

Структурный паттерн онтологического проектирования на основе трехмерной классификации

С.И. Маторин , e-mail: matorin@bsu.edu.ru, АО «СофтКоннект»

С.В. Гуль, e-mail: medintseva@bsu.edu.ru, Национальный исследовательский университет «Белгородский государственный университет»

Введение

Обзор литературы по искусственному интеллекту показывает, что одной из важнейших проблем, решаемых в рамках данного научно-практического направления, является проблема представления знаний в компьютерных (информационных) системах [1]. В настоящее время разработаны десятки способов представления знаний, однако, до конца решить задачу обеспечения осмысленной обработки представляемых знаний и их однозначной интерпретации программными системами, пока, не удалось. При этом набирает все большую популярность способ представления знаний в виде онтологии, который по мнению многих ученых, обладает большими возможностями для решения упомянутой задачи [2]. Системы, в которых знания представлены в виде онтологий в настоящее время широко распространены и используются во многих отраслях науки и практики в рамках онтологического инжиниринга.

По сути дела, любая онтология некоторой предметной области (ПрО) представляет собой концептуальную классификационную модель (ККМ) этой ПрО. При этом под концептуализацией понимается представление предметной области через описание множества понятий (концептов) предметной области и связей между ними [3]. Например, в работе [4] утверждается, что вполне естественно отождествлять концептуальные модели ПрО с онтологиями. В работе [5] подчеркивается, что «онтология ПрО - это концептуальная модель реального мира и ее понятия должны отражать эту реальность». При этом уточняется, что «вершиной онтографа должно быть родовое понятие, которое не имеет надкласса, а нижний уровень представляют собой конкретные понятия, т. е. понятия, не имеющие видовых понятий в заданной ПрО». [5, с.6-7]. Автор работы [6] однозначно считает, что создание системы классификации понятий является приоритетной задачей при построении онтологий для слабо формализуемых предметных областей.

Несмотря на упомянутую выше перспективность онтологических моделей, они также не лишены недостатков, касающихся их разработки и эксплуатации. В специальной литературе приводятся, например, следующие:

1. Разработка онтологий ПрО является сложным и трудоемким процессом [7-9].
2. Не существует очевидного способа классификации понятий реального мира и выделения базисных понятий. А также не существует объективных способов оценки создаваемой онтологии [6].
3. Недостаточно проработаны вопросы ограничения предметной области для онтологии; построения определений терминов, отвечающее задачам онтологии; определения объема и содержания контекста, необходимого для понимания выделенного термина (понятия); наращивания онтологии при расширении предметной области без кардинальной её перестройки [10].
4. «Методологии структурного анализа и различные технологии инженерии знаний в общем случае не предлагают систематической процедуры или формализма, позволяющего «вывести» структуру понятий и отношений ПрО из доступных о ней данных» [11, с. 62].
5. Пренебрежение закономерностями системного анализа снижает качество онтологических моделей [12].

Следствием упомянутых недостатков онтологического моделирования является слабая связь между потребностями предприятий и организаций и существующими технологиями онтологического инжиниринга. В следствии чего растущий интерес к вопросам инженерии знаний тормозится сложностью разработки практически-направленных онтологий [13].

Таким образом, сложившаяся в настоящее время ситуация с онтологическим моделированием свидетельствует об актуальности разработки способа построения ККМ ПрО, как основы онтологии, с использованием системного подхода. При этом авторы считают, что из всех разновидностей системного подхода наиболее перспективным является системно-объектный подход [14].

Трехмерная ККМ

Для построения ККМ ПрО авторы предлагают использовать идеи многомерного классифицирования [15] и естественной классификации [16] усовершенствованные с помощью системно-объектного подхода.

В рамках системно-объектного подхода, система рассматривается как триединая конструкция «Узел-Функция-Объект» [14], где:

- **узел** — структурный элемент надсистемы в виде перекрестка связей данной системы с другими системами, который представляет собой функциональный запрос надсистемы на систему с определенной функцией (внешнюю детерминанту);
- **функция** — динамический (функциональный) элемент надсистемы, выполняющий определенную роль с точки зрения поддержания надсистемы путем балансирования связей данного узла (внутренняя детерминанта, т.е. то что определяет внутреннюю структуру и субстанцию системы);
- **объект** — субстанциальный элемент надсистемы, реализующего данную функцию в виде некоторого материального образования, обладающего конструктивными, эксплуатационными и т. д. характеристиками (результат адаптации исходного материала).

