью диагностической аппаратуры, осмотра и опроса, заносятся в базу данных. Также в базовом модуле собирается информация о психоэмоциональном состоянии на основе комплекса психологических тестов (определение характера, темперамента, тест Люшера и т.д.).

*Модуль обработки и анализа диагностической информации* по запросу оператора производит анализ результатов состояния организма. Также проводится анализ состояния сердечно-сосудистой системы (ССС), центральной нервной системы (ЦНС) и дыхательной системы (ДС). Результатом является сформированное заключение, которое сохраняется в профиль испытуемого и доступно для изучения в любое время. Дополнительные функции, реализуемые модулем обработки и анализа диагностической информации:

- обеспечение комплексного анализа данных диагностических исследований;
- оперативный доступ ко всем данным, хранящимся в базе данных системы;
- возможность одновременной визуализации на одном рабочем месте результатов исследований полученных в разное время, с целью прослеживания динамики изменения показателей.

*Модуль оценки функционального состояния организма* проводит корреляцию результатов, полученных с помощью модуля обработки и анализа диагностической информации с образцами, находящимися в базе данных, что дает возможность классифицировать полученные показатели. В бло-

ке определения и обнаруженных признаков формируются баллы согласно 10-балльной шкале, которые определяют функциональную составляющую организма человека.

*Статистический модуль* накапливает все данные, которые были внесены в КИС и позволяет проследить изменение того или иного параметра во времени, поддерживать различные виды визуального представления информации (графики, диаграммы и др.).

По результатам каждого из диагностических модулей формируются численные оценки согласно правилам проведения каждого вида тестирования.

Полученные оценки сравниваются со статистическими показателями, формируется отчет и сохраняется в профиль пациента. В случае обнаружения существенных отклонений такому профилю присваивается метка согласно специализации того или иного модуля.

### Выводы

Разрабатываемая компьютерная информационная система позволит значительно упростить поиск и доступ к информации людей с ВПЗ, ускорить процесс сбора данных для диагностики, и комплексного сопровождения процесса реабилитации с применением индивидуального подхода. Применение методов и методик компьютерного анализа результатов предиктивной диагностики зрительного анализатора человека позволит повысить эффективность лечебных и реабилитационных мероприятий.

**Список литературы:** 1. *Токарев В.В.* Об одном методе неинвазивной диагностики макулярной области сетчатки зрительного анализатора человека / В.В. Семенец, Ю.В. Наталуха, О.А. Тарануха, В.В. Токарев // APLIKOVANÉ VĚDECKÉ NOVINKY – 2014: materiály X – mezinárodní vědecko – praktická konference 27 červenců – 05 srpna 2014 roku, Praha, 2014. – С. 67–69. 2. *Токарев В.В.* Модель зрительного анализатора в компьютерной системе диагностики / В.В. Семенец, Ю.В. Наталуха, О.А. Тарануха, В.В. Токарев // Информационные системы и технологии: материалы III – межд. науч.-техн. конф., 15-21 сентября 2014 г., г. Харьков. – 2014. – С. 81–82. 3. *Tokarev V.V.* The use of atomic functions when restoring the image of the visual analyzer retina's blood vessels of a man / V.V. Semenets, Yu.V. Natalukha, V.V. Tokarev, P.M. Podpruzhnikov // News of Science and Education. – 2014. – NR 23 (23). – 10–17 p. 4. *Tokarev V.V.* Computer system for retina non-invasive diagnostics of human visual analyzer / V.V. Semenets, Yu.V. Natalukha, O.A. Taranukha, V.V. Tokarev // «FUNDAMENTAL AND APPLIED SCIENCE – 2014»: Materials of the X – international scientific and practical conference October 30 – November 7, 2014. – Sheffield, 2014. – P. 105–108.

5. *Tokarev V.V.* About one method of mathematical modelling of human vision functions / V.V. Semenets, Yu. V. Natalukha, O.A. Taranukha, V.V. Tokarev // Econtechmod: an international quarterly journal on economics in technology, new technologies and modelling processes. – Lublin; Rzeszow, 2014. – Volume 3, number 3. 51–59p. 6. *Токарев В.В.* Зрительная система человека и метод нуля – орган / В.В. Семенец, Ю.В. Наталуха, О.А. Тарануха, В.В. Токарев // Бионика интеллекта. – 2014. – №2 (79). – С. 80–85. 7. *Ингерлейб М.Б.* Полный справочник анализов и исследований в медицине [Текст] / М.: Омега-Л. – Книжкин Дом. – 2014. 8. *Токарев В.В.* Математическая модель метода сравнения в компьютерных системах диагностики патологии зрительного анализатора человека / О.Г. Руденко, В.В. Семенец, В.В. Токарев // ВЕСТНИК Херсонского национального университета. – 2015. – №01 (017). – С. 96–99. 9. *Токарев В.В.* Диагностика функционального состояния цветового зрения человека / В.В. Семенец, В.В. Токарев, О.А. Тарануха // Медицина сьогодні і завтра. – 2015. – №1 (66). – С. 119–125. 10. *Токарев В.В.* Об одном подходе применения атомарных функций при обработке изображений кровеносных сосудов сетчатки зрительного анализатора человека / В.В. Семенец, Ю.В. Наталуха, О.А. Тарануха, В.В. Токарев // Бионика интеллекта. – 2015. – №1 (84). – С. 39–42.

*Поступила в редколлегию 15.05.2015*

УДК 004.9:616-07

**Комп'ютерна інформаційна система обліку людей с вродженими або набутими захворюваннями сітківки зорового аналізатора людини** / Ю.Н. Колтун, П.М. Подпружников, В.А. Радченко, О.А. Тарануха, В.В. Токарев // Біоніка інтелекту: наук.-техн. журнал. – 2015. – № 2 (85). – С. 113–115.

Статтю присвячено розробці комп'ютерної інформаційної системи обліку людей з різноманітними вродженими та набутими захворюваннями сітківки зорового аналізатора людини. Ключову роль мають новітні методи та методики неінвазивної предиктивної діагностики, що дозволяють у найкоротші терміни встановити попередній діагноз шляхом аналізу отриманих даних за допомогою сучасних комп'ютерних інформаційних систем.

Лл.:1. Бібліогр.: 10 найм.

UDC 004.9:616-07

**Computer information accountingsystemfor people with inborn or acquired human visual analyzer retinaillnesses/** Y.N. Koltyn, P.M. Podpruzhnikov, V.A. Radchenko, O.A. Taranukha, V.V. Tokarev // Bionics of Intelligense: Sci. Mag. – 2015. – № 2 (85). – P. 113–115.

Article is devoted to development of computer information accounting system for the people with a variety of inborn or acquired human visual analyzer retina illnesses. Modern methods and methodologies of non-invasive predictive diagnostics play key part in short-term establishing preliminary diagnosis by analyzing received data with the help of the newest computer information systems.

Fig.:1. Ref.: 10 items.

УДК 514.18



І.С. Табакова

ХНУРЕ, м. Харків, Україна, tabakovaira@gmail.com

## НАМОТУВАННЯ КОРДА АВТОМОБІЛЬНИХ ШИН ЗА ГЕОДЕЗИЧНИМИ ТРАЄКТОРІЯМИ

Запропоновано опис шиноподібної поверхні з параметром, який регулює її форму залежно від вільного або навантаженого стану, складено систему диференціальних рівнянь для опису геодезичної на шиноподібній поверхні з використанням коефіцієнтів другої квадратичної форми поверхні та інших супровідних формул, приведено унаочнення одержаного розв'язку у вигляді зображення геодезичних ліній на шиноподібній поверхні залежно від обраних значень вхідних параметрів.

ГЕОДЕЗИЧНА ТРАЄКТОРІЯ, ПРОЦЕС НАМОТКИ КОРДА, АВТОМОБІЛЬНА ШИНА, ПЕРІОДИЧНІСТЬ РОЗТАШУВАННЯ ГЕОДЕЗИЧНИХ КРИВИХ

### Вступ

Технологія зміцнення виробів намотуванням є одним з найпоширеніших і перспективних методів одержання армованих матеріалів. Зазначена технологія є важливою при виготовленні автомобільних шин в результаті намотування металевого (або синтетованого) корда [1]. Для реалізації намотування необхідно знати закон розподілу кутів армування на оболонці або, інакше кажучи, закон намотування при її виготовленні на оправці. Найбільш широко використовуються геодезичні траєкторії намотування. Як відомо, геодезична траєкторія дозволяє забезпечити у певному розумінні максимальну міцність виробу. Відхилення намотування від геодезичної обмежено величиною коефіцієнта тертя між оправкою і намотуваною ниткою. Крім того, для забезпечення надійності і довговічності шин необхідно враховувати варіювання взаємного положення корду в точках дотику як реакцію на зміну навантаження.

### 1. Аналіз відомих досліджень та постановка завдання

Розвиток технології одержання сітчастих оболонок нетрадиційної форми дозволяє ввести в технологічний процес виготовлення автомобільної шини операції трансформації оболонки-заготовки в кінцевий виріб. Відзначимо, що саме за цією, відомою в автомобільній промисловості [1], технологією виготовляються автомобільні шини, коли вихідну сітчасту циліндричну оболонку трансформують у тороподібну поверхню шини. Після трансформації закон зміни кутів армування описується так званою «шинною геометрією». Процес перекладу оболонки-заготовки в кінцеву форму являє собою геометрично нелінійну задачу.

Сучасні технології передбачають намотування вихідної циліндричної оболонки-заготовки за геодезичними траєкторіями (рис. 1). В роботі [2] наведено спосіб розрахунку геодезичної траєкторії корда шини з врахуванням величини пантографічних кутів між суміжними кордами (рис. 2). Логічно вважати, що в процесі експлуатації автомобільної

шини кути пантографічної моделі повинні незначно змінюватися при зміні навантаження. Це повинно зменшити небезпеку руйнування шини «з середини» завдяки взаємному переміщенню кордів.

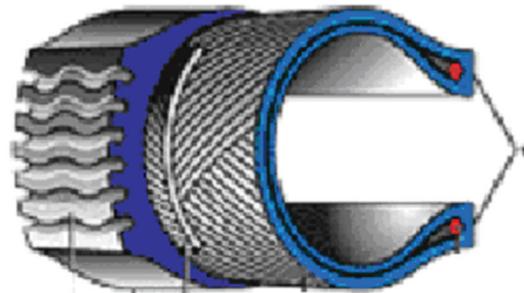


Рис. 1. Розташування корда на поверхні шини

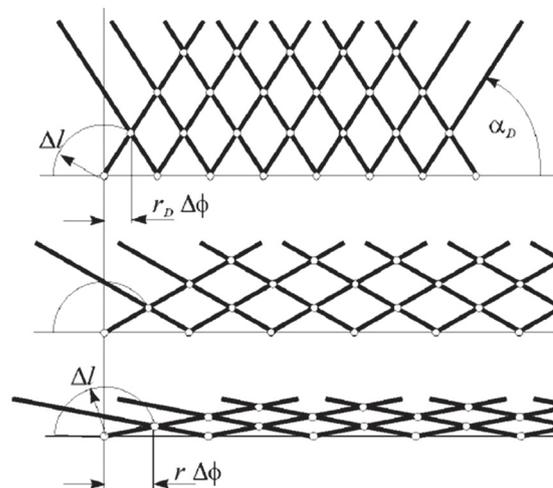


Рис. 2. Пантографічна модель в точках перетину корду

Але в роботі [2] використовуються переважно емпіричні залежності, і побудова геодезичних траєкторій корда не базується на розв'язанні системи диференціальних рівнянь. Для опису процесу намотки корда автомобільної шини необхідно розробити спосіб геометричного моделювання геодезичних траєкторій на поверхні обертання, яка наближає поверхню шини з врахуванням її геометричної форми під навантаженням і у вільному стані.

**2. Побудова геодезичних на шиноподібній поверхні**

Розглянемо поверхню обертання, яка наближено нагадує поверхню автомобільної шини. Умовно назвемо її шиноподібною поверхнею, рівняння якої пропонується обрати у вигляді

$$X = [(R - \cos^w(u))\cos(v), (R - \cos^w(u))\sin(v), u - \frac{\pi}{2}]. \quad (1)$$

Тут  $u$  – параметр вздовж меридіана поверхні,  $v$  – параметр вздовж паралелі поверхні,  $R$  – радіус базового кола.

Особливість опису (1) полягає у наявності параметра  $w$ , який регулює форму шиноподібної поверхні залежно від її стану – вільного або навантаженого. Так, у вільному стані значення параметра  $w$  повинні обиратися у межах  $w = 1..4$ , а у навантаженому стані у межах  $w = 12..16$ . Всі величини в умовних одиницях.

Наявність параметра  $w$  дозволить відстежити зміну пантографічного кута між навитими кордами у випадку зміни навантаження на шину.

