МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ВСЕРОССИЙСКИЙ ИНСТИТУТ НАУЧНОЙ И ТЕХНИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
(ВИНИТИ РАН)

НАУЧНО • ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Серия 2. ИНФОРМАЦИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ И СИСТЕМЫ

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ СБОРНИК

Издается с 1961 г. № 9 Москва 2018

ОБЩИЙ РАЗДЕЛ

УДК 001.102:004.89

В.Н. Шведенко

Перспективы применения интеллектуальных методов описания и взаимодействия цифровых двойников объектов и субъектов реального мира

Рассматриваются перспективы развития цифрового мира в направлении создания цифровых двойников и их взаимодействия между собой, а также их влияния на объекты и субъекты реального мира. Показано, какими методами можно обрабатывать информацию, а также извлекать необходимые информационные ресурсы из интегрированных баз данных или хранилищ данных для обеспечения взаимодействия цифровых двойников. Дана соответствующая классификация, необходимая для выбора приложений, обеспечивающих информационную поддержку существования цифровых двойников в режиме реального времени.

Ключевые слова: *цифровой двойник, методы интеллектуальной обработки информации, методы извлечения данных, интеграция данных, полиструктурная система*

Наряду с реальным миром параллельно ему создается другой мир – цифровой. Становление цифрового мира началось с появления персонального компьютера и глобальной сети Интернет. Персональный компьютер позволяет быстро ориентироваться в необходимых информационных ресурсах, а глобальная сеть – передавать сообщения и команды на любое расстояние практически мгновенно.

Информационные ресурсы цифрового мира концентрируются на серверах большой емкости, *Data*-центрах, а также распределяются и дублируются в памяти значительного количества персональных компьютеров, гаджетов и т.д. Также в цифровой мир начинает встраиваться бытовая техника, транспортные системы, навигационные системы и многое другое. Поэтому можно говорить о том, что каждый объект реального мира получает своего двойника в цифровом мире или имеет перспективы его создания.

Цифровой двойник представляет собой некоторое подмножество информационных ресурсов из различных информационных систем. В каждой информационной системе содержится свой профиль объекта реального мира. Очевидно, что количество профилей будет постоянно расти, и ожидается повышение сложности представления объекта реального мира за счет учета гораздо большего количества его свойств. Эта тенденция развития цифрового мира будет сохраняться, поэтому уже сейчас важно определить методы обработки и анализа профилей цифровых двойников, а также взаимодействия их друг с другом для создания цельного образа объекта реального мира.

Наиболее подходящей методологической основой создания и взаимодействия цифровых двойников является теория полиструктурных систем, под которой понимают множество разнообразных компонентов, отличающихся физическими свойствами, функциональным назначением, сложностью внутренней структуры, представляющих собой единое целое, т.е. система включает множество подсистем, имеющих собственные оригинальные структуры, которые интегрируются в общую полиструктуру гетерогенной сложной системы. Составляющие такой системы генерируют в себе разнородные по природе ресурсы, в процессе функционирования которых осуществляется достижение единой цели [1–3].

Пусть в реальном мире имеются несколько объектов, являющихся участниками одного или нескольких процессов. В цифровом мире создается и активизируется цифровой двойник процесса, в котором присутствуют цифровые двойники данных объектов реального мира. Каждый цифровой двойник имеет в соответствующем процессе модель поведения. Моделирование поведения цифровых двойников позволяет выдавать команды и сигналы в реальный мир.

Искусственный интеллект требуется для обработки данных о состоянии цифровых двойников объектов и процессов. Состояние объектов представляет текущее значение свойств цифровых двойников. Для того чтобы цифровой двойник адекватно реагировал на состояние объектов реального мира и управлял процессом, необходимо, чтобы данные из реального мира в цифровой мир передавались в режиме реального времени или режиме, близком к нему, при этом интеллектуальная обработка данных давала бы команды до возникновения опасной нештатной ситуации (опережающее реагирование).

Полиструктурные системы позволяют цифровому двойнику объектов одновременно находиться в нескольких процессах и взаимодействовать (обмениваться данными) друг с другом. При этом возможно появление режима конкуренции цифровых двойников, их борьбы за различные виды ресурсов с последующим отражением этого в реальном мире.

Проявление влияния цифровых двойников на модель поведения субъектов реального мира можно показать на примере участников сетевой компьютерной игры. Персонаж каждого участника игры начинает вести себя в соответствии с моделью поведения игрока реального мира. По поведению игровых персонажей можно определить модели поведения каждого игрока, оценить его психологический портрет, возможные модели его поведения, а также их устойчивость в цифровом и реальном мире. А через взаимодействие игровых персонажей и корректировку условий игровой ситуации становится возможным оказывать активное воздействие и производить корректировку модели поведения самих игроков для достижения запланированной цели.