Подход «Узел – Функция – Объект» (УФО-подход) позволяет рассматривать любую систему или предметную область как совокупность взаимодействующих элементов «Узел-Функция-Объект» (УФО-элементов), так как любое явление действительности представляет собой структурную часть еще более целого (взаимодействует с другими явлениями); функционирует определенным образом и при этом является каким-то объектом. Отдельные аспекты такого представления системы могут быть проинтерпретированы, например, как показано ниже в таблице 1.

Таблица 1 - Интерпретация элементов «Узел-Функция-Объект»

Узел	Внешняя детерминанта	Причина	Потребность	Требования (Задание)	Интенция
Функция	Внутренняя детерминанта	Становление/ формирование/ адаптация	Возможность	Проектирование	Потенция
Объект	Результат	Следствие	Деятельность	Реализация	Экстенция

Важным обстоятельством, в данном случае, является очевидная ортогональность трех аспектов УФО-подхода, так как они обладают свойствами непересекаемости и неперекрываемости содержимого элементов, образующих целостную систему [<https://kartaslov.ru/>]. При этом в идее многомерного классифицирования как раз и заложена ортогональность классификационных признаков [15]. Однако, в последней работе предполагается, что эти признаки располагаются по осям координат. В нашем же случае будут использоваться три ортогональные плоскости, в каждой из которых расположена классификация одной и той же предметной области по признаку, соответствующему одному из аспектов УФО-подхода. А (Причина) - по видам функционального запроса (внешней детерминанты). В (Становление) - по видам осуществляемых процессов (внутренняя детерминанта). С (Следствие) - по видам полученных результатов.

Ниже в таблице 2 приведены примеры ортогональных плоскостей классифицирования для некоторых предметных областей.

Таблица 2 - Примеры ортогональных плоскостей классифицирования

	Плоскость классифицирования		Чрезвычайная ситуация	Право-нарушения	Медицин-ская диагнос-тика
Узел	A	Причина	Отрицательное влияние	Мотив	Жизненные обстоятель-ства
Функция	B	Становление / адаптация	События / что происходит / принимаемые меры	Следствен-ные действия / алиби	Течение заболевания / лечение
Объект	C	Следствие	Что нарушено	Пострадавшие / доказательства	Диагноз

Каждая классификация в плоскости классифицирования обладает следующими особенностями, соответствующими идее построения классификаций с признаками естественности [16]. Во-первых, классификация иерархическая, т.е. представляет собой граф типа дерево. Во-вторых, граф классификации имеет одну вершину. При этом данная вершина у всех трех классификаций общая, так как осуществляется классифицирование одной и тоже ПрО по трем различным (ортогональным) основаниям. В-третьих, граф классификации состоит из двух частей: классификации объектов (понятий о классах объектов) и классификации свойств этих объектов (понятий о классах свойств этих объектов), которые представляют собой видовые отличия в определении понятий об объектах. Эти две классификации изоморфны друг другу, что определяет параметричность классификации в целом [16]. В-четвертых, классы в классификации представляют собой системы (системы-классы [14]) и отношения между ними не формальные, а содержательный, системные. Это обусловлено тем, что в классификации свойств объектов класс свойств видового объекта (понятия, системы-класса) является видом класса свойств родового объекта (понятия, надсистемы-класса), т.е. свойства вида являются поддерживающими для свойств рода.

Без привязки к конкретным предметным областям разрабатываемая графовая структура ККМ выглядит как показано на рисунке 1. На данном рисунке А, В и С - плоскости классифицирования, в каждой из которых размещена одна иерархическая классификация с одной вершиной: по видам функционального запроса, причин (А), по видам осуществляемых процессов, становления и адаптации (В) и по видам получаемых результатов, следствий (С). Они, естественно, могут отличаться по своей структуре. Закрашенный треугольник в центре пересечения осей - общий для трех классификаций самый абстрактный класс в моделируемой предметной области, не имеющий родового понятия (надкласса). Закрашенные кружки - классы объектов предметной области (системы-классы), не закрашенные кружки - классы свойств этих объектов (свойства-классы). Как видно из рисунка, граф классификации свойств объектов изоморфен графу классификации объектов. Закрашенный кубик - явление (система-явление), которое классифицируется как система, которая соотносится с определенным классом функционального запроса (внешней детерминанты), с определенным классом процессов (внутренней детерминанты) и с определенным классом результатов (объектных характеристик). При этом данное соотношение (классифицирование) конкретного явления обусловлено соответствующим соотношением свойств явления (не закрашенный кубик) с классами свойств в трех плоскостях.