При складанні системи диференціальних рівнянь для опису геодезичної на поверхні шини необхідно обчислити [3,4] коефіцієнти другої квадратичної форми та інші супровідні формули.

$$E = \frac{\begin{pmatrix} \cos^2(u) + w^2 \cos^{2w}(u) - \\ -w^2 \cos^{2(w+1)}(u) \end{pmatrix}}{\cos^2(u)};$$

$$F = 0;$$

$$G = (R - \cos^w(u))^2;$$

$$D = \frac{\begin{pmatrix} R^2 \cos^2(u) - 2R \cos^{(2+w)}(u) + \\ + \cos^{2(1+w)}(u) + R^2 w^2 \cos^{2w}(u) - \\ - 2R w^2 \cos^{3w}(u) + w^2 \cos^{4w}(u) - \\ - R^2 w^2 \cos^{2(1+w)}(u) + \\ + 2R w^2 \cos^{(3w+2)}(u) - \\ - w^2 \cos^{2(2w+1)}(u) \end{pmatrix}}{\cos^2(u)};$$

$$E_u = 2w^2 \sin(u)(1 - w + w \cos^2(u)) \cos^{(2w-3)}(u);$$

$$E_v = 0; F_u = 0; F_v = 0;$$

$$G_u = \frac{2w \sin(u)(R \cos^w(u) - \cos^{2w}(u))}{\cos(u)};$$

$$G_v = 0;$$

В результаті одержимо систему диференціальних рівнянь для опису геодезичних на шиноподібній поверхні у вигляді

$$\frac{1}{2D} \begin{pmatrix} 2D \left( \frac{d^2}{dt^2} u(t) \right) + G E_u \left( \frac{d}{dt} u(t) \right)^2 - \\ - G G_u \left( \frac{d}{dt} v(t) \right)^2 \end{pmatrix} = 0; \quad (2)$$

$$\frac{1}{2D} \begin{pmatrix} 2D \left( \frac{d^2}{dt^2} v(t) \right) + \\ + 2 E G_u \left( \frac{d}{dt} u(t) \right) \left( \frac{d}{dt} v(t) \right) \end{pmatrix} = 0$$

Систему рівнянь (2) було розв'язано чисельним методом Рунне-Кута. При цьому тестовий варіант обчислювався з незмінними початковими умовами

$$u_0 = \pi/2, v_0 = \pi$$

і межами зміни параметрів

$$\pi/40 < u < \pi - \pi/40;$$

$$0 < v < 2\pi;$$

$$R = 3.$$

Кількість точок, що складають геодезичну лінію, дорівнює 1500. Змінювалися лише кути «виходу» геодезичної траєкторії з початкової точки.

На рис. 3 наведено результати розрахунків геодезичної траєкторії без навантаження (а) і з навантаженням (б) для  $u'_0 = 0,39$  і  $v'_0 = 0,15$  при  $w = 4$  (а)  $w = 16$  (б).

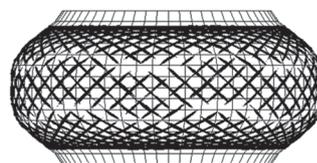
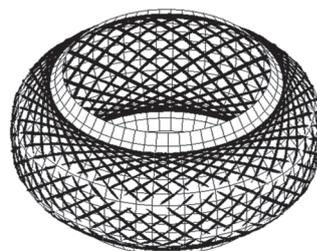


Рис. 3, а. Шиноподібна поверхня для параметра  $u'_0 = 0,39$

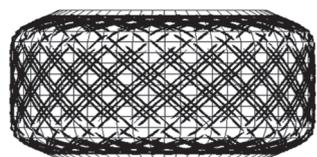
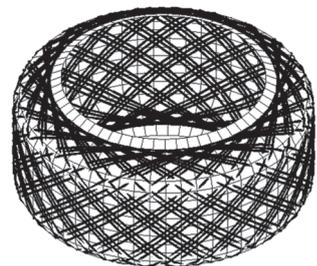


Рис. 3, б. Шиноподібна поверхня для параметра  $u'_0 = 0,39$

На рис. 4 зображено результат аналогічних розрахунків з тими ж параметрами, за винятком  $u'_0 = 0,4$ .

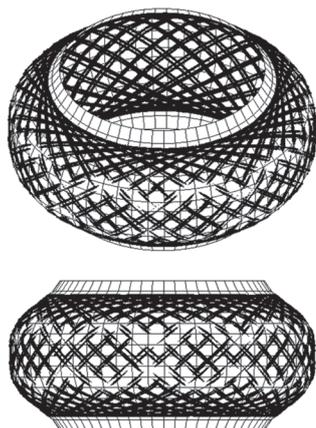


Рис. 4, а. Шиноподібна поверхня для параметра  $u'_0 = 0,4$

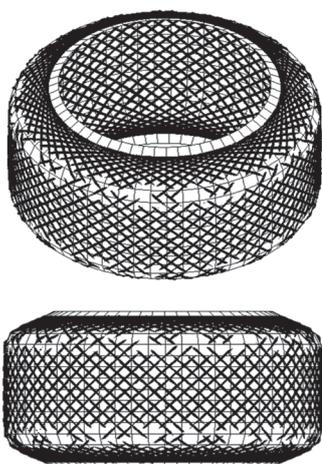


Рис. 4, б. Шиноподібна поверхня для параметра  $u'_0 = 0,4$

Ці приклади наочно демонструють вплив кута «виходу» геодезичної траєкторії на періодичність розташування сім'ї траєкторій на шиноподібній поверхні. Прийнятна періодичність у варіанті без навантаження не зберігається для варіанта з навантаженням, і навпаки.

Методом «анімаційних» ітерацій вдалося знайти початкове значення  $u'_0 = 0,43$ , яке забезпечує прийнятну періодичність геодезичних траєкторій на поверхні незалежно від наявності або відсутності навантаження (рис. 5).

Наступним кроком моделювання буде врахування зміни геометричної форми шини лише в зоні контакту з поверхнею дороги. Для цього в рівнянні (1) константу  $w$  замінимо на функцію

$$w = 16 - 12H(v - \beta); \tag{3}$$

яка має регулювати форму шиноподібної поверхні лише в зоні контакту з дорогою залежно від стану навантаження шини. У формулі (3)  $\beta$  – центральний кут дуги контакту,  $H$  – функція Хевісайда.

Відхід від геометричної форми поверхні обертання спричиняє складність розв'язання цієї задачі. При складанні системи диференціальних рівнянь типу (2) необхідно враховувати вже ненульові

значення  $F; E_v; F_u; F_v$ . Складання та розв'язання системи диференціальних рівнянь здійснено в середовищі математичного пакету Maple.

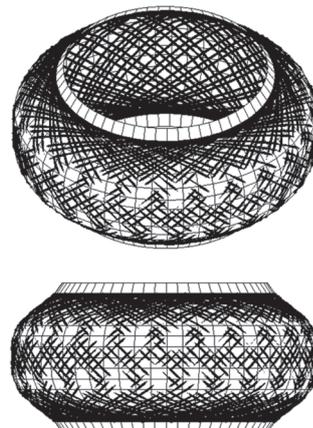


Рис. 5, а. Шиноподібна поверхня для параметра  $u'_0 = 0,43$

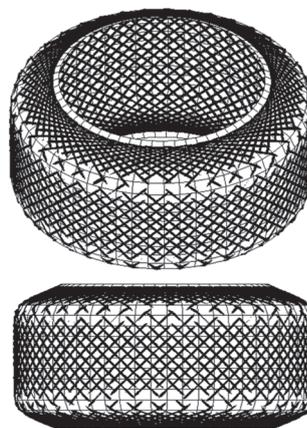


Рис. 5, б. Шиноподібна поверхня для параметра  $u'_0 = 0,43$

Наведемо вигляд системи диференціальних рівнянь

$$\begin{aligned}
 & -2D\left(\frac{d^2}{dt^2}u(t)\right) - GE_u\left(\frac{d}{dt}u(t)\right)^2 + 2FF_u\left(\frac{d}{dt}u(t)\right)^2 - \\
 & - FE_v\left(\frac{d}{dt}u(t)\right)^2 - 2GE_v\left(\frac{d}{dt}u(t)\right)\left(\frac{d}{dt}v(t)\right) + \\
 & + 2FG_u\left(\frac{d}{dt}u(t)\right)\left(\frac{d}{dt}v(t)\right) - 2GF_v\left(\frac{d}{dt}v(t)\right)^2 + \\
 & + GG_u\left(\frac{d}{dt}v(t)\right)^2 + FG_v\left(\frac{d}{dt}v(t)\right)^2 = 0, \\
 & -2D\left(\frac{d^2}{dt^2}v(t)\right) - EE_u\left(\frac{d}{dt}u(t)\right)^2 + 2EF_u\left(\frac{d}{dt}u(t)\right)^2 - \\
 & - FE_v\left(\frac{d}{dt}u(t)\right)^2 - 2EG_u\left(\frac{d}{dt}u(t)\right)\left(\frac{d}{dt}v(t)\right) + \\
 & + 2FE_v\left(\frac{d}{dt}u(t)\right)\left(\frac{d}{dt}v(t)\right) - EG_v\left(\frac{d}{dt}v(t)\right)^2 + \\
 & + 2FF_v\left(\frac{d}{dt}v(t)\right)^2 - FG_u\left(\frac{d}{dt}v(t)\right)^2 = 0.
 \end{aligned} \tag{4}$$

При розв'язанні ліві частини рівнянь (4) необхідно розділити на  $D$ . Коефіцієнти другої квадратичної форми та інші супровідні формули мають надто громіздкий вигляд і тому тут не наводяться.

На рис. 6 зображено запропоновану геометричну модель шиноподібної поверхні із зоною контакту з поверхнею дороги.

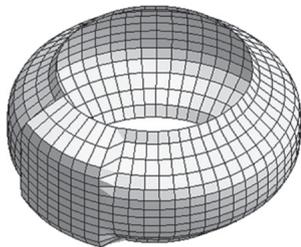


Рис. 6. Шиноподібна поверхня з зоною контакту з дорогою

На рис. 7 наведено геометричну модель шиноподібної поверхні з кількома витками геодезичної намотки при  $\beta = 0,8$ .

Помітно, що геодезична намотка враховує геометричну форму опуклості шиноподібної поверхні.

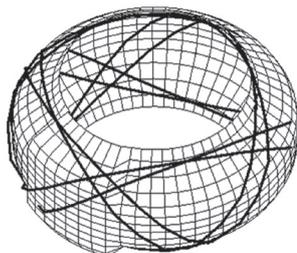


Рис. 7. Геодезична намотка шиноподібної поверхні з кількома витками

На рис. 8 зображено 1500-виткову геодезичну намотку шиноподібної поверхні для параметра  $u'_0 = 0,43$ .

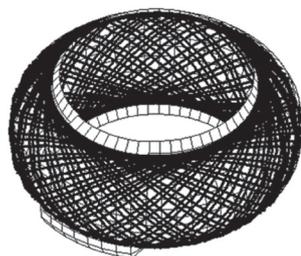


Рис. 8. Геодезична намотка шиноподібної поверхні

## Висновки

Наведений спосіб побудови геодезичних траєкторій на тороподібній поверхні, яка наближає поверхню автомобільної шини з врахуванням її форми під навантаженням. Спосіб дозволяє у першому наближенні аналізувати розташування сім'ї геодезичних з метою у подальшому аналізувати зміни пантографічних кутів у часі. Наочні зображення переконують у достовірності побудови. Метод «анімаційних» ітерацій дозволяє знайти початкове значення  $u'_0$ , яке забезпечує прийнятну періодичність геодезичних траєкторій на поверхні.

**Список літератури:** 1. *Иванов А. М.* Основы конструкции автомобиля / А.М.Иванов, А.Н.Солнцев, В.В. Гаевский и др. — М.: ООО Книжное издательство «За рулём», 2005. — 140 с. 2. *Koutny F.* Geometry and mechanics of pneumatic tires / F.Koutny — Zlin, CZE 2007. — 142 p. 3. *Погорелов А.И.* Дифференциальная геометрия. / А.И. Погорелов. — М.: Наука, 1974. — 176 с. 4. *Голованов Н.Н.* Геометрическое моделирование. / Н.Н. Голованов — М.: Издательство Физико-математической литературы, 2002. — 472 с. 5. *Смирнов В.И.* Курс высшей математики [Текст] Т. 4. / В.И.Смирнов. — 6-е изд., перераб. — М.: Наука, 1974. — 336 с. 6. *Жукова Н.И.* Геодезические линии на поверхностях [Текст]: учеб. пособие / Н.И. Жукова, А.В. Багаев. — Н. Новгород: Издательство Нижегородского государственного университета, 2008. — 54 с.

