

М. Ф. БОНДАРЕНКО, С. И. МАТОРИН, О. А. НЕСТЕРЕНКО,
Е. А. СОЛОВЬЕВА

СИСТЕМОЛОГИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ КОНЦЕПТУАЛЬНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ СЛАБОСТРУКТУРИРОВАННЫХ ПРОБЛЕМНЫХ ОБЛАСТЕЙ НА ОСНОВЕ ЕСТЕСТВЕННОЙ КЛАССИФИКАЦИИ

В настоящее время значительно возросла необходимость решения сложных слабоформализованных задач в самых различных областях человеческой деятельности. К таким областям относится, например, обеспечение устойчивого развития общества (sustainable development), которое становится все более и более проблематичным в связи с усилением воздействия человека на окружающую среду, вызванным возрастанием масштабов и интенсивности хозяйственной деятельности в современных условиях. Одним из конкретных выражений этой проблемы является постоянный рост числа чрезвычайных ситуаций (ЧС), уносящих жизни большого количества людей, приводящих к колоссальным материальным затратам, и увеличение их разрушительного эффекта. Например, по данным Министерства Украины по вопросам чрезвычайных ситуаций (МЧС), с 1995 года по 1998 год число ЧС техногенного характера увеличилось со 111 до 713, а природного – с 28 до 424. Причем число погибших в результате ЧС в 1998 году возросло по сравнению с 1997 годом на 11,3%, а число пострадавших – на 59,5% [1].

Задача предотвращения и ликвидации ЧС связана с анализом слабоструктурированных проблемных областей (ПО), прогнозированием изменения состояния систем в динамических естественных условиях. Таким образом, решение этой актуальной задачи требует привлечения современных системных методов и новых интеллектуальных информационных технологий. Данное обстоятельство приводит к необходимости разработки методов анализа и моделирования сложных систем произвольной, в том числе естественной (первой) природы, относительно которых, как правило, не известны их роль в системе более высокого порядка (надсистеме), функциональное назначение (целевая функция) и, следовательно, их сущностные свойства.

Для решения подобных задачи разработан и развивается новый системологический когнитивный подход и инструментарий, основанные на системологии и понятии систем-классов, или внешних систем, позволяющие анализировать функциональные существенные свойства и прогнозировать динамику развития сложных систем произвольной

природы [2]. Названные подход и инструментарий уже применены для решения различных задач. В частности, разработан системологический когнитивный метод концептуального классификационного моделирования произвольных, в том числе слабоструктурированных, ПО для баз знаний, баз данных и систем искусственного интеллекта. Выявлены закономерности когнитивных структур с учетом данных когнитологии, психологии, нейропсихологии, психолингвистики и т.д.

Это позволило исследовать классификацию, в том числе естественную, как особый метод когнитивного моделирования. Построена математическая модель естественной классификации (ЕК) с применением теории категорий; впервые предложены опрациональные критерии и формальный критерий ЕК, обобщающий все известные сильные и слабые критерии естественности, задача получения которого была поставлена еще 150 лет назад [3 – 6]. С практической точки зрения это обеспечило создание системологического классификационного анализа, использующего метод концептуального моделирования (КМ) слабоструктурированных ПО на основе ЕК.

КМ на основе ЕК стало возможным не только в результате определения основных закономерностей и критериев ЕК, но также в результате создания нового научного направления – системологии систем-классов [7, 8]. С точки зрения системологии большое значение для КМ имеет развиваемый в рамках так называемого *детерминантного подхода* – детерминантный анализ, основное назначение которого заключается в определении надсистемы исследуемой системы и функционального запроса к системе, т. е. ее целевой функции и причины возникновения [8 – 11]. Если причина возникновения системы в некоторой ПО может быть установлена своими специфическими средствами, то применение детерминантного подхода в интересах КМ предполагает анализ системы с точки зрения определения:

- запроса надсистемы на данную систему с определенной функцией (*внешней детерминанты*);
- потенциально пригодного *исходного материала* для формирования данной системы и выполнения требуемой функции;
- процесса превращения исходного материала для данной системы в систему как субстанцию соответствующей надсистемы, т. е. *становления* данной системы и ее *адаптации* к запросу надсистемы;
- функции данной системы в надсистеме, соответствующей запросу надсистемы (*внутренней детерминанты*).