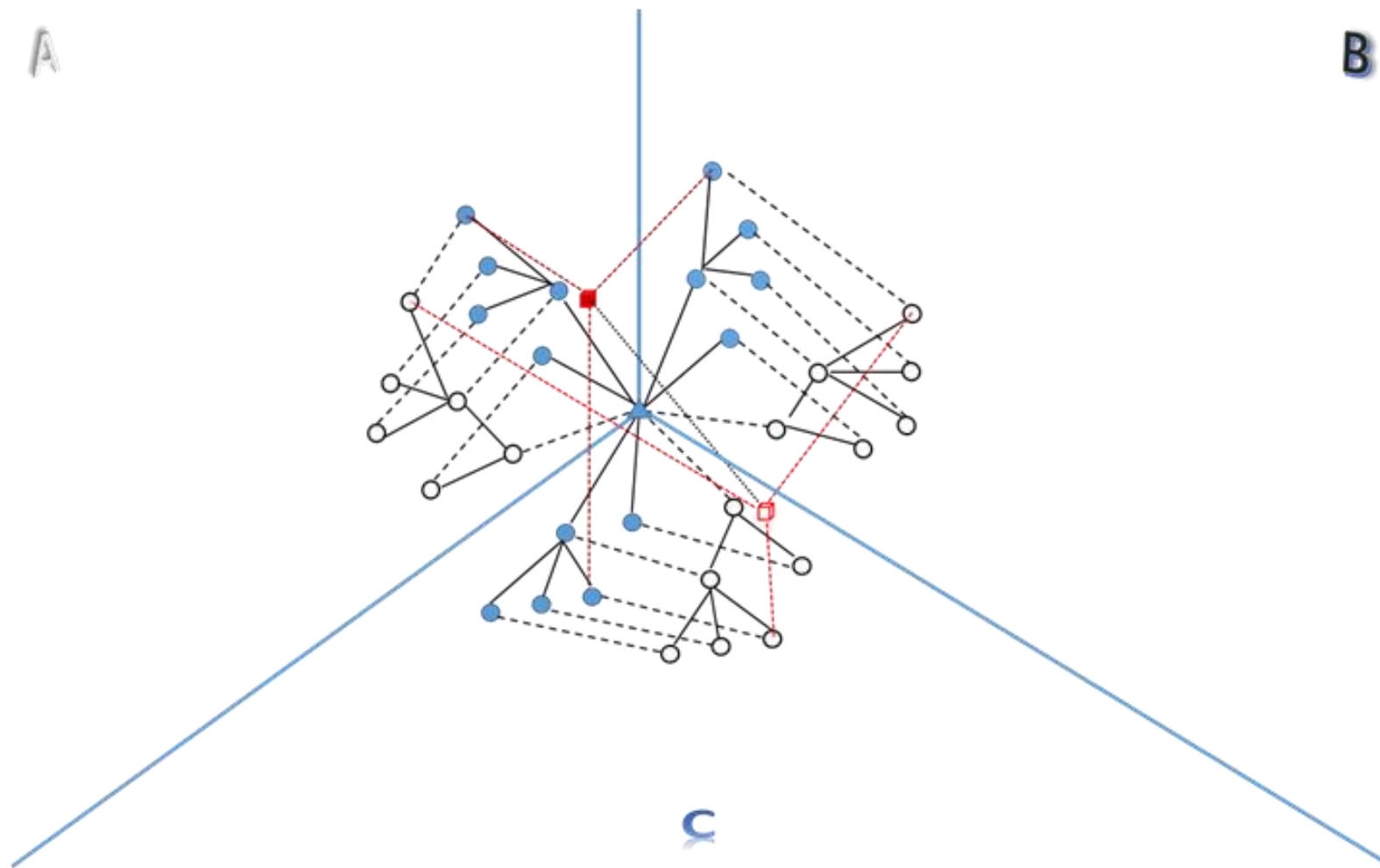


Рис. 1. Трехмерная системно-объектная ККМ

Применение системно-объектного подхода для построения ККМ произвольной ПрО может быть осуществлено с помощью трех последовательных этапов анализа ПрО [17]: терминологического; концептуального и классификационного. В ходе их реализации на первом этапе выявляется совокупность терминов, обозначающих объекты и процессы данной ПрО, анализируется полнота и связность системы понятий, соответствующей исходной совокупности терминов, устраняются пересечения и пробелы в рассматриваемой системе понятий, т.е. подготавливается исходный материал для построения ККМ. На втором этапе определяется роль данной ПрО в более широкой ПрО и функциональные свойства систем данной ПрО, обеспечивается функциональность рассматриваемой системы понятий и ее связность путем установления иерархических родовидовых системных отношений между понятиями данной ПрО. На третьем этапе обеспечивается соответствие родовидовых отношений между понятиями данной ПрО родовидовым отношениям между их видовыми отличиями в выбранной плоскости классифицирования и строится иерархическая классификация систем изоморфная классификации их свойств, т.е. обеспечивается параметричность классификационной схемы.

Классификация в каждой плоскости может быть структурно описана средствами дескрипционной логики SHOIQ, расширяющей логику ALCOIQ, принадлежащую семейству логик ALC. Последнее обстоятельство позволяет описать рассматриваемую ККМ средствами языка OWL, преобразовывая, таким образом, ее в онтологию.

Ниже представлен пример содержательного наполнения представленной выше структуры ККМ на категориальном уровне для ПрО «Чрезвычайная ситуация» (рисунки 2, 3 и 4).

В настоящее время в рамках онтологического инжиниринга интенсивно развивается подход, позволяющий для облегчения создания онтологий применять так называемые паттерны онтологического проектирования (Ontology Design Patterns или ODP) [7-9]. В зависимости от проблем, для решения которых предназначены паттерны онтологического проектирования, различают структурные паттерны, паттерны соответствия, паттерны содержания, паттерны логического вывода, паттерны представления и лексико-синтаксические паттерны. Структурные паттерны либо фиксируют способы решения проблем, вызванных ограничениями выразительных возможностей языков описания онтологий, либо задают общую структуру и вид онтологии. Паттерны второго типа - архитектурные паттерны (Architectural ODP) - содержат предложения по организации онтологии в целом, включая, например, такие структуры, как таксономия и модульная архитектура.

Таким образом, предложенная структура ККМ, по сути дела, представляет собой структурный паттерн онтологического проектирования, основанный на трехмерной классификации, использующей закономерности системно-объектного подхода.