Надійшла до редколегії 27.05.2015

УДК 514.18

**Намотка корда автомобильных шин по геодезическим траекториям** / И.С. Табакова // Бионика интеллекта: науч.-техн. журнал. — 2015. — № 2(85). — С. 116–119.

В статье рассматривается способ геометрического моделирования геодезических траекторий на поверхности, которая приближает поверхность шины с учетом ее геометрической формы под нагрузкой.

Ил. 8. Библиогр.: 6 назв.

UDK 514.18

**Winding cord automobile tires on geodetic trajectories** / I.S. Tabakova // Bionics of Intelligence: Sci. Mag. — 2015. — № 2(85). — С. 116–119.

In the article deals, a method over of geometrical design of geodesic trajectories is brought on a surface that approaches the surface of tire taking into account her geometrical form on loading.

Fig. 8. Ref.: 6 items.

УДК 62.515



Ю.В. Щавінський

НАСВ, м. Львів, Україна, shchavinsky@inbox.ru

## ВІДПРАЦЮВАННЯ АЛГОРИТМІВ РОЗРАХУНКУ ДАНИХ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВОГНЕВОГО УРАЖЕННЯ ВЕЛИКОРОЗМІРНИХ ЦІЛЕЙ

В статті проведено аналіз ефективності стрільби артилерійських підрозділів. Визначено імовірну величину зниження ефективності при розташуванні об'єктів ураження в бойовому порядку під різним кутом до основного напрямку стрільби та неврахування цього кута при підготовці даних для стрільби на основі повної підготовки. Запропоновано удосконалений алгоритм розрахунку даних для стрільби. Надано рекомендації щодо створення перспективних комплексів засобів автоматизації управління вогнем і підрозділами артилерії, оснащених системою підтримки прийняття рішення.

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ВОГНЕМ, АЛГОРИТМ РОЗРАХУНКУ, ЕФЕКТИВНІСТЬ СТРІЛЬБИ, КОМПЛЕКСИ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ, ПІДТРИМКА ПРИЙНЯТТЯ РІШЕННЯ

### Вступ

В сучасних умовах роль артилерії в загальному вогневому ураженні противника постійно зростає. Застосування артилерійських підрозділів в основних видах бою, в специфічних діях, при проведенні антитерористичної операції (АТО) потребують прискіпливого розгляду питань ефективності їх застосування та дослідження шляхів її підвищення за рахунок точності та оперативності вогневого ураження.

Аналіз застосування артилерійських підрозділів у вогневому ураженні при проведенні АТО свідчить про нагальну потребу підвищення точності і оперативності вогню артилерійських підрозділів по цілях противника, що знаходяться на вогневих позиціях протягом короткого часу, а самі вогневі позиції часто розміщені поблизу населених пунктів. Відсутність автоматизованої системи управління вогнем (АСУВ) і підрозділами, уточнених алгоритмів розрахунку даних для стрільби та тривалий час проходження команд управління вогнем не дають змоги ефективно застосовувати артилерійські підрозділи для ураження об'єктів, здійснювати контрбатарейну боротьбу з артилерією противника.

### 1. Аналіз останніх досліджень та постановка задачі

Підвищенням ефективності стрільби артилерії займаються всі провідні країни світу, оснащуючи артилерійські підрозділи автоматизованими системами управління вогнем, які застосовують новітні розробки електронно-обчислювальної техніки для проведення розрахунків для стрільби.

На думку військових фахівців провідних країн світу під час здійснення широкомасштабних операцій оснащення артилерійських підрозділів АСУВ по ефективності рівнозначно застосуванню додаткових 2500 гармат [6]. Використання в сучасних АСУВ досягнень в галузі електроніки, створення ефективних алгоритмів та математичних моделей дають можливість в реальному масштабі часу під-

готувати і відкрити вогонь по цілях, через кілька секунд після їх виявлення.

Такими досягненнями володіють артилерійські підрозділи ЗС США, що оснащені АСУВ «TACFIRE» (Tactical Fire Direction System) [7], AFATDS (Advanced Field Artillery Tactical Data System) [8]; ЗС Німеччини, що оснащені АСУВ ADLER (Artillerie Daten Lage und Einsatz Rechnerverbund) [6]; ЗС Російської Федерації (РФ), які прийняли на озброєння АСУВ «Капустник-Б» з автоматизованою системою управління і наведенням «УСПЕХ» [10]. У ЗС Великобританії розроблена АСУВ «BATES», у Франції – «ATLAS».

На озброєнні артилерійських підрозділів Сухопутних військ Збройних Сил України (СВ ЗСУ) знаходяться застарілі комплекси автоматизованого управління вогнем (КАУВ) призначені для управління вогнем дивізіону (батареї) самохідної, причіпної ті реактивної артилерії, а також для підтримки безперервної взаємодії з механізованими та танковими підрозділами в бою.

За своїми можливостями комплекси автоматизованого управління вогнем СВ ЗСУ діляться на три групи; перша група – комплекси типу 1В12 (1В17); друга група – комплекси типу 1В12М (1В17-1); третя група – комплекси з поліпшеними характеристиками апаратури та приладів, а також поліпшеним математичним, інформаційним та програмним забезпеченням [1]. Але і таке поліпшене математичне інформаційне та програмне забезпечення уже застаріле і потребує удосконалення, а апаратна частина вітчизняних АСУВ потребує переоснащення та переведення на новітню і, бажано вітчизняну, елементну базу.

Тому в Україні продовжується робота над АСУВ «Оболонь-М», під керівництвом фахівців Національної Академії Сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного удосконалюються алгоритми та математичні моделі комплексів засобів автоматизації (КЗА), що створюються вітчизняними підприємствами (ДП ЛНДРТІ, ДП

“Оризон-Навігація”, ТОВ “НВП “Ефір-С” та ін.) (рис. 1, 2, 3, 4) [9].

Таким чином, використовуючи останні досягнення в галузі електроніки та розробки алгоритмів розрахунків даних для стрільби можливо створити термінальні пристрої посадових осіб артилерійських підрозділів (рис. 2), які дають можливість практично без затрат часу розраховувати установки для стрільби для кожної гармати, розподіляючи їх точки прицілювання як по напрямку так і по дальності, що значно підвищує точність вогню артилерійського підрозділу.



Рис. 1. Автоматизований комплекс розвідки СН-4003 (зі складу КЗА) ДП “Оризон-Навігація”



Рис. 2. Термінал СН-3210 з установленим програмним забезпеченням (зі складу КЗА) ДП “Оризон-Навігація”



Рис. 3. Балістична станція, спряжена з автоматизованим формувачем установок для стрільби ТОВ “НВП “Ефір-С”

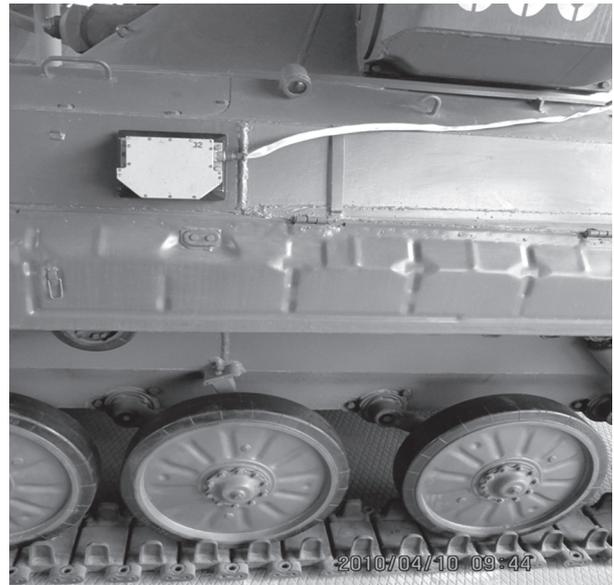


Рис. 4. Приймально-передавальний модуль радіолокаційного вимірювача параметрів руху на борту машини управління вогнем ТОВ “НВП “Ефір-С”

**Постановка задачі.** Враховуючи значне відставання вітчизняних АСУВ від аналогічних систем передових у військовому відношенні країн світу, визначення шляхів підвищення ефективності вогневого ураження цілей противника, що мають великі розміри та створення удосконаленого алгоритму розрахунку установок для стрільби, що дозволить підвищити ефективність вогневого ураження цілей, є актуальною задачею сьогодення.

## 2. Оцінка ефективності ураження великорозмірних цілей

Ефективність стрільби по окремій цілі характеризується імовірністю її ураження, яка зазвичай позначається  $P$ ; по груповій цілі – математичним сподіванням відносної кількості (або відсотка) уражених окремих цілей у складі даної групової цілі, яке, зазвичай, позначається  $M[a]$ . Імовірність ураження  $P$  і математичне очікування  $M[a]$  називають показниками ефективності стрільби, а їх чисельні значення – рівнями показників ефективності стрільби [3].

Під час стрільби по груповій цілі, що має розміри за глибиною ( $\Gamma_{\text{ц}}$ ) і фронтом ( $\Phi_{\text{ц}}$ ), приймають, що в її межах окремі цілі розташовуються рівномірно. Тому вважають, що положення будь-якої окремої цілі відносно центру групової цілі характеризується законом рівної імовірності. В той же час розподіл центру розсіювання снарядів відносно центру групової цілі (якщо точка прицілювання співпадає з центром цілі) підлягає нормальному закону. Отже, положення центру розсіювання снарядів відносно будь-якої з окремих цілей, розташованих в межах групової цілі, визначається сумарним законом, який отримуємо в результаті складання (композиції) цих двох законів.

З достатньою для практики достовірністю отриманий сумарний закон в переважній більшос-

ті випадків виявляється близьким до нормального закону і тому для полегшення подальших розрахунків приймається за нормальний закон розподілу, що характеризується параметрами [2]:

$$E\delta'_0 = \sqrt{E\delta_0^2 + 0,038\Gamma_{\Pi}^2}; \quad (1)$$

$$E\eta'_0 = \sqrt{E\eta_0^2 + 0,038\Phi_{\Pi}^2}. \quad (2)$$

Враховуючи формули (1, 2) для надійного накриття цілі зоною розривів та з метою найбільшої ефективності стрільби по групових цілях, що мають великі розміри правила стрільби і управління вогнем реко-мендують приймати максимальні розміри неспостережених цілей для стрільби батареї та дивізіону ( $\Phi_{\Pi}$  та  $\Gamma_{\Pi}$ ) відповідно до табл. 1 [1].

Таблиця 1

Максимальні розміри неспостережених групових цілей

Підрозділи	Кількість гармат у батареях	Розміри цілі, м	
		фронт	глибина
Дивізіон	4...6	400	400
	8	500	400
Батарея	4...6	300	200
	8	400	200

Спостережені групові цілі залежно від їх характеру, важливості та обставин подавляють або знищують вогнем дивізіону або батареї, спосіб обстрілу цілі призначають, виходячи з її реальних розмірів, які теж не повинні перевищувати максимальних (табл. 1). Максимальні розміри групової цілі для артилерійського підрозділу визначаються, виходячи з вимоги про те, що під час стрільби на трьох установках прицілу і одній або двох установках кутотіра в їх межах ще зберігався приблизно рівномірний розподіл точок падіння снарядів. Тому різниці між максимальними розмірами групової спостереженої і групової неспостереженої цілей немає [3].

При прийнятті таких розмірів стрільба буде найбільш ефективною – ціль буде повністю накриватися зоною розривів.

Визначаючи координати і розміри групової цілі, усі окремі цілі, що входять до її складу, описують прямокутником зі сторонами, які проходять через крайні окремі цілі, паралельно та перпендикулярно напрямку стрільби. За центр групової неспостереженої цілі приймають центр прямокутника (рис. 5) [3].

За центр спостереженої цілі приймають окрему ціль (місцевий предмет), розташовану поблизу центра цілі. На практиці розрахунок установок для стрільби здійснюється як за допомогою приладів управління вогнем [5], так і з використанням бортової електронно-обчислювальної машини (БЕОМ) командирської машини начальника штабу дивізіону (КМНШД) для одного або двох типів боєприпасів, які застосовуються в даному вогневому завданні. При цьому в комплексах командирських машин управління першої групи розрахунок установок для стрільби кожним боєприпасом і

передача результатів рішення в машину старшого офіцера батареї (МСОБ) здійснюються окремо для кожного боєприпасу, а в комплексах другої та третьої груп – одночасно для двох типів боєприпасів. Установки для стрільби, прийняті старшим офіцером батареї від начальника штабу дивізіону в комплексах першої та другої груп, уточнюються для кожної гармати шляхом введення індивідуальних поправок кожним командиром гармати в ручному режимі, на що витрачається значний час. В комплексах третьої групи установки для стрільби розраховуються на БЕОМ МСОБ для кожної гармати з урахуванням індивідуальних поправок, що зменшує час підготовки даних для стрільби [1].