Результаты подобного анализа обеспечивают получение знаний соответственно о причине и условиях возникновения системы с определенными свойствами, о динамике процесса становления данной системы, а также о следствии ее возникновения и функционирования.

Рассмотрим кратко методологические основания данного подхода. Системология обеспечивает исследование любого объекта как системы с учетом меры его системности. При этом под системой понимается функциональный объект, функция которого детерминирована потреб-

ностями надсистемы, в которой система имеет определенные место и роль. Причем система рассматривается не просто как объект, но как динамический объект вместе с процессом своего возникновения, становления и функционирования [7, 9]. Причиной возникновения и вполне определенного функционирования системы является потребность надсистемы, ее функциональный запрос, который определяет выбор потенциально пригодного для выполнения требуемой функции исходного материала и становится внешней детерминантой возникающей системы. После принятия в соответствующий узел надсистемы выбранного исходного материала он превращается в субстанцию надсистемы, т. е. становится собственно системой, имеющей требуемую функцию, поддерживающую функционирование надсистемы.

Система со своими функциональными свойствами, таким образом, есть следствие наличия функционального запроса надсистемы на систему с определенной функцией. Причем в процессе функционирования системы в надсистеме ее функция (текущая внутренняя детерминанта) будет постепенно все более и более приближаться к функции (предельной внутренней детерминанте), задаваемой внешней детерминантой, т. е. запросом надсистемы. Степень этого приближения может быть количественно оценена мерой системности [8], характеризующей степень адаптированности системы к запросу надсистемы. Следовательно, при установившемся процессе внутренней детерминанты системы согласуется с ее внешней детерминантой.

В случае рассогласования внешней (запроса надсистемы) и внутренней (функции системы) детерминанты системы возникает ситуация, которая может развиваться следующими путями. Во-первых, данная система может начать эволюционировать и выступить в роли исходного материала, если, например, произошло изменение внешней детерминанты системы и к ней теперь предъявляются новые требования. При этом надсистема должна быть достаточно устойчива для того, чтобы какое-то время выполнять свою функцию без надлежащей поддержки со стороны данной системы [9, 11]. Во-вторых, данная система может оказаться неподходящим исходным материалом (для старого или нового запроса надсистемы) и тогда надсистема будет стремиться избавиться от нее для того, чтобы включить в себя другой потенциально пригодный исходный материал. Если при этом надсистема не в состоянии выполнять свою функцию без поддержки со стороны данной системы, а новый исходный материал или отсутствует в резерве, или не может быть использован из-за недостатка времени, то мы имеем ситуацию, при которой система, как непригодный исходный материал устраняется, но вместе с ним разрушается и надсистема. Эта ситуация на практике и представляет собой *чрезвычайную*.

Полученные результаты и многолетний опыт построения классификаций позволили развить и усовершенствовать известные методики КМ, в первую очередь на основе учета закономерностей ЕК и применения в КМ методов системологического анализа. Опишем кратко разра-

ботанный метод системного классификационного анализа для построения ККМ на основе ЕК, учитывающий операциональные критерии ЕК и детерминантный подход к анализу ПО:

1. Системологический терминологический анализ ПО.

- Выделение совокупности терминов, обозначающих понятия данной ПО.
- Преобразование выделенной совокупности терминов в терминосистему:
 - обеспечение полноты системы понятий (СП), т. е. наличия родо-видовых определений для всех видовых, родовых понятий и понятий видовых отличий данной ПО;
 - обеспечение функциональности СП, т. е. отражения в определениях понятий функциональных свойств систем ПО (в родовом понятии – надсистемы данной системы, в видовом отличии – функционального свойства системы в надсистеме, в видовых понятиях – поддерживающих свойств системы);
 - обеспечение связности СП, т. е. соответствия родо-видовых отношений между понятиями родо-видовым отношениям между их видовыми отличиями.
- Оптимизация терминосистемы, т. е. устранение пересечений, противоречий и пробелов.