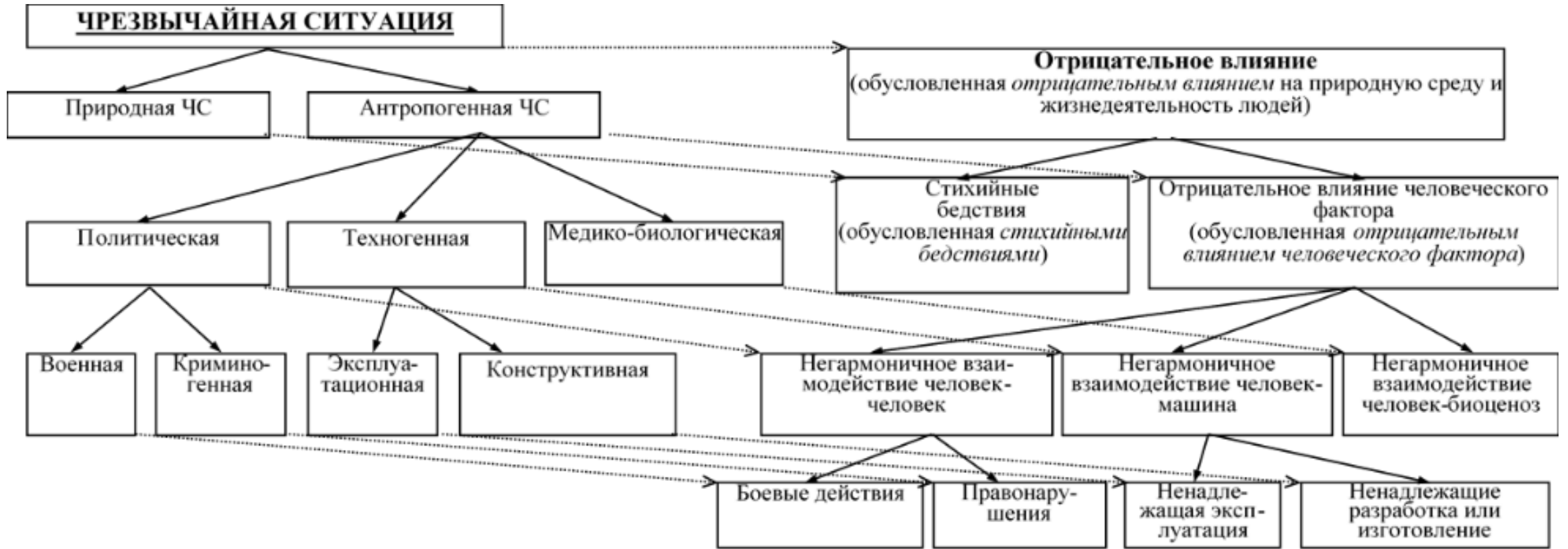


Рис. 2. Классификация ЧС по видам внешней детерминанты (причины)