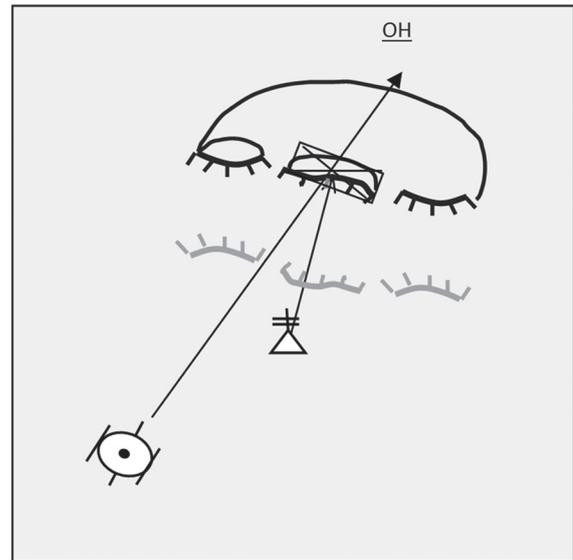


Рис. 5. Ураження групової цілі батареєю (300×200)

Згідно з правилами [1] дані для стрільби розраховують по центру цілі і вже потім призначають спосіб обстрілу всієї цілі, враховуючи її розміри, будуючи віяло на вогневій позиції по дійсному фронту цілі та призначаючи стрибок прицілу, не враховуючи при цьому її положення відносно основного напрямку стрільби. Таке вимушене спрощення було прийняте з причини відсутності в артилерійських підрозділах засобів автоматизації та необхідного алгоритму розрахунку даних для стрільби, відсутності засобів відображення інформації (команди) на кожній гарматі.

На практиці фронт цілі (одна сторона прямокутника) не завжди може бути перпендикулярна основному напрямку стрільби. Однак, відсутність алгоритму підтримки прийняття рішення командиром потребувала великої затрати часу на його прийняття, а необхідність пришвидшити готовність до відкриття вогню заставляла нехтувати оцінкою кута розташування цілі та його впливом на ефективність виконання завдання. Тому при великих кутах між лінією фронту цілі та основним напрямком стрільби (30 град. і більше) застарілі підходи до визначення установок для стрільби по цілі та наведення гармат призводили до того, що зоною розривів накривалася не вся ціль (рис. 6).

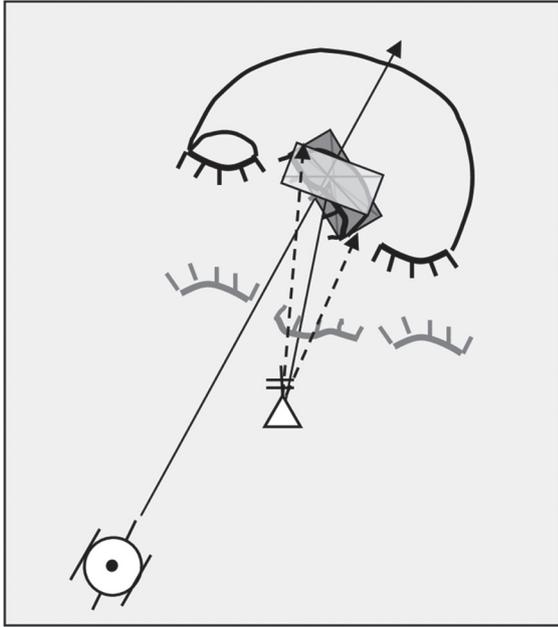


Рис. 6. Ураження групової цілі, розташованої під кутом до ОН стрільби

Як наслідок, такий підхід приводить до того, що частина групової великорозмірної цілі (частина одиночних цілей зі складу групової), що знаходиться за межами еліпса розсіювання розривів снарядів уражатись не буде (рис. 7).

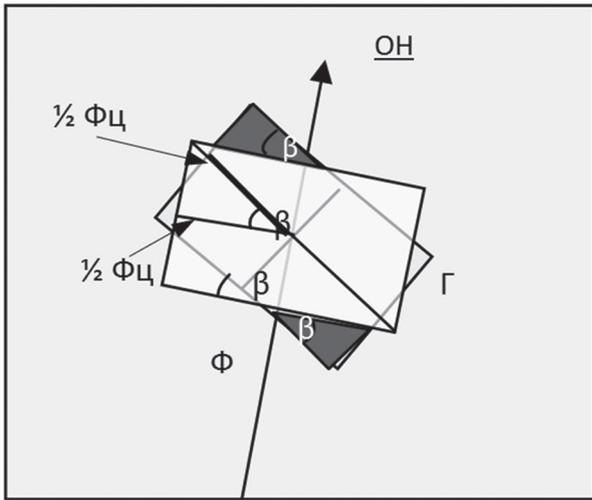


Рис. 7. Схема накриття цілі зоною розривів

Площу, що не уражається  $S_n$ , можна розрахувати за формулою площі прямокутного трикутника

$$S_n = \frac{1}{2}bc \cdot \sin\beta, \quad (3)$$

де  $S_n$  – площа трикутника, який не уражається;  $b$  – сторона трикутника ( $=1/2 \Phi_c$ );  $c$  – сторона трикутника ( $=1/2 \Phi_c$ );  $\beta$  – кут між лінією фронту цілі і перпендикуляром до основного напрямку стрільби.

Враховуючи, що при розташуванні цілі під кутом до основного напрямку стрільби таких трикутників два – формула (3) приймає вигляд

$$S_n = \frac{1}{4}\Phi_c^2 \sin\beta \quad (4)$$

Оцінки величини площі, що не уражається, за допомогою формули (4) при стрільбі по цілі розміром  $300 \times 200$ , в залежності від кута відносно основного напрямку стрільби зведені в таблицю 2.

Таблиця 2

Розмір площі, що не уражається

Кут $\beta$ (град)	Розмір площі $S_n$ (м кв)	% від загальної площі (6 га)
5	1961	3
10	3907	7
15	5823	10
25	9508	16
30	11250	19
45	15909	27

За результатами розрахунків, що наведені в таблиці 2 та формули (4) видно, що величина площі, що не уражається при стрільбі, залежить від кута між лінією фронту та основним напрямком стрільби та величини фронту цілі і при збільшенні кута неперпендикулярності  $\beta$  до основного напрямку стрільби збільшується площа цілі, яка не накривається зоною розривів. Так при  $\beta = 45$  ця площа досягає  $1/4$  всієї площі цілі.

Таким чином, якщо вважається, що ефективністю стрільби по групових цілях є математичне очікування  $M[a]$  кількості уражених одиночних цілей із складу групової і ці цілі рівномірно розподілені по всій площі, то при неврахуванні кута повороту цілі в  $45$  відносно основного напрямку стрільби приведе до зниження ефективності стрільби на чверть (рис. 8).

Відсоток площі, що не уражається

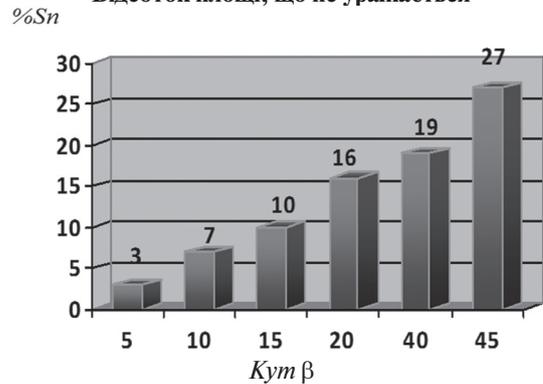


Рис. 8. Залежність площі, що не уражається від кута між лінією  $\Phi_c$  та ОН

При плануванні вогневого ураження противника, особливо в наступі, неврахування розміщення групової цілі може привести до не ураження потрібної кількості одиночних цілей із складу групової.

В цьому випадку, якщо при стрільбі по опорному пункту завчасно підготовленої оборони противника не будуть уражені протитанкові та інші вогневі засоби, які складають основу вогневої потужності підрозділів, що обороняються, і повинні бути знищені до переходу наших військ в атаку, то загальновійськові підрозділи будуть нести значні втрати, що може привести до зриву наступу.

### 3. Розробка удосконаленого алгоритму

Розглянемо особливості ураження спостережних цілей до яких відносять такі цілі, що візуально спостерігаються з наземних пунктів в процесі всієї стрільби на ураження [3]. Подавлення цілі залежить не тільки від загальної кількості витрачених снарядів і нанесеного їй матеріального збитку, але також і від того, протягом якого часу цей збиток буде завданий. Втрати, понесені в дуже короткий термін, мають значно більшу морально-психологічну дію, ніж ті ж втрати, понесені протягом більш тривалого терміну. Тому стрільба на ураження спостережної окремої цілі повинна вестися з якомога високим темпом. Крім того, високий темп стрільби потрібний і для того, щоб, з одного боку, не дозволити живій силі противника вийти з-під обстрілу, а з іншого – забезпечити виконання вогневого завдання в найкоротший час. Тому, з метою підвищення ефективності ураження, установки для стрільби по цілях необхідно готувати на основі повної підготовки та якомога точніше визначити орієнтацію їх лінії фронту і глибини відносно основного напрямку стрільби.

Для знаходження кута лінії фронту способом вирішення зворотної геодезичної задачі необхідно мати координати флангів цілі. Їх практично без витрат часу можна отримати за допомогою розробленого ДП «ОРИЗОН-НАВИГАЦІЯ» приладу СН-4003 (рис. 1) [9], який в реальному масштабі часу дає розраховані прямокутні координати флангів цілі одразу після її засічки.

Згідно з пропонуємим алгоритмом, отримавши прямокутні координати флангів, розрахувавши їх більшу і меншу різницю (БРК, МРК), отримуємо за допомогою формули величину кута

$$\rho = \arctg\left(\frac{\text{МРК}}{\text{БРК}}\right), \quad (5)$$

де  $\rho$  – кут напроти меншої різниці координат, або румб.

Фронт цілі розрахуємо за допомогою формули

$$\Phi_{\text{Ц}} = \text{БРК} \cdot \text{сеср} \cdot (6)$$

Розділивши величину фронту цілі на кількість гармат в батареї і призначивши кожній гарматі середину її ділянки для обстрілу визначимо координати точки прицілювання для кожної гармати

$$x_n = x_{\text{пр}} + \left(\frac{\Phi_{\text{Ц}}}{2n_{\text{гарм}}} + \frac{\Phi_{\text{Ц}}}{2n_{\text{гарм}}} \cdot (n-1)\right) \cos \alpha, \quad (7)$$

$$y_n = y_{\text{пр}} + \left(\frac{\Phi_{\text{Ц}}}{2n_{\text{гарм}}} + \frac{\Phi_{\text{Ц}}}{2n_{\text{гарм}}} \cdot (n-1)\right) \sin \alpha, \quad (8)$$

де  $x_n, y_n$  – координати точки прицілювання для будь-якої гармати в батареї;  $x_{\text{пр}}, y_{\text{пр}}$  – координати правої границі цілі;  $n_{\text{гарм}}$  – кількість гармат в батареї;  $n$  – номер гармати;  $\alpha$  – дирекційний кут лінії фронту цілі, розрахований відносно румба та знаків меншої та більшої різниці координат флангів цілі.

Для решти батареї дивізіону при стрільбі внакладку розрахунки точок прицілювання прово-

дяться аналогічно. В результаті ціль накривається зоною розривів повністю, незалежно від розташування цілі відносно основного напрямку стрільби (рис. 9).

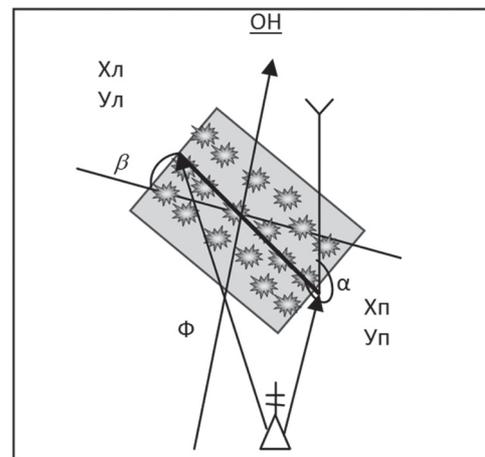


Рис. 9. Схема розрахунку точок прицілювання гармат з урахуванням кута  $\beta$

Крім того, запропонований алгоритм включає також підтримку прийняття рішення командиром на виконання вогневих завдань, що дає змогу значно скоротити час підготовки, підвищивши тим самим оперативність застосування артилерійських підрозділів. В подальшому, при комутації приладу розвідки із засобами зв'язку можливе створення мобільного КАУВ для передових спостерігачів чи корегувальників артилерійського вогню.