2. Системологический концептуальный анализ ПО.

- Выделение неопределяемого понятия о надсистеме, общих понятий и единичных понятий данной ПО.
- Определение функциональных свойств систем ПО, существенных с точки зрения выделенной надсистемы ПО.
- Установление иерархических отношений поддержания функциональной способности целого между системами ПО.

3. Системологический классификационный анализ ПО.

- Выбор основания построения классификационной схемы.
- Построение классификации систем ПО изоморфной классификации их свойств, находящихся в отношении поддержания функциональной способности целого.

Для примера рассмотрим процесс КМ на основе ЕК в ПО «Чрезвычайная ситуация». Имеемые на сегодняшний день классификации ЧС как и большинство классификаций других ПО построены без применения не известных ранее системологических методов и критериев ЕК, что не позволяет их использовать не только для выработки рекомендаций при ликвидации последствий ЧС, но и для их анализа и предупреждения. В результате моделирования должна быть построена ККМ ЧС (ЕК ЧС).

ЧС – сложный естественный динамический процесс. Модель или классификация ЧС требуется не только и не столько для сбора статистической информации о ЧС сколько для оценки обстановки и принятия решений в ходе ликвидации ЧС. Совершенно очевидно, что для этого необходимы знания о причинах возникновения ЧС, ее послед-

ствиях и самом процессе ее развития. Кроме того знания о причинах и условиях возникновения ЧС необходимы для последующего анализа ЧС с целью предупреждения ее возобновления или повторения. Это требует, чтобы в основу методологии построения классификации ЧС или ККМ ЧС были положены ЕК и детерминантный подход.

Рассмотрим какая ККМ ЧС может быть получена, если проанализировать ПО ЧС системно с применением детерминантного подхода, а классификацию строить на основе естественной. С точки зрения детерминантного подхода, ЧС представляет собой динамическую систему, имеющую в качестве своей внешней детерминанты (причины) резкое рассогласование детерминант подпроцесса некоторого установившегося процесса в условиях отсутствия необходимого исходного материала, а в качестве своей внутренней детерминанты (следствия) – функцию нарушения данного установившегося процесса.

В качестве понятия-категории выберем понятие «Ситуация», которое в данном случае не будет иметь определения, но будет использоваться для определения понятия ЧС, которое будет являться вершиной иерархической ККМ. Анализ существующих определений ЧС, особенно определения [12], показывает, что в них в принципе потенциально учитывается необходимая с точки зрения детерминантного подхода информация о причине, последствиях и процессе развития ЧС. Этот анализ показывает, что:

- ЧС обусловлена *отрицательным влиянием* на природную среду и жизнедеятельность людей, что хорошо соотносится с разрушительной несогласованностью детерминант некоторого процесса, т. е. причиной (внешней детерминантой) возникновения ЧС.

- ЧС характеризуется резким нарушением *установившегося процесса*, что соответствует информации о роли, функции (следствии; внутренней детерминанте) ЧС в рамках некоторого процесса (надсистемы).

- ЧС требует применения *экстренных мер* для спасения людей и ликвидации ее последствий, что соотносится с информацией о процессе развития (становления) ЧС.

По нашему мнению классификация (ККМ) ЧС должна строиться по данным трем основаниям, так как классифицирование именно по этим аспектам обеспечивает приобретение необходимых знаний для анализа и выработки рекомендаций при ликвидации и предупреждении ЧС. Общий вид ККМ ЧС в виде трех дополняющих друг друга классификаций представлен на рисунке 1.

При построении классификации ЧС по каждому основанию (по каждому аспекту) необходимо использование предложенных операциональных критериев ЕК [6] для обеспечения максимальной естественности классификационной схемы в каждой плоскости классифицирования. Это необходимо потому, что любая искусственная классификация собственно знаний о ПО не выражает, это свойственно только ЕК [13]. Естественность классификации определяется, в первую очередь, ее параметричностью (интенциональностью) [14, 15], что соответствует

требованию построения ККМ ЧС в виде двух (как минимум) изоморфных классификаций, одна из которых является классификацией объектов, а другая классификацией свойств этих объектов [5].