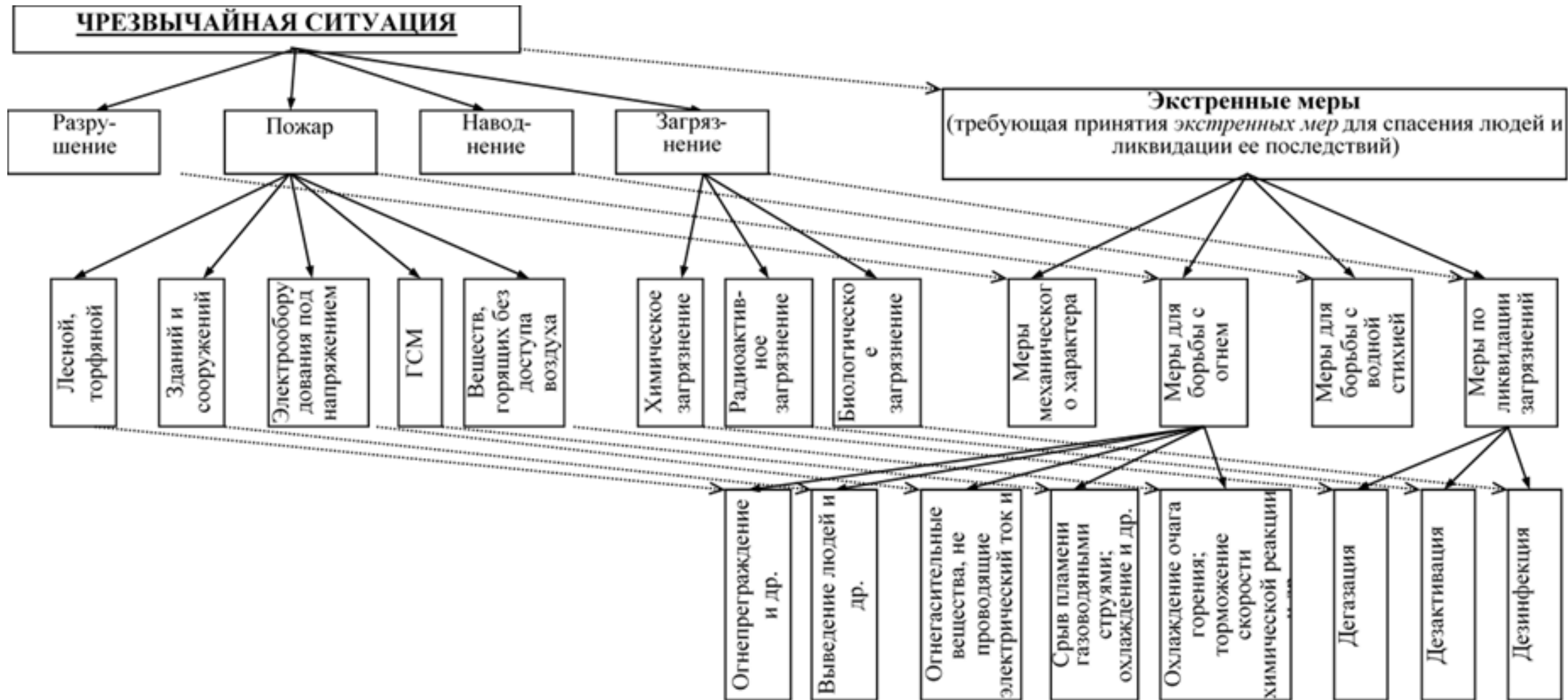


Рис. 3. Классификация ЧС по видам внутренней детерминанты (осуществляемый процесс, становление)