### 4. Ефективність загороджувального вогню

Запропонований алгоритм доцільно застосовувати і при підготовці установок загороджувального вогню, який готують на одному або на кількох рубежах, що спостерігаються на ділянках місцевості з наземних спостережних пунктів. Загороджувальний вогонь може бути фронтальним або фланговим. Якщо кут між перпендикуляром до основного напрямку стрільби та рубежем загороджувального вогню складає менше  $45^\circ$ , вогонь вважають фланговим, якщо цей кут  $45^\circ$  та більше – фронтальним. Правила стрільби і управління вогнем рекомендують фланговий загороджувальний вогонь, кут розміщення якого відносно основного напрямку стрільби складає більше  $45^\circ$ , вести за віялом зосередженим, призначаючи установки прицілу повзводно з уступом, рівним половині ширини батареїної ділянки, для чого вираховану установку прицілу, розраховану за центром ділянки, для першого взводу зменшують, а для другого – збільшують на  $1/4$  ширини батареїної ділянки [1].

При стрільбі по батареїній ділянці загороджувального вогню 152 мм 2С3 на заряді 1 на дальності 7000 м (на більшу дальність стрільба по рубежу загороджувального вогню мало імовірна) снарядами ОФ-25 з підіривником РГМ-2 розсіювання буде мати характеристики по дальності  $1Вд = 29$  м, по напрямку  $1Вб = 2,5$  м. Половина еліпса роз-

сіювання, враховуючи зведенні характеристики при стрільбі батареї відносно центру розсіювання снарядів буде складати  $4Вд = 125$  м,  $4Вб = 13$  м (рис. 10).

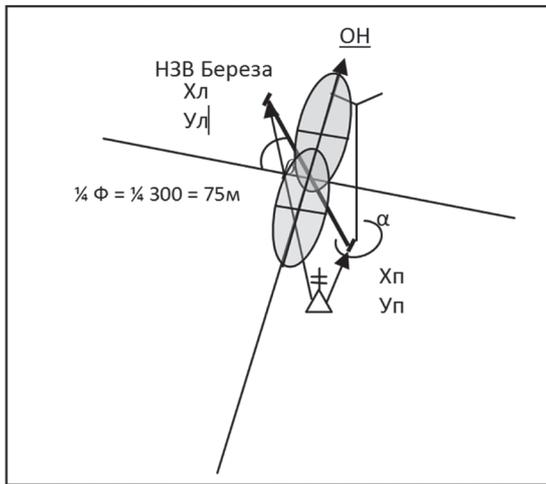


Рис. 10. Схема стрільби по батареїній ділянці НЗВ

Таким чином, при куті  $45^\circ - 70^\circ$  теж спостерігається неповне накриття еліпсом розсіювання флангів флангового загороджувального вогню. Правила стрільби і управління вогнем надавали такі рекомендації, коли на вогневій позиції ще не було комплексів засобів автоматизації, установки для стрільби по рубежу загороджувального вогню готувались за допомогою приладу управління вогнем. Сучасний стан розвитку електронно-обчислювальної техніки дозволяє розраховувати дані для стрільби як по загороджувальному вогню, так і по групових цілях, що мають великі розміри по фронті і глибині, для кожної гармати окремо по їх точках прицілювання. При цьому враховується дійсне положення цілі і рубежу загороджувального вогню відносно основного напрямку стрільби.

Крім того, при застосуванні артилерійських підрозділів розсосереджено (при проведенні спеціальних дій в умовах антитерористичної операції, при більших інтервалах між гарматами, а також при діях артилерійських батарей повзводно і навіть погарматно) пропонується алгоритм забезпечує розрахунки даних для кожної гармати з визначенням для кожній з них своєї точки прицілювання (рис. 11).

Результати моделювання за розробленим алгоритмом показали можливість підвищення ефективності ураження групової цілі при різних положеннях її лінії фронту до основного напрямку стрільби до 20-25% (рис. 8). Разом з тим запропонований алгоритм розрахунку точок прицілювання для кожної гармати дає можливість розраховувати дані для стрільби кожної гармати, особливо при розсосередженому розташуванні гармат на вогневій позиції на великих інтервалах.

Напрямок подальших досліджень слід вважати зосередження зусиль на оптимізації і впровадженні у Збройні Сили України сучасних

комплексів засобів автоматизації управління артилерійським вогнем, що дозволяють реалізувати близькі до оптимальних алгоритми ураження цілей.

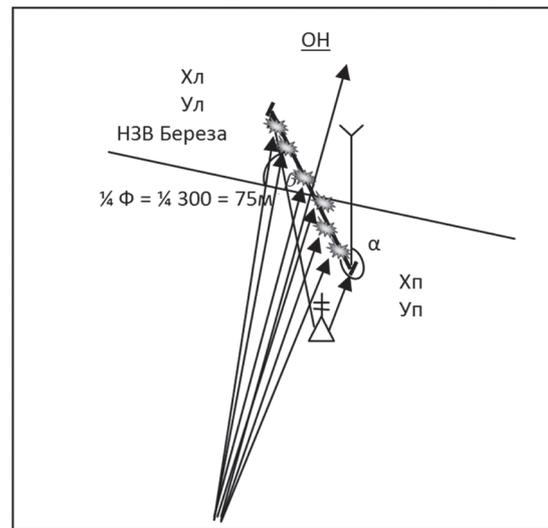


Рис. 11. Схема стрільби по батареїній ділянці НЗВ

### Висновки

Неврахування розміщення групової цілі відносно основного напрямку стрільби при визначенні установок для стрільби на основі повної підготовки може призвести до значного зниження ефективності стрільби артилерійських підрозділів. І при значному куті лінії фронту цілі відносно основного напрямку стрільби може складати до 20-25%, не ураження одиночних цілей із складу групової і привести в окремих випадках до зриву виконання бойового завдання.

Розвиток інформаційних технологій та електронно-обчислювальної техніки, останні розробки вітчизняних підприємств оборонного відомства дають можливість створити більш ефективні алгоритми та відпрацювати математичні моделі розрахунків даних для стрільби. Такі математичні моделі з алгоритмом підтримки прийняття рішення, установлені на комплексах засобів автоматизації, будуть враховувати всі фактори, що впливають на точність та оперативність вогню артилерії. В якості апаратури термінальних пристроїв доцільно використовувати серійну апаратуру ДП «Оризон-Навігація»: СН-3210 з новою модифікацією блоку апаратури відображення і контролю та уніфіковані малогабаритні персональні комп'ютери «Карат» СН-4004. В подальшому, використання вітчизняних розробок КЗА в поєднанні з алгоритмами підтримки прийняття рішення дасть змогу створити інтелектуальну динамічну систему управління вогнем і артилерійськими підрозділами.

**Список літератури:** 1. Правила стрільби і управління вогнем наземної артилерії. Група, дивізіон, батарея, взвод, гармата. [Текст] Київ –2008. –304 с. 2. Стрельба и управление огнём наземной артиллерии. Учебник для высших артиллерийских командных училищ. [Текст]

Москва. Военное издательство -76. -540 с. **3.** Посібник по вивченню правил стрільби і управління вогнем наземної артилерії. Група, дивізіон, батарея, взвод, гармата. [Текст] Київ – 2008. **4.** Навчальний посібник з управління вогнем дивізіону. [Текст] Суми – 2003. – 68 с. **5.** Керівництво з бойової роботи вогневих підрозділів артилерії: Навчальний посібник. [Текст] СумДУ: Вид-во СумДУ, 2004. -267 с. **6.** [Електронний ресурс] – Режим доступу до джерела: <http://ru-artillery.livejournal.com/201348.html?thread=2036612&>. **7.** [Електронний ресурс] – Режим доступу до джерела: <http://bastion-karpenko.ru/kmpn>. **8.** [Електронний ресурс] – Режим доступу до джерела: <http://i-802620.html.ogotchenko.livejournal.com/>. **9.** [Електронний ресурс] – Режим доступу до джерела: <http://ogizon-navigation.ua/index.php?page=407&lang=1>. **10.** [Електронний ресурс] – Режим доступу до Джерела: <http://armsdata.net/russia/0170.html>

*Надійшла до редколегії 3.06.2015*

УДК 62.515

**Разработка алгоритма расчета данных для повышения эффективности огневого поражения крупноразмерных целей / Ю.В. Щавинский // Бионика интеллекта: науч.-техн. журнал. – 2015. – № 2 (85). – С. 120–126.**

Роль артиллерии и современный уровень развития информационных технологий даёт возможность учесть все варианты при выполнении применять подразделения в бою с большей эффективностью. Для этого, наряду

с отечественными разработками, нужны новые алгоритмы, которые способствуют полностью использовать потенциал артиллерийских подразделений в огневом поражении противника.

В статье приведён краткий анализ эффективности огневого поражения крупномасштабных целей и предложен алгоритм расчета данных при создании математической модели комплексов средств автоматизации и системы управления огнем и подразделениями артиллерии в будущем.

Ил. 11. Библиогр.: 10 назв.

**UDC 62.515**

**Development of algorithms calculation data for improving the efficiency of fire large size goals / Y.V. Shchavinskiy // Bionics of Intelligence: Sci. Mag. – 2015. – № 2 (85). – P. 120–126.**

The role of the artillery and the current level of development of information technology makes it possible to consider all the options when the unit used in combat with greater efficiency. To this end, in addition to domestic developments, we need new algo-rhythms that promote the full potential of artillery units to fire damage of the enemy. The article gives a brief analysis of the effectiveness of large-scale fire destruction goals and an algorithm for calculating the data to create a mathematical model of systems of automation and control systems with fire and artillery units in the future.

Fig. 11. Ref.: 10 items.



О.В. Лазаренко<sup>1</sup>, Д.И. Панченко<sup>2</sup>, Е.Ю. Буряк<sup>3</sup>

<sup>1</sup>ХГУ «НУА», г. Харьков, Украина, lazolvlad@gmail.com

<sup>2</sup>ХГУ «НУА», г. Харьков, Украина, panchenko.di2013@gmail.com

<sup>3</sup>ХГУ «НУА», г. Харьков, Украина, b.u.elena@mail.ru

## РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА СМЫСЛОВОГО АНАЛИЗА ТЕКСТА ДЛЯ СИНТЕЗА РЕФЕРАТА В СИСТЕМЕ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕФЕРИРОВАНИЯ

Предложена процедура синтеза реферата с использованием текстовой базы и модели заголовка в процессе смыслового анализа текста в системе автоматического реферирования. Описывается алгоритм синтеза реферата на смысловом уровне. Предлагается процедура создания текстовой базы для синтеза реферативных конструкций.

АВТОМАТИЧЕСКОЕ РЕФЕРИРОВАНИЕ, СИНТЕЗ РЕФЕРАТА, ТЕКСТОВАЯ БАЗА, МОДЕЛЬ ЗАГОЛОВКА, МОДЕЛЬ РЕФЕРАТА

### Введение

Разработка интеллектуальной системы автоматического реферирования предполагает исследование различных аспектов понимания текста. Как отмечалось в наших работах [1, 2, 3], прежде чем приступить к исследованию этих вопросов, мы рассмотрели наиболее общие закономерности реферирования, выраженные в конечном продукте — реферате, сознательно, в связи с чрезвычайной сложностью процесса реферирования, допустив на начальном этапе теоретическую и эмпирическую неполноту. С тем, чтобы в дальнейшем, оттолкнувшись от понимания изученных закономерностей, расширить область исследования.

В связи с этим нами были изучены особенности синтаксической и семантической структур реферата, построена модель компрессии первичного текста на всех уровнях, сформулированы правила порождения реферативных предложений и на их основе разработана модель унифицированного реферата в виде типовых для индикативных рефератов семантико-синтаксических конструкций.

Для наполнения модели реферата соответствующей семантикой была разработана процедура семантического анализа текста с целью сжатия его смысла, что позволило построить семантико-контекстную модель реферирования, включающую модель заголовка и текстовую базу. Текстовая база является «информационным ядром» текста, и содержит информацию о ситуации, описанной в тексте. В текстовую базу входят предложения, отражающие основные смысловые аспекты исходного текста.

В рамках нашего подхода заголовок рассматривается как реферат минимального объема или как текст с максимальным уровнем компрессии содержания. Сравнительный анализ компрессии в заголовке и реферате показал продолжение процедуры свертывания (компрессии) смысла текста в заголовке в сравнении с процедурой компрессии в реферате как на семантическом, так и на синтаксическом уровнях. При сохранении тех же смысловых составляющих в реферате и в заго-

ловке они имеют, однако, свои синтаксические и грамматические особенности их выражения.

На базе выявленных аналогий была предложена модель заголовка, отражающая сходство его с рефератом, с целью более эффективного использования этой модели в процессе автоматического реферирования. По этим результатам был разработан алгоритм наполнения модели реферата соответствующей семантикой с использованием промежуточных элементов — текстовых баз, необходимых для отбора предложений, содержащих указания на объект, результат, цель, метод и место, т.е. смысловые аспекты, образующие смысловую структуру реферата.