Рассмотрим основные вопросы классифицирования ЧС по одному из выбранных оснований. ЕК ЧС по функциональному свойству «Отрицательное влияние», фрагмент которой изображен на рисунке 2, представляет собой ККМ ЧС, отражающую причины возникновения ЧС. Для обеспечения естественности данной классификационной схемы классификация самих ЧС строится на основании классификации отрицательных влияний, способных вызывать ЧС (причин), как изоморфная последней. При этом первоочередной, наиболее важной информацией для решения практической задачи ликвидации и предупреждения ЧС является информация о том, представляет ли собой причина ЧС зависящий от человека (управляемый человеком) процесс или она представляет собой неуправляемое человеком природное явление. Поэтому возможные отрицательные влияния разделены на два класса – «Стихийные бедствия» и «Человеческий фактор», в соответствии с которыми выделено два класса ЧС – «Природная ЧС» и «Антропогенная ЧС».

Дальнейшее классифицирование осуществляется в рамках этих двух классов по тому же самому основанию с соблюдением операциональных критериев ЕК. Данная классификация включает в себя и детализирует информацию о *характере* ЧС и связанную с ней информацию о *виде* ЧС в соответствии с системно-иерархическим классификатором ЧС (СИКЧС) ИК НАН и информацию о *группе* ЧС в соответствии с временной классификацией ЧС (ВКЧС) МЧС.

ЕК ЧС по функциональному свойству «Установившийся процесс», фрагмент которой изображен на рисунке 3, представляет собой ККМ ЧС, отражающую их последствия. Данная классификация включает в себя и детализирует информацию о *классе* и *типе* ЧС и связанную с ней информацию о *виде* ЧС в соответствии с СИКЧС и информацию о *типе* и *виде* ЧС в соответствии с ВКЧС.

ЕК ЧС по функциональному свойству «Экстренные меры», фрагмент которой изображен на рисунке 4, представляет собой ККМ ЧС, отражающую характер процессов их развития и принимаемых мер по их ликвидации. Данная классификация включает в себя и детализирует неохваченную предыдущими классификациями информацию о *виде* ЧС в соответствии с СИКЧС.

Для получения знаний о конкретной причине возникновения некоторой ЧС, о конкретных ее последствиях, а также о динамике процесса развития конкретной ЧС необходим детерминантный анализ ситуации в конкретной ПО. Рассмотрим преимущества ЕК ЧС на конкретном примере, представленном в таблице 1. Ввиду отсутствия официальных данных все данные, используемые в примере являются ориентировочными, используются для демонстрации метода и не претендуют на отражения реальных событий.

На данном примере хорошо видно, что существующие классификации ЧС не учитывают многие особенности ситуации, знание которых необходимо для принятия решений при ликвидации последствий ЧС или для их анализа с целью предупреждения. Подчеркнем, что эта информация не учитывается не только в данном примере. Она не может быть учтена в существующих классификациях в принципе, по причине их методологического несовершенства, так как они не могли быть основаны на системологическом классификационном анализе. Это обстоятельство делает существующие классификации практически непригодными для анализа ЧС с целью их предупреждения. В ЕК ЧС конкретные причины неисправности техники могут быть учтены с любой необходимой степенью точности и подробности.