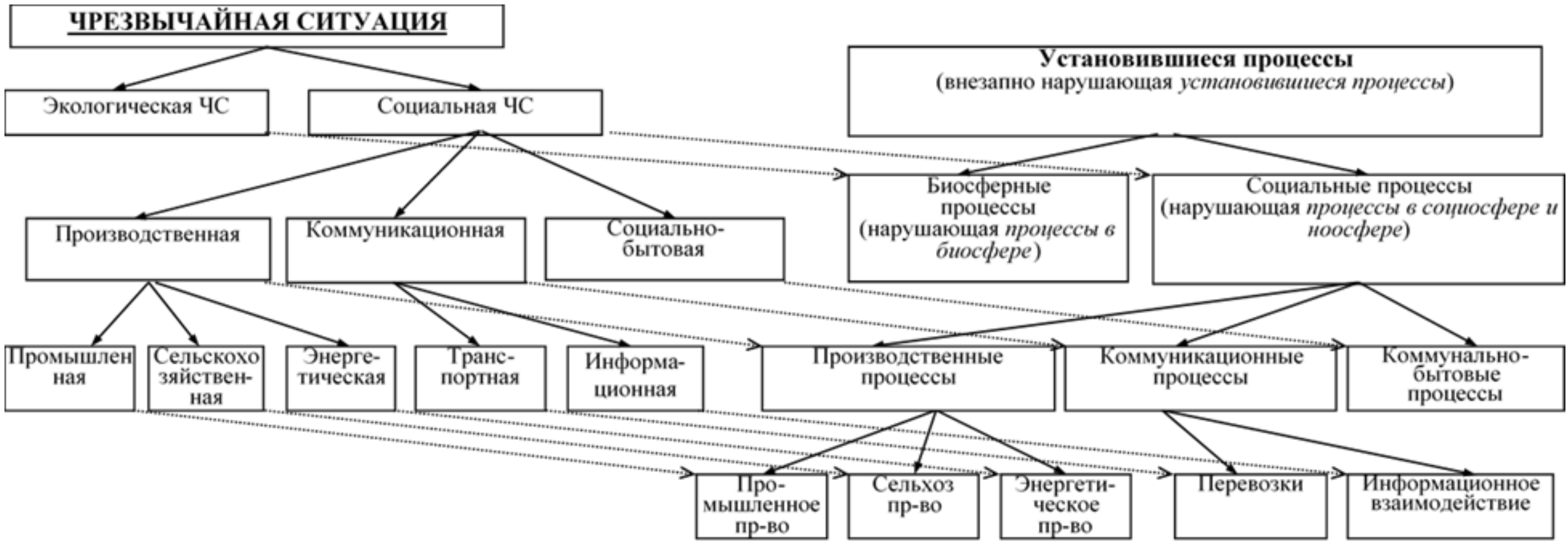


Рис. 4. Классификация ЧС по видам полученных результатов (следствия)

Заключение

Разработан способ построения трехмерной концептуальной классификационной модели. Данный способ основан, во-первых, на представлении системы в виде Узла, Функции и Объекта и, во-вторых, на учете того факта, что классы объектов, отражающиеся в понятиях, являются системами (системами-классами).

Предложенный способ построения ККМ как основы онтологии позволяет снизить влияние некоторых проблем, возникающих на этапе их разработки.

1. Значительно упрощает процедуру построения онтологии как структурный паттерн онтологического проектирования.
2. Определяет конкретный способ классификации понятий ПрО за счет того факта, что классифицирование осуществляется по содержательным основаниям с соблюдением системных отношений между классами.
3. Способствует решению вопросов ограничения ПрО для онтологии и построения определений терминов, отвечающее задачам онтологии, так как обеспечивает выбор конкретного содержания в моделируемой ПрО, соответствующего упомянутым выше основаниям и отношениям.
4. Предлагают систематическую процедуру, позволяющую «вывести» структуру понятий и отношений ПрО из доступных о ней данных, в отличии от средств структурного анализа.
5. Использует закономерности системного анализа, так как классификация в каждой плоскости соответствует таксономии, разрабатываемой на начальном этапе системно-объектного детерминантного анализа.