В основе построения текстовой базы лежит анализ заголовка и текста и выявление на его основе предложений для текстовой базы.

Основной целью наших исследований на этом этапе стала разработка алгоритма построения текстовой базы с опорой на семантико-контекстную модель текста, модель заголовка и модель реферата.

### 1. Разработка алгоритма анализа заголовка для построения текстовой базы

При разработке алгоритма выделения в тексте предложений для текстовой базы мы исходили из того, что анализ содержания текста должен включать анализ заголовка. Заголовки пишутся максимально сжато, лаконично, в них опущены все семантически второстепенные элементы. По сути, они являются смысловым инвариантом текста.

Поэтому для выбора предложений в текстовую базу в начале проводится анализ заголовка.

В заголовке выделяются слова, описывающие смысловые аспекты текста — *результат, объект* и, если есть, — *метод, цель, место*.

Общая синтаксическая конструкция заголовка (СКЗ) имеет вид:

$$СКЗ: Pp - V(m_5) - A(m_4) - A(m_7) - A(m_9) - A(m_8),$$

где  $Pp$  — выражения с предлогами: *Об одном..., К вопросу о..., Еще раз о..., Ученые о...* и т.п. (аналог сирконстанта в модели реферата),  $V(m_5)$  — отглагольное

существительное(аналог предиката) со значением *результат*,  $A(m_4)$  – актант со значением *объект*,  $A(m_7)$  – актант со значением *цель*,  $A(m_9)$  – актант со значением *место*,  $A(m_8)$  – актант со значением *метод*.

Все обозначения подробно описаны в [1].

Примеры заголовков:

**СКЗ:**  $V(m_5) - A(m_4) - A(m_7) - A(m_9)$ . *результат + объект + цель + место*

Процедура дедуктивного вывода для планирования работы системы управления в динамической среде.

**СКЗ:**  $Pp - V(m_5) - A(m_4) - A(m_7)$ . *результат + объект + цель*

*О формировании семантических признаков для математической модели префиксального словообразования.*

**СКЗ:**  $Pp - V(m_5) - A(m_4) - A(m_9)$ . *результат + объект + место*

*Об одной реализации языка запросов в системе управления базой данных.*

Как видно из приведенных примеров конкретных реализаций общей структуры заголовка 5-4-7-9-8, возможны различные комбинации смысловых аспектов в заголовках: 5-4-7-9-0, 5-4-7-0-0, 5-4-0-9-0 и др.

Описание обобщенной структуры заголовка приведено в табл. 1.

В соответствии с этой структурой заголовков разбирается на составные элементы.

1. Выделяются выражения с предлогом в начале заголовка (если такие есть). Для этого используется составленный в процессе анализа заголовков словарь выражений, встречающихся в начале заголовка.

2. Определяется существительное в соответствующем падеже (родительном, дательном или предложном, если есть соответствующее выражение с предлогами, или именительном (если такого выражения нет) и стоящие слева от него слова в таком же падеже. Выделенные слова соответствуют смысловому аспекту  $m_5$  в модели заголовка со значением *результат*.

3. Ищется следующее существительное в родительном падеже и предшествующие ему слова в таком же падеже. Выделенные слова соответствуют смысловому аспекту  $m_4$  в модели заголовка со значением – *объект*.

Аналогичным образом выделяются в заголовке все имеющиеся в нем смысловые аспекты.

## 2. Разработка процедуры смыслового анализа текста для построения текстовой базы

В процессе анализа текста с целью выбора необходимой для построения реферата информации нам необходимо отобрать предложения, которые содержат указания на объект, результат, цель, метод и место, т.е. смысловые аспекты, образующие смысловую структуру реферата. Выбор этих предложений представляет определенные трудности в силу разнообразия описания этих аспектов в исходном тексте.

Более того, предложений, указывающих на определенный смысловой аспект, может быть несколько, поэтому целесообразно выделить их из текста, опираясь на результаты анализа заголовка, слова-указатели на смысловые аспекты в тексте и глаголы, указывающие, в первую очередь, на *объект* описания и *результат* исследования.

Анализ заголовка мы рассмотрели. Теперь рассмотрим, какие слова-указатели на интересующие нас смысловые аспекты встречаются в текстах. Чаще всего на *объект* и *результат* исследования указывают следующие выражения:

1. В (данной/настоящей) статье/работе...
2. Данная статья/работа/обзор ...
3. Целью данной/настоящей статьи/работы...

Далее идут глаголы:

1. ... рассматривается / предлагается / описывается / исследуется / анализируется...
2. ... посвящена / представляет собой ...
3. ...является ...

*Примеры из текстов статей:*

В данной статье рассматривается вопрос ...

В настоящей статье математически описываются

В статье рассматривается возможный подход...

В статье предлагается математическая модель...

В данной работе предлагаются и рассматриваются некоторые процедуры...

Данная статья посвящена проблемам...

Следует обратить внимание на слова-указатели *Целью данной/настоящей статьи/работы...*

В таких предложениях речь идет об *объекте* и *результате*, а не о *цели* исследования. На *цель* исследу-

Таблица 1

<i>Pp</i>			Результат		Объект		Цель	Место	Метод
Выражение с предлогом			Прилагательное	Существительное	Прилагательное	Существительное	Предлог для...	Предлог в...	Существительное
–	–	–	И.п.	И.п.	Р.п.	Р.п.	Р.п.	Пр.п.	Р.п.
К	вопросу ...Еще раз.. Учителя..	$O(\bar{o})$ , $o(\bar{o})$	Пр.п.	Пр.п.	Р.п.	Р.п.			
$O(\bar{o})$	одном подходе...	К, к	Д.п.	Д.п.	Р.п.	Р.п.			
$O(\bar{o})$	одном методе	–	Р.п.	Р.п.					
	Один из подходов (вопросов, аспектов)	–	Р.п.	Р.п.					

дования указывает, как было отмечено при анализе заголовка, предлог *для*.

Отталкиваясь от слов-указателей и глаголов, указывающих на смысловые аспекты в тексте, необходимые для построения реферата, выбираются предложения для текстовой базы.

Для этого анализируется текст статьи.

1. Ищутся слова-указатели и глаголы, указывающие на нужные для реферата смысловые аспекты.

2. Выделяется существительное в соответствующем словам-указателям падеже и стоящие слева от него слова в таком же падеже, а также все слова, стоящие справа от выделенного существительного.

3. Выделенные в п.2 слова сравниваются со словами из заголовка, обозначающими результат и объект.

4. Если имеется совпадение (хотя бы частичное), предложение записывается в текстовую базу.

Таким образом, анализируются предложения из первых и последних абзацев текста, в которых обнаруживаются слова-указатели и соответствующие глаголы, а также именные группы, совпадающие со словами из заголовка.

Такая процедура во многом пересекается с концепцией понимания текста, предложенной в работах голландского лингвиста ван Дейка. «Быстрый анализ поверхностных структур и выстраивание относительно простой и жесткой семантической конфигурации» представляют собой обобщенное описание основного содержания дискурса, которое читатель строит в процессе понимания, и являются фактически рефератом или резюме. Разработка макро правил обобщенного описания содержания текста позволяет построить формальный переход от исходного текста к реферату [4].

Такие правила были разработаны нами на этапе изучения семантико-синтаксической структуры реферата и легли в основу процедуры построения реферативных предложений.

Разработанная на первом этапе исследований модель реферата была положена в основу первой версии компьютерной программы АвтоРеферат, в которой осуществлялось порождение реферативного предложения, но пока без глубинного анализа смысла первичного текста.

Разработка процедуры смыслового анализа исходного текста позволила перейти к выбору предложений, содержащих необходимые для реферата смысловые аспекты.

Если в первой версии системы АвтоРеферат мы опирались на заголовки и частоту встречаемости слов в тексте для порождения реферативных предложений в соответствии с разработанной моделью реферата, то на нынешнем этапе за основу берутся предложения из текстовой базы и заголовка, на основе которых строятся реферативные предложения.

Алгоритм заполнения реферативного предложения соответствующими актантами и предикатами в главном остался неизменным, однако ушли издержки частотного подхода.

Так, на первом этапе при частотном подходе осуществлялся поиск наиболее часто встречающегося слова путем сравнения каждого слова из заголовка с каждым словом текста, и, в случае совпадения, подсчитывалась абсолютная частота встречаемости этого слова в тексте. На основании всего этого выбиралось слово с максимальной частотой в качестве основного для построения актантной цепочки в реферативном предложении.

При использовании текстовой базы необходимое слово выбирается из ограниченного набора предложений, входящих в текстовую базу.

На втором этапе выбранное слово помещается в конец реферативного предложения, заполняя актант *A1* для последующего построения актантной цепочки, являющейся семантической основой реферативной конструкции.

Алгоритм синтеза реферата работает в двух блоках: условно блок 1 можно назвать – «поиск влево», блок 2 – «поиск вправо», то есть в одном блоке анализируются слова, стоящие слева от выбранного слова, а в другом блоке – слова, стоящие справа. По результатам этого анализа формируется актант. Далее все последующие актанты добавляются справа от предыдущих. В реферативных текстах предложения могут включать в себя различное количество актантов (от одного до четырех). На этом заканчивается построение актантной цепочки для первого предложения реферата.

На третьем этапе завершается построение всего реферативного предложения. Поскольку на входе есть уже готовая актантная цепочка, отражающая основной смысл предложения для реферата, главной задачей этого этапа является выбор предикативного ядра. В первой версии системы выбор предиката осуществлялся автоматически из словаря, в который вошли глаголы, не несущие важной семантической информации и являющиеся взаимозаменяемыми, без соотнесения с реальными значениями по тексту оригинала. Для проверки правильности синтеза реферативных предложений, что являлось главной задачей первой версии системы автоматического реферирования АвтоРеферат, это было допустимо, поскольку семантический блок не был еще разработан. Но для полноценной семантической обработки необходим точный выбор предиката. При оформлении окончательного варианта реферативных конструкций с помощью предикатов из других словарных групп, действует совсем другой механизм, который предполагает поиск необходимого слова в исходном тексте и анализ его окружения для определения уровня компрессии смысла, и только после этого можно использовать его в реферативной конструкции. При использовании текстовой базы эта задача была решена.

Однако не стоит думать, что нам удалось решить все вопросы автоматизации процесса реферирования.

В своих дальнейших исследованиях процесса понимания текста [3] мы пришли к выводу о том, что процедура смыслового анализа текста с построением текстовых баз при выборе предложений, описывающих главные смысловые аспекты текста, позволяет обеспечить универсализацию алгоритма смыслового анализа текстов различной тематики и различных предметных областей. Инструментом такой универсализации стала ситуационная модель. В разрабатываемой нами системе ситуационная модель формируется в виде накопителя текстовых баз определенной тематики, автоматически извлекаемых из текста в процессе его смыслового анализа в соответствии с разработанным алгоритмом извлечения основных смысловых аспектов текста.

Более того, использование текстовых баз, задающих контекстную семантику текстов, и формируемых на их основе ситуационных моделей, а также заголовков всех текстов, описывающих схожие ситуации, позволяют выделить наиболее важные характеристики определенной ситуации. Эти характеристики, представляющие собой набор наиболее важных признаков, выделенных на основе относительных характеристик ситуации, в которых возможны существенные упущения в сравнении с конкретной ситуацией, описываемой в конкретном тексте, образуют инвариантную репрезентацию ситуации. В результате последних исследований мы вплотную подошли к моделированию процесса реферирования на уровне глубинной семантики текста.

### Выводы

В статье рассмотрена процедура смыслового анализа текста и заголовка, позволяющая обеспечить более качественный результат автоматического реферирования за счет использования информации, необходимой для наполнения смысловой структуры реферата.

Описан алгоритм синтеза реферата на смысловом уровне.

Проведено сравнение процедуры реферирования первой версии системы АвтоРеферат со второй версией системы, работающей на основе текстовых баз.

Отмечается необходимость дальнейших исследований для автоматизации процедуры построения ситуационных моделей и инвариантной репрезентации ситуации, обеспечивающих анализ глубинной семантики текста.

**Список литературы:** 1. Лазаренко О.В. Моделивання семантичних зв'язків «Текст-Реферат» в системах автоматичного реферування / О.В. Лазаренко, Д.І. Панченко. — Х.: Изд-во НУА, 2014. — 176 с. 2. Лазаренко О.В. Семантико-контекстна модель реферування / О.В. Лазаренко, Д.І. Панченко // Бионика интеллекта: науч.-техн. журнал. 2014. № 1(80). С. 19-24. 3. Лазаренко О.В. Разработка интеллектуальной системы автоматического реферирования с использованием текстовых баз и ситуационных моделей / О.В. Лазаренко // MegaLing'2013. Горизонти прикладної лінгвістики та лінгвістичних технологій : доп. міжнар. наук. конф., Україна, Київ, 20-23 листопаду 2013 г. 4. Дейк ван Т. А. Стратегии понимания связного текста / Т. А. ван Дейк, В. Кинч // Новое в зарубежной лингвистике. — Вып. 23: Когнитивные аспекты языка. — М., 1988. — С. 153–211.