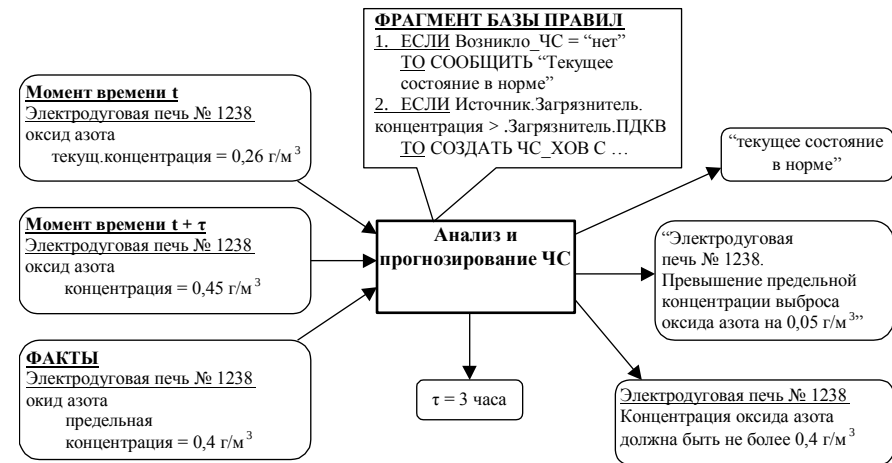
Кроме того, применение существующей классификации ЧС не дает информации о том, что же все-таки происходило на самом деле. Из классификации в данном случае не видно падал самолет или нет, каковы были разрушения и были ли пожары, хотя последнее совершенно очевидно (см. описание катастрофы: падение через 27 секунд после взлета, т. е. с полными баками горючего). Какие процессы были нарушены в следствии ЧС в данном примере использования существующей классификации также не показано, хотя этот момент является основным в определении ЧС. Таким образом, существующие классификации ЧС не могут быть эффективно использованы и при принятии решений в процессе ликвидации последствий ЧС.

Анализ ЕК ЧС (КМ ЧС) обнаруживает целый ряд ее преимуществ по сравнению с известными классификациями, проявляющихся в силу мощности методологических средств ее построения (системологический когнитивный подход, системный классификационный анализ, концептуальное классификационное моделирование на основе ЕК). Результаты сравнительного анализа представлены в таблице 2.

Рассмотренный пример показывает, что применение системологического когнитивного подхода и системологического классификационного анализа позволяет получить эффективный метод КМ слабоструктурированных ПО на основе ЕК.

Полученные результаты применены для создания **интеллектуальной системы экспертного анализа состояния окружающей среды, прогнозирования и предотвращения ЧС (ИСЭАПП)**, которая включает в себя следующие четыре подсистемы: подсистему поддержки базы знаний (БЗ), подсистему прогнозирования состояния окружающей среды (ОКС), подсистему планирования решения и подсистему управления моделями. ИСЭАПП выполняет анализ текущего состояния технического объекта, производит прогноз будущего состояния и в случае предполагаемого возникновения ЧС формирует возможные варианты по предотвращению ее возникновения, а также поддерживает процесс принятия решений по выбору оптимального природоохранного мероприятия. Пример работы системы представлен на рисунке 5.

Рис. 5 Тестовый пример работы интеллектуальной системы.



Разрабатываемая система выполняет следующие функции:

- моделирование объектов ПО и связей между ними;
- обеспечение интерфейса для ввода, дополнения и модифицирования информации об этих объектах;
- проведение анализа текущего состояния ОКС и прогнозирование её состояния в будущем с целью предотвращения ЧС;
- планирование решения по предотвращению и ликвидации ЧС.

Системологический когнитивный подход и системологический классификационный анализ использованы при создании ИСЭАПП на следующих этапах:

- при обосновании функциональной структуры системы;
- при моделировании ПО для создания БЗ;
- на этапе информационной подготовки решения (планирования решений) в подсистеме планирования решений;
- при проведении процесса принятия решений в подсистеме поддержки принятия решений.

Функции планирования и поддержки принятия решений на основании системологического подхода были реализованы в рамках системы на примере слабоструктурированной проблемы выбора оптимального природоохранного мероприятия (очистного сооружения) для предотвращения возможности возникновения ЧС прежде всего на объектах промышленного производства.