По мере развития цифрового мира все большее количество цифровых двойников начинает взаимодействовать между собой, представляя, в том числе, проекции объектов и субъектов реального мира в качестве участников различных процессов, одновременно протекающих в разных местах, и никакие расстояния уже не будут препятствием для осуществления деятельности человека в реальном мире.

Инструментом, обеспечивающим такой вариант развития цифрового мира, будет интеллектуальная обработка данных и формирование моделей поведения в зависимости от входных показателей, количество которых постоянно возрастает. Об этом в свое время говорил Норберт Виннер, понимая перспективу развития кибернетики. Сегодня эта задача уже начинает реализовываться в различных сферах социума. Имеющиеся способы получения и обработки данных, особенно методами искусственного интеллекта, позволяют решать большой класс задач. В условиях развития нейронет-технологий спектр возможности намного расширится.

Существует большое количество программных продуктов и приложений, позволяющих осуществлять обработку данных. Для обоснования и выбора малофункциональных приложений, позволяющих автоматизировать обработку элементарных операций, из которых потом можно строить сложные структуры преобразования данных, предлагается использовать следующие группы методов интеллектуальных вычислений: ассоциация, система классификации и кодирования, кластеризация, прогнозирование, последовательные модели, дерево решений, другие методы интеллектуальной обработки данных [4].

Ассоциация (или отношение) – наиболее известный метод интеллектуального анализа данных. Для выявления моделей делается сопоставление двух или более элементов, часто одного и того же типа.

Система классификации и кодирования описывает несколько атрибутов для идентификации определенного класса объектов [5]. Классификацию можно использовать в качестве входных данных для других методов. Например, для определения классификации можно применять деревья принятия решений.

Кластеризация позволяет использовать общие атрибуты различных классификаций в целях выявления кластеров. Исследуя один или более атрибутов или классов, можно сгруппировать отдельные элементы данных вместе, получая структурированное заключение. При кластеризации используется один или несколько атрибутов в качестве основы для определения кластера сходных результатов. Кластеризация полезна при определении различной информации, так как она коррелирует с другими примерами, что позволяет определить места взаимодействия и согласования подобий объектов и диапазонов их характеристик.

Прогнозирование в сочетании с другими методами интеллектуального анализа данных предполагает анализ тенденций, классификацию, сопоставление с моделью и отношения к объекту или субъекту реального мира. [6]. Анализируя историю цифровых двойников, можно предсказывать будущее их поведение.

Последовательные модели часто используются для анализа долгосрочных данных с целью выявления тенденций и регулярного повторения подобных событий.

Дерево решений [7, 8] в связке с другими методами, например, классификацией и прогнозированием, можно использовать либо в рамках критериев отбора, либо для поддержки выбора определенных данных в рамках общей структуры процесса и взаимосвязанных процессов поведения цифровых двойников. Дерево решений начинают с вопроса, который имеет два или более ответа. Каждый ответ приводит к следующему вопросу, помогая классифицировать и идентифицировать данные или делать прогнозы.

Деревья решений часто используются с системами классификации информации о свойствах и с системами прогнозирования, где различные прогнозы могут основываться на прошлом историческом опыте, который помогает построить структуру дерева решений и получить результат.

Каждый метод представляется набором функций обработки потоков данных. Входной поток данных формируется через запрос к информационной системе или хранилищу данных.

Дополнительно к методам интеллектуальной обработки данных необходимо иметь приложения, выполняющие статистическую обработку, обработку данных искусственными нейронными сетями, когнитивную обработку данных, отработку сценариев выбора альтернативы по критериям эффективности перевода цифрового двойника в новое состояние.

Поведение цифровых двойников можно классифицировать по критериям, представленным в табл. 1.

Далее рассмотрим наиболее перспективные методы интеграции цифровых двойников (табл. 2–5 и рис. 1–3).

Если для взаимодействия компонентов цифровых двойников используется уровень брокеров, то эти задачи интегрирующего блока решает брокер сообщений (рис. 1).

Структурная схема интеграции на уровне единой базы данных представлена на рис. 2.

На данном уровне возможна наименее затратная интеграция цифровых двойников путем использования облачных сервисов для организации взаимодействия разрозненных компонентов цифрового мира [18, 19]. Если интеграция приложений организована на уровне сервисов, то функции поведения берет на себя интегрирующий сервис, в котором заложены соответствующие алгоритмы поведения [20]. Структурная схема такой интеграции представлена на рис. 3.

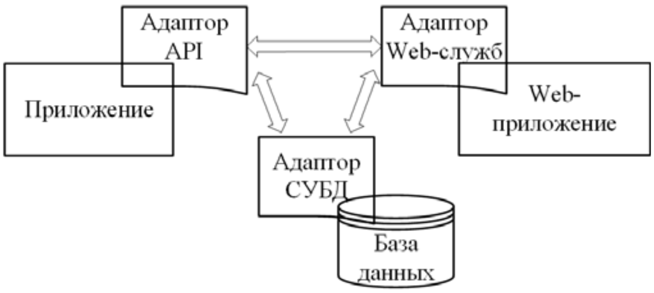

Рис. 1. Фрагмент структурной схемы интеграции цифровых двойников на уровне брокеров

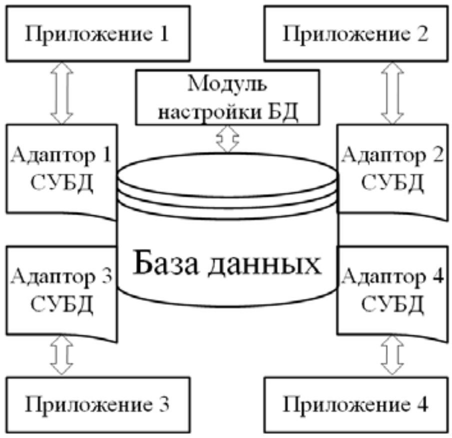

Рис. 2. Структурная схема интеграции цифровых двойников на уровне единой базы данных

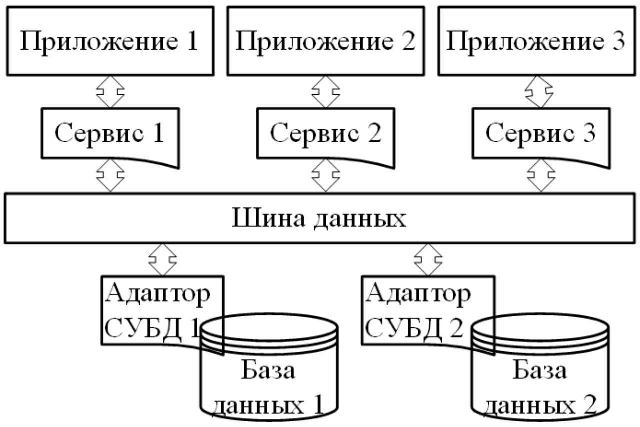

Рис. 3. Структурная схема интеграции цифровых двойников на уровне сервисов

Таблица 1

Классификация поведения цифровых двойников по набору отрабатываемых функций, по вариантам передачи управления в приложение, по уровню интеграции компонентов информационной системы, по источникам получения данных [9]

Критерии классификации	Виды классификации
Набор функций, которые последовательно или параллельно должны отрабатываться приложением	Входные и выходные данные, которые подаются на обработку приложением, задаются реальным миром и определяются целью запуска приложения на исполнение
Варианты передачи управления в приложение	Ключи
	Конфигурационные файлы (ini, реестр, xml, json)
	База данных под управлением СУБД
	Метамоделирование структуры данных с возможностью её расширения
	Метамоделирование бизнес-процесса, которое позволяет формировать систему показателей состояния цифровых двойников субъектов и объектов реального мира
Уровень интеграции компонентов информационной системы	Уровень брокеров
	Уровень данных
	Уровень сервисов [10, 11]
	Уровень интерпретирования метаинформации [12, 13]
Источники получения данных	Внешние периферийные устройства ввода данных
	Встроенные датчики в объекты контроля
	Базы данных
	Базы знаний
	Глобальная сеть Internet
	Защищенные сети передачи данных

Таблица 2

Интеграция цифровых двойников на уровне брокеров

Применение метода	
Данный уровень интеграции использует набор инструментов API и COM-технологий. Достигаемая цель – автоматическая передача данных и запуск исполняемого кода на выполнение	
Преимущества метода	Недостатки метода
Универсальность — практически всегда можно создать дополнительный программный модуль, который будет обращаться в обе системы, еще и разными способами (например, в одну – через базу данных, а в другую – через RPC)	Большое количество связей n(n-1) между приложениями, сложность, трудоемкость, и, следовательно, высокая стоимость разработки, внедрения и владения. Инструментами на данном уровне являются технологии CORBA, COM+, DCOM, RPC

Таблица 3

Интеграция цифровых двойников на уровне единой базы данных

Применение метода	
На данном уровне интеграции приложения настраиваются на работу с единой базой данных или несколькими связанными между собой базами данных	
Преимущества метода	Недостатки метода
Низкая стоимость интеграции	Разрушение целостности данных, если база данных не экранирована хранимыми процедурами и не имеет необходимых ограничений целостности (в виде указания каскадных операций и триггеров), то разные приложения могут приводить данные в противоречивое состояние. Если же база экранирована и целостность обеспечивается