Дальнейшие исследования авторов будут направлены на формализацию на языке OWL трехмерной графовой структуры с целью автоматизации процедуры онтологического моделирования.

Список литературы

1. Маторин, С.И. Отечественная учебная литература по искусственному интеллекту // Искусственный интеллект и принятие решений. - 2021. - №3. - С. 106-113.
2. Верхотурова, Ю.С. Онтология как модель представления знаний // Вестник бурятского государственного университета. - 2012. - №15. - С. 32-36.
3. Кравченко, Ю.А. Метод создания онтологии предметной области на основе глоссария / Ю.А. Кравченко, А.А. Новиков, В.В. Марков // Известия ЮФУ. Технические науки. - 2015. - №6(167). - С.158-168.
4. Смирнов, С.В. Онтологическое моделирование в ситуационном управлении // "Онтология проектирования" научный журнал. - 2012. - № 2. - С. 16-24.
5. Бова, В.В. Компьютерная онтология: задачи и методология построения / В.В. Бова [и др.] // Информатика, вычислительная техника и инженерное образование. - 2014. - № 4 (19).
6. Волкова, Г.А. Создание "Онтологии всего". Проблемы классификации и решения // Новые информационные технологии в автоматизированных системах. - 2013. - № 16. - С. 293-300.
7. Загорулько, Ю.А. Применение паттернов онтологического проектирования при разработке онтологий научных предметных областей / Ю.А. Загорулько, О.И. Боровикова, Г.Б. Загорулько // Труды XIX Международной конференции «Аналитика и управление данными в областях с интенсивным использованием данных» (DAMDID/ RCDL'2017). - Москва, 2017.

8. Gangemi, A. Ontology Design Patterns for Semantic Web Content. In: Gil, Y., Motta, E., Benjamins, V.R., Musen, M.A. (eds) // The Semantic Web. - Springer: Berlin, Heidelberg. - ISWC 2005. - LNCS, 3729. - pp. 262-276.
9. Hitzler, P. Ontology Engineering with Ontology Design Patterns: Foundations and Applications. Studies on the Semantic Web / Hitzler, P., Gangemi, A., Janowicz, K., Krisnadhi, A., Presutti, V. (eds). // IOS Press/AKA. - 2016.
10. Болотова, Л.С. Проектирование онтологий на основе модели предметной области / Л.С. Болотова, В.А. Старых // Информатизация образования и науки. - 2011. - № 1(9). - С. 88-105.
11. Смирнов, С.В. Онтологический анализ предметных областей моделирования // Известия Самарского научного центра РАН. - 2001. - Т.3, №1. - С. 62-70.
12. Микони, С.В. О качестве онтологических моделей // Онтология проектирования. - 2017. - Т. 7, №3(25). - С. 347-360.
13. Лещева, И.А. Метод автоматизированного наполнения баз знаний онтологического типа // Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. - 2022.
14. Теория систем и системный анализ: учебник / А.Г. Жихарев, О.А. Зимовец, М.Ф. Тубольцев, А.А. Кондратенко; под ред. С.И. Маторина. - Москва: КНОРУС, 2021. - 456 с.
15. Карпов, В.Э. К вопросу о принципах классификации систем / В.Э. Карпов, И.П. Карпова // Информационные технологии. - 2002. - №2. - С. 35-38.
16. Бондаренко, М.Ф. Системологические методы концептуального моделирования слабоструктурированных проблемных областей на основе естественной классификации / М.Ф. Бондаренко [и др.] // Проблемы бионики. - 1999. - № 51. - С. 36-41.
17. Маторин, С.И. Проблемы концептуального классификационного моделирования / С.И. Маторин, С.В. Гуль // Материалы IX международной конференции «Информационно-аналитические системы и технологии» (Белгород, 14-18 марта 2021 г.). - Белгород: Издательство БУКЭП. - 2022. - С. 49-57.

Спасибо за внимание!