Поскольку область экологии является слабо структурированной с отсутствием объективных моделей для получения обобщенной оценки качества альтернатив по всему множеству необходимых критериев (экологических, экономических, технологических и т. п.) при выборе оптимального решения, все сложности этой задачи ложатся на человека – лицо, принимающее решение (ЛПР). Кроме того, одна из основ-

ных проблем, которая возникает при выборе множества критериев для принятия решений – это выбор именно тех критериев, которые не только будут соответствовать интересам и предпочтениям ЛПР, но и будут отражать сущность решаемой проблемы. Чтобы поддержать опыт и интуицию ЛПР, необходимо обеспечить их максимально объективной информацией. С этой целью БЗ ИСЭАПП должна содержать информацию об объектах ПО и их свойствах (в частности, альтернативах решения), выбранную не произвольным образом, а с помощью наиболее объективного метода классифицирования, т. е. на основании ЕК. Использование при создании БЗ методов КМ на основе ЕК позволяет уже на первом шаге принятия решения предоставить пользователю объективный список критериев, в котором в принципе исключена возможность потери какой-нибудь значимой характеристики.

Применение системологического когнитивного подхода и системологического классификационного анализа при создании программной системы показало их перспективность и высокую эффективность с точки зрения интеллектуализации экспертных систем и систем поддержки принятия решений.

Список литературы: 1. *Подрезов О.* Анализ чрезвычайных ситуаций на Украине за 1998 год // Чрезвычайная ситуация. - 1999.- №3.- С.42-51. 2. *Бондаренко М.Ф., Маторин С.И., Соловьева Е.А.* Анализ системологического инструментария концептуального моделирования проблемных областей // НТИ. Сер.2.-1996.-№4.- С. 1-11. 3. *Соловьева Е. А.* О принципах проектирования, структуре и свойствах состоятельной модели системы понятий // НТИ. Сер.2. 1990. N 4. С.2-8. 4. *Соловьева Е. А., Ельчанинов Д.Б., Маторин С.И.* Применение теории категорий к исследованию и моделированию естественной классификации // НТИ.Сер.2.- М.: ВИНТИ.-1999.-N 3. - С.1-7. 5. *Соловьева Е.А.* Математические и системологические основания естественной классификации // НТИ.Сер.2.- М.: ВИНТИ.-1999.-N 8.- С. 2-9. 6. *Соловьева Е. А.* О математическом моделировании системы понятий, методе и критериях естественной классификации // НТИ.Сер.2. 1991. N 4.С.1-10. 7. *М. F. Bondarenko, S. I. Matorin and E. A. Solov'eva* "Analysis Of Systemological Tools For Conceptual Modeling Of Application Fields" // Automatic Document and Mathematical Linguistics. Allerton Press, Inc., New York, 1996, Vol. 30, No. 2. P.33-45. 8. *Бондаренко М. Ф., Соловьева Е. А., Маторин С. И.* Основы системологии / Учебно пособие. Харьков: ХТУРЭ, 1998. 118с. 9. *Разработка* подсистемы лингвистического обеспечения АИС документально-фактографического типа в области материаловедения: Отчет о НИР / Спец. конструкт.-технол. бюро информ. систем Ин-та пробл. Материаловедения (СКТБ ИС ИПМ) АН УССР; Руководитель Г.П. Мельников; № ГР 01.86.0103243. М., 1986. 452 с. 10. *Маторин С.И.* Детерминантный анализ системы переработки информации человека // Проблемы бионики.– 1998.– №49.– С.72-80. 11. *Мельников Г.П.* Системология и языковые аспекты кибернетики. М.: Сов. радио, 1978. 368 с. 12. *Методология* конструирования системно-иерархического классификатора чрезвычайных ситуаций / *Белов В.М., Выходцев В.Р., Гриценко В.И., Кибикин В.Е., Котов А.Б., Кифоренко С.И., Волков Ю.Н., Пустовойт О.Г.* – Киев, 1998.- 32с.- (Препр./ НАН Украины, Междунар. науч.- уч. Центр информ. технологий и систем; 98-1). 13. *Розова С.С.* Классификационная проблема современной науки.- Новосибирск: Наука, 1986.- 224с. 14. *Мейен С.В., Шрейдер Ю.А.* Методологические аспекты теории классификации // Вопросы философии.- 1976.- №12.- С.67-79. 15. *Цаленко М.И.* Моделирование семантики в базах данных.- М.: Наука, 1989.- 288с.

Поступила в редколлегию 15. 05. 99г.