Поступила в редколлегию 29.05.2015

УДК 81'322.2'33

**Розробка алгоритму змістовного аналізу тексту для синтезу реферату в системі автоматичного реферування** / О.Ю. Буряк, О. В. Лазаренко, Д.І. Панченко // Біоніка інтелекту: наук.-техн. журнал. — 2015. — № 2 (85). — С. 127–130.

У статті розглянуто питання розробки алгоритму аналізу заголовка та тексту в системі автоматичного реферування. Запропонована процедура створення текстової бази для синтезу реферативних конструкцій.

Табл. 1. Бібліогр.: 4 найм.

УДК 81'322.2'33

**The development of the text semantic analysis algorithm for summary synthesis in the automatic summarization system** / O. Y. Buriak, O. V. Lazarenko, D. I. Panchenko // Bionics of Intelligense: Sci. Mag. — 2015. — № 2 (85). — P. 127–130.

The development issues of the heading and text analysis algorithm in the automatic summarization system are considered. The procedure of a text database creation to synthesize abstract formations is offered.

Tab. 1. Ref.: 4 items.



Тот, кто обращаясь к старому способен открывать новое, достоин быть учителем.

*Конфуций*

**Шабанов-Кушнаренко Юрий Петрович** (22.05.1932 — 30.06.2015) — основатель научной школы «Искусственный интеллект», главный редактор научно-технического журнала «Бионика интеллекта», ветеран войны и труда, заслуженный деятель науки и техники УССР, профессор, доктор технических наук.

Юрий Петрович пришел в наш вуз (в то время он назывался Харьковским горным институтом) в 1949 году, закончил его с отличием по специальности «горная электромеханика». В 1959 году защитил под руководством заведующего кафедрой горной механики чл.-корр. АН УССР проф., докт. техн. наук Павла Петровича Нестерова кандидатскую диссертацию, в которой разработал высокопроизводительную систему безуровневого многоканатного рудничного подъема, впоследствии использовавшуюся для глубоких шахт Советского Союза и других стран.

В 1950-62 годах Юрий Петрович, опираясь на труды родоначальника современной науки Рене Декарта, в качестве любителя знакомился с возникшей в то время бионикой интеллекта и пытался проводить в этой области научные исследования. В конце 1962 года наш ВУЗ изменил свой профиль, превратившись в Харьковский институт горного машиностроения, автоматики и вычислительной

## *Vixi et, quem dederat cursum fortuna peregi*

*(Я окончил жизнь и совершил путь,  
предназначенный мне судьбой)*

---

техники, и Юрий Петрович с марта 1963 года перешел на работу в должности старшего научного сотрудника на только что организованную кафедру промэлектроники и вычислительной техники, которую возглавил кандидат технических наук, доцент Александр Андреевич Волков. С июня того же года эта кафедра разделилась, и из нее выделилась кафедра вычислительной техники, которую возглавил Владимир Логвинович Рвачев, а Юрий Петрович стал доцентом этой кафедры. В то время он был в числе тех немногих ученых-подвижников нашего вуза, на плечи которых легла непростая задача налаживания подготовки кадров в области компьютеризации и информатизации.

Кафедра снова разделилась, и с 1966 по 1974 год Юрий Петрович работал заведующим кафедрой математического моделирования. Далее, снова после разделения кафедры, Юрий Петрович остался в должности профессора кафедры программного обеспечения ЭВМ, переименованную позже в кафедру программной инженерии. В 1963-68 годах он под руководством Владимира Логвиновича Рвачева подготовил докторскую диссертацию в области бионики интеллекта под названием «Математическое моделирование некоторых функций человеческого зрения», которую защитил в 1969 году в Институте кибернетики АН УССР по специальности «техническая кибернетика».

По ходатайству Министра высшего и среднего специального образования УССР в 1967 года в Харьковском институте радиоэлектроники был основан Всеукраинский научно-технический сборник «Проблемы бионики», который впоследствии был переименован в журнал «Бионика интеллекта». Инициаторами его создания были кафедра математического моделирования (зав. кафедрой, доц., канд. техн. наук Юрий Петрович Шабанов-Кушнаренко), кафедра физики (зав. кафедрой, доц., канд. биол. наук Василий Григорьевич Червов — проректор по учебной работе) и кафедра прикладной математики (зав. кафедрой, проф., докт. физ.-мат. наук Владимир Логвинович Рвачев — впоследствии академик АН УССР и чл.-корр. АН СССР).

Первым главным редактором журнала был Владимир Логвинович Рвачев, затем этот пост занимал чл.-корр. АН СССР, проф., докт. техн. наук Борис Степанович Сотсков – председатель секции бионики Совета по кибернетике при Президиуме АН СССР. Ответственным редактором журнала со дня его основания являлся Ю.П. Шабанов-Кушнаренко. Журнал «Бионика интеллекта» имеет статус ВАКовского издания, публикует статьи на трех языках (украинском, русском и английском).

Термин «бионика» образован из первой части слова «биология» и второй части слова «техника». Он выражает идею взаимосвязи живых систем с искусственными. Бионикой интеллекта называется физико-математическое учение о естественном интеллекте, в первую очередь человеческом, нацеленное на искусственное воспроизведение интеллекта техническими средствами. Бионика интеллекта изучает разум человека и животных, механизмы эволюции живых организмов, строение мозга, работу нейронов и образованных из них нейронных сетей, механизмы зрения, слуха, восприятия, речи, понимания, узнавания, принятия решений, оценивания и т. п. В практическом плане бионика интеллекта подводит научную базу для создания мозгоподобных структур.

Нельзя не вспомнить ежегодные научные конференции по психологической бионике, инициатором которых выступил в 1986 году Юрий Петрович. Такая конференция, проведенная впервые в 1987 году, стала ежегодно собирать ученых, теоретиков и практиков, работающих в области моделирования интеллектуальных функций человека: распознавания образов, обработки текстов, понимания и мышления, т.е. области, которая теперь уже с уверенностью может быть очерчена как бионика интеллекта. На эти конференции съезжались виднейшие ученые из Москвы, Ленинграда, Новосибирска, Минска, со всей Украины. Они укрепили позиции научной школы, расширили круги общения.

За время работы в ВУЗе Юрий Петрович подготовил ряд курсов лекций. К их числу относятся «Теория автоматического регулирования и электронная автоматика», «Основы вычислительной техники», «Электрическое моделирование», «Аналоговые вычислительные машины», «Цифровые вычислительные машины», «Арифметические и логические основы цифровых машин», «Цифровые модели», «Математическое моделирование», «Математическая логика», «Инженерная логика», «Дискретная математика», «Теория интеллекта», «Основы теории искусственного интеллекта»,

«Логический анализ», «Бионика интеллекта», «Основы научных исследований». Особенностью его лекций являлось то, что он излагал любой теоретический материал так, чтобы студенты видели научную тему в перспективе ее развития, стремились расширить свои горизонты знаний. Особенно увлекательны его лекции для аспирантов, построенные на знании технологии научных исследований и личном опыте.

Юрий Петрович за годы своей работы разработал и читал авторские курсы, и не только для родного вуза. В Харьковском национальном университете имени В.Н.Каразина в начале девяностых годов большим успехом пользовался разработанный Юрием Петровичем курс «Теория интеллекта». Для Национального технического университета «ХПИ» в 2004 году был специально разработан курс «Математические основы психологии», который был прочитан автором первому набору психологов, и был воспринят с огромным успехом, пониманием и благодарностью.

Начиная с 1963 года, Юрий Петрович участвовал в подготовке научных кадров. Им создана научная школа, в состав которой вошло больше 20 докторов и 200 кандидатов наук. Среди них – его научные «внуки» и «правнуки». Некоторые из его учеников создали собственные научные школы.

В свое время эта школа стала одной из первых в бывшем СССР, которая заложила теоретические основы применения искусственного интеллекта в вычислительной технике. Результаты в области алгебраизации логики, полученные в ходе бионических исследований, открывают заманчивые перспективы создания математических и электронных моделей механизмов, обнаруживаемых биологами в нейронных сетях мозга, которые могут быть использованы при протезировании органов чувств и движения, структур нервной системы человека. Научным коллективом разработан уникальный математический аппарат для моделирования широкого класса конечных детерминированных объектов – алгебра конечных предикатов. Этот математический аппарат с успехом используется для описания самых различных интеллектуальных процессов, в том числе для распознавания образов, принятия многокритериальных решений, синтеза и понимания речи, мозгоподобных структур, машинного обучения и эволюции.

*Редакционная коллегия  
научно-технического журнала  
«Бионика интеллекта»*

## ОБ АВТОРАХ

---

<b>Асеев Георгий Георгиевич</b>	58	д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой информационных технологий Харьковской академии культуры
<b>Ахназарянц Эльмира Левоновна</b>	62	канд. мед. наук, старший научный сотрудник отделения кардиоревматологии ГУ «ИОЗДП НАМН», г. Харьков
<b>Бодянский Евгений Владимирович</b>	86	д-р техн. наук, профессор кафедры искусственного интеллекта Харьковского национального университета радиоэлектроники
<b>Буряк Елена Юрьевна</b>	127	аспирант кафедры теории и практики перевода Харьковского гуманитарного университета «Народная украинская академия»
<b>Вечирская Ирина Дмитриевна</b>	41	канд. техн. наук, доцент кафедры информатики Харьковского национального университета радиоэлектроники
<b>Высоцкая Елена Владимировна</b>	62	канд. техн. наук, доцент, профессор кафедры биомедицинской инженерии Харьковского национального университета радиоэлектроники
<b>Гончаренко Мирослава Олеговна</b>	90	аспирантка кафедры информатики Харьковского национального университета радиоэлектроники
<b>Губанов Александр Вячеславович</b>	105	студент кафедры биомедицинской инженерии Харьковского национального университета радиоэлектроники
<b>Гуца Олег Николаевич</b>	109	канд. техн. наук, доцент кафедры экономической кибернетики и управления экономической безопасностью Харьковского национального университета радиоэлектроники
<b>Дрофа Виктория Александровна</b>	100	аспирант кафедры компьютерных наук Сумского государственного университета
<b>Дуплий Диана Ростиславовна</b>	105	канд. биолог. наук, научный сотрудник лаборатории патофизиологии Института патологии позвоночника и суставов им. Ситенко, врач-электромиографист, г. Харьков
<b>Дяченко Владислав Александрович</b>	35	ассистент кафедры ЭВМ Харьковского национального университета радиоэлектроники
<b>Ельчанинов Дмитрий Борисович</b>	109	канд. техн. наук, доцент кафедры информатики и интеллектуальной собственности Национального технического университета «Харьковский политехнический институт»
<b>Ефименко Татьяна Михайловна</b>	100	аспирант кафедры компьютерных наук Сумского государственного университета
<b>Жемчужкина Татьяна Владимировна</b>	105	канд. техн. наук, доцент кафедры биомедицинской инженерии Харьковского национального университета радиоэлектроники
<b>Жолткевич Григорий Николаевич</b>	62	д-р техн. наук, профессор, декан механо-математического факультета Харьковского национального университета имени В. Н. Каразина
<b>Ивашенко Георгий Станиславович</b>	95	аспирант кафедры электронных вычислительных машин Харьковского национального университета радиоэлектроники
<b>Кораблев Николай Михайлович</b>	95	д-р техн. наук, профессор кафедры ЭВМ Харьковского национального университета радиоэлектроники
<b>Котульский Игорь Владимирович</b>	105	канд. мед. наук, заведующий лабораторией патофизиологии Института патологии позвоночника и суставов им. Ситенко, г. Харьков
<b>Колтун Юрий Николаевич</b>	113	канд. техн. наук, доцент кафедры сетей связи Харьковского национального университета радиоэлектроники
<b>Кривошеев Константин Валериевич</b>	81	аспирант кафедры экономической кибернетики Восточноукраинского национального университета имени Владимира Даля, г. Северодонецк
<b>Лазаренко Ольга Владимировна</b>	127	канд. техн. наук, доцент, заведующая лабораторией когнитивной лингвистики Харьковского гуманитарного университета «Народная украинская академия»

<b>Левыкин Виктор Макарович</b>	31	д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой информационных управляющих систем Харьковского национального университета радиоэлектроники
<b>Михаль Олег Филиппович</b>	35, 52, 67	д-р техн. наук, профессор кафедры ЭВМ Харьковского национального университета радиоэлектроники
<b>Носов Константин Валентинович</b>	62	канд. физ.-мат. наук, научный сотрудник Харьковского национального университета имени В. Н. Каразина
<b>Носова Татьяна Витальевна</b>	105	канд. техн. наук, доцент кафедры биомедицинской инженерии Харьковского национального университета радиоэлектроники
<b>Носова Яна Витальевна</b>	105	инженер кафедры биомедицинской инженерии Харьковского национального университета радиоэлектроники
<b>Омаров Мурад Анверович</b>	74	д-р техн. наук, профессор, директор центра подготовки иностранных граждан Харьковского национального университета радиоэлектроники
<b>Панченко Дмитрий Игоревич</b>	127	канд. филол. наук, доцент кафедры теории и практики перевода Харьковского гуманитарного университета «Народная украинская академия»
<b>Перова Ирина Геннадьевна</b>	86	канд. техн. наук, старший научный сотрудник, доцент кафедры биомедицинской инженерии Харьковского национального университета радиоэлектроники
<b>Подпружников Петр Михайлович</b>	113	директор Центра научно-технического творчества молодежи Харьковского национального университета радиоэлектроники
<b>Радченко Вячеслав Алексеевич</b>	113	старший преподаватель кафедры ЭВМ Харьковского национального университета радиоэлектроники
<b>Рак Лариса Ивановна</b>	62	д-р мед. наук, ведущий научный сотрудник отделения кардиоревматологии ГУ «ИОЗДП НАМН», г. Харьков
<b>Табакова Ирина Станиславовна</b>	116	ассистент кафедры медиасистем и технологий Харьковского национального университета радиоэлектроники
<b>Тарануха Ольга Алексеевна</b>	113	канд. мед. наук, доцент кафедры офтальмологии Харьковского национального медицинского университета
<b>Тимофеев Владимир Александрович</b>	109	д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой экономической кибернетики и управления экономической безопасностью Харьковского национального университета радиоэлектроники
<b>Токарев Владимир Владимирович</b>	113	канд. техн. наук, доцент кафедры ЭВМ Харьковского национального университета радиоэлектроники
<b>Трубицин Алексей Алексеевич</b>	74	инженер кафедры проектирования и эксплуатации электронных аппаратов Харьковского национального университета радиоэлектроники
<b>Хамитов Тимур Маратович</b>	41	магистр кафедры программной инженерии Харьковского национального университета радиоэлектроники
<b>Цехмистро Роман Иванович</b>	74	канд. физ.-мат. наук, доцент кафедры специализированных компьютерных систем Украинского государственного университета железнодорожного транспорта, г. Харьков
<b>Чалая Оксана Викторовна</b>	31	канд. эконом. наук, доцент кафедры информационных управляющих систем Харьковского национального университета радиоэлектроники
<b>Щавинский Юрий Витальевич</b>	120	доцент кафедры ракетных войск и артиллерии Национальной академии сухопутных войск, г. Львов

## 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, заголовок, відомості про авторів, анотація, ключові слова, вступ, основний текст статті, висновки, список використаної літератури.

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 (210x297 мм), поля: верхнє – 25 мм, нижнє – 20 мм, ліве, праве – 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 4 до 12 сторінок (мови: російська, українська, англійська).

УДК друкується з першого рядка, без відступів, вирівнювання по лівому краю.

*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.

*Анотацію* (мовою статті, абзац 4-10 рядків, кегль 9) розміщують на початку статті, в ній має бути розміщена інформація про результати описаних досліджень.

*Ключові слова* (4-10 слів з тексту статті, які з точки зору інформаційного пошуку несуть змістовне навантаження) наводять мовою рукопису, через кому в називному відмінку, кегль 9.

*Рисунки та таблиці* (чорно-білі, контрастні) розміщуються у тексті після першого посилання у вигляді окремих об'єктів і нумерують арабськими цифрами наскрізно 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 .tiff, .jpg, .wmf, .cdr із розділенням 300 dpi. Рисунки мають міститися у текстовому файлі й обов'язково

подаватися окремим файлом з відповідною назвою (наприклад, Рис.1.cdr).

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 малюнком), 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 або Microsoft Equation. 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, укладені у квадратні дужки, друкують без абзацного відступу, кегль 9 пт, відступ зверху – 6 пт.

Після списку літератури з відступом зверху 6 пт зазначають дату подання статті до редколегії. Число та місяць задають двозначними числами через крапку. Розмір шрифта – 9 пт, курсив, вирівнювання по правому краю.

*Реферати* (Times New Roman, кегль – 9 пунктів, 3-4 речення) подають російською та англійською мовами. Реферат не повинен дублювати текст анотації.

Разом із рукописом (на аркушах білого паперу формату А4 щільністю 80-90 г/м<sup>2</sup>, надрукованим на лазерному принтері, у 2-х примірниках) необхідно подати такі документи:

1. Заяву, яку повинні підписати всі автори.
2. Акт експертизи про можливість опублікування матеріалів у відкритому друці.
3. Рецензію, підписану доктором наук.
4. Відомості про авторів.
5. Електронний варіант рукопису, реферату та відомостей про авторів.
6. Оплату за публікацію.

Необхідно також зазначити 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

## INSTRUCTIONS for authors of manuscripts of the scientific journal «BIONICS OF INTELLIGENCE»

---

The scientific journal “Bionics of intelligence” accepts for publication original manuscripts which have not been published earlier. The manuscript structure should be as follows: Universal Decimal Classification (UDC) title, authors’ initials and surname (in alphabetical order), abstract, key words, introduction, main text, conclusions, references.

According to the Editorial board resolution, based on the Presidium Convention of Ukraine’s Supreme Attestation Committee of 15.01.2003 №7-05/1 (Bulletin of Supreme Attestation Committee, №1, 2003, p. 2) manuscripts must have the following required elements: introduction (general statement of a problem and its relation to important scientific and practical tasks; analysis of recent research, publications and highlighting of unsolved parts of the general problem in the given field); formulating aims and tasks of research; presentations of the main research material with full substantiation of scientific results obtained; conclusions and perspectives of further research in the given field.

Manuscripts should be submitted in Microsoft Word. Page format - A4 (210x297mm), margins: top – 25mm, bottom – 20mm; left, right – 17mm. Double column format with 5mm spacing, font – Times New Roman, font size – 10 points, line spacing – multiplier (1,1), indentation – 6mm. The manuscript should be from 4 to 12 pages (languages: Russian, Ukrainian, English).

The UDC is published from the first line, without indentation, the alignment is by a left edge. The title is in capital letters; the type is medium bold-faced Roman; type size 12. The names of sections are of extra bold type and numbered in Arabic figures. There are indentions for the names of manuscripts, initials and surnames of authors, information about authors, the names of sections, introduction and conclusions, references: top – 6 pt; bottom – 3 pt.

An abstract (in the language of a manuscript, an indentation is made up of 4-10 lines; type 9) is in the beginning of an article and contains information about the results of described studies.

Key words (4-10 words from the text of an article, which from the point of view of information search bear sense in the language of a manuscript, by way of a comma in nominative case, type 9).

Figures and tables (black-and-white, sharp and of good quality) should be in a text after a first reference in the form of embedded item and numbered separately by Arabic numerals in case of more than one item. All legends of figures and tables, including inscriptions, must be grouped. All inscriptions in figures and tables must be in Times New Roman, font size in figures – 10, in

tables – 9. A table title is to the right above the table (font size – 9). The figure should contain a centered figure legend (outside a figure), font size 9, in the centre, top and bottom indentions – 6pt. The figure width must agree with the column width (or page width).

Equations, symbols, variables should be submitted in Math Type (Equation). Equations are centered and numbered in case of references in the text. The font – Times New Roman. The size of variable – 10 points, superscript and subscript characters – 8 pt, a main math. symbol – 12 (10) pt. Variables, designated by Latin letters, should be italicized; Greek letters, abbreviations of Russian words and figures should be set in Roman type. Variables which are in the text are also submitted in Math Type (Equation).

References, submitted to the state standards, include published sources that are referred to in the main text in square brackets, without an indentions, 9pt., top indentation – 6 pt.

The date of receiving an article by the Editorial board is designated after the references with top indentions – 6 pt. Date and month should be given in numbers by way of a full stop. The font size – 9 pt, italic type, alignment should be done on the right edge.

Abstracts should be submitted in two languages: Ukrainian and Russian (Times New Roman, 9 pt, 3-4 sentences). The text of a resume must not duplicate an abstract.

The following documents must be submitted together with a manuscript:

1. An application of the following form signed by all the authors:

”You are kindly requested to accept the paper (authors’ full names and the name of an paper should be indicated) in ..... pages (the number of pages should be indicated) for publication in the scientific journal “Bionics of intelligence”. We guarantee the payment.

Information about the authors (surname, first name and patronimic of each authors, place of work, degree, academic status, contact telephone, mailing and electronic addresses should be indicated).

Signatures of authors”.

2. The text of a manuscript on A4 format white color sheets of 80-90gr/m2 density typed on a laser printer.

3. A certificate of expertise about a possibility of having the materials published in the press.

4. A review signed by a doctor of sciences.

5. Information about the authors.

6. An electronic variant of a manuscript, an abstract and information about the authors (on a 3.5” diskette or by electronic mail).

7. A receipt of payment for publication.

**АЛГЕБРО-ЛОГІЧНІ ЗАСОБИ МОДЕЛЮВАННЯ ПРИРОДНОЇ МОВИ**

Проведено аналіз алгебро-логічної структури природної мови. Розглянуто концептуально-методолгічний 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

**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  $T$ .

**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.

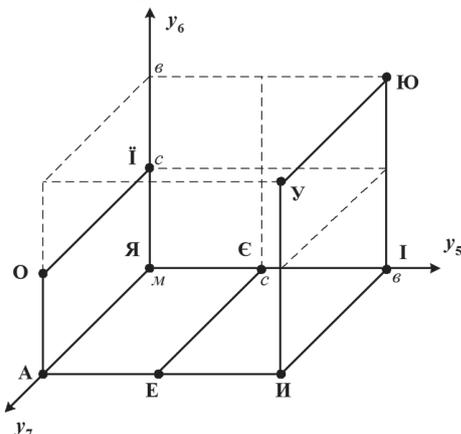


Рис. 1. Тривимірний простір ознак для голосних фонем

**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:**

*Надійшла до редколегії 15.02.2012*

УДК 519.62

**Алгебро-логические средства моделирования естественного языка** / Г.Г. Четвериков, И.Д. Вечирская // Бионика интеллекта: науч.-техн. журнал. – 2007. – № 1 (66). – С. 00-00.

В статье рассматриваются перспективные направления развития современных цифровых устройств, сетей и систем. Утверждается, что развитие средств вычислительной техники является основой автоматизации умственной деятельности человека.

Ил. 5. Библиогр.: 7 назв.

UDK 519.7

**Algebra-logical tools of modeling natural language** / G.G. Chetverikov, I.D. Vechirskaya // Bionics of Intelligence: Sci. Mag. – 2007. – № 1 (66). – С. 00-00.

In article the perspective directions of modern digital devices, networks and systems development are considered. The carried out analysis shows means of computer facilities development is a baseline of automation of the man intellectual activity.

Fig. 5. Ref.: 7 items.

Видавництво здійснює остаточне форматування тексту відповідно до вимог друку.

**Адреса редакції:**

Україна, 61166, м.Харків, пр. Леніна 14, ХНУРЕ к.127, тел. 702-14-77, факс 702-10-13, e-mail: ira\_se@list.ru

*Наукове видання*

**БІОНІКА ІНТЕЛЕКТУ**  
**інформація, мова, інтелект**

Науково-технічний журнал

№ 2 (85)

2015

Головний редактор — **Ю. П. Шабанов-Кушнарєнко**

Зам. головного редактора — *Г. Г. Четвериков*

Відповідальний редактор — *І. Д. Вечірська*

Комп'ютерна верстка — *О. Б. Ісаєва*

Рекомендовано Вченою Радою  
Харківського національного університету радіоелектроніки  
(протокол № 7 від 03.07.2015 р.)

**Адреса редакції:**

Україна, 61166, Харків-166, просп. Леніна, 14,  
Харківський національний університет радіоелектроніки, к. 127  
тел. 702-14-77, факс 702-10-13,  
e-mail: ira\_se@list.ru

---

Підписано до друку 08.07.2015. Формат 60 x 84 <sup>1</sup>/<sub>8</sub>. Друк ризографічний.  
Папір офсетний. Гарнітура Newton. Умов. друк. арк. 16,0. Обл.-вид. арк. 15,8.  
Тираж 100 прим. Зам. № .

Надруковано в навчально-науковому видавничо-поліграфічному центрі ХНУРЕ  
61166, Харків-166, просп. Леніна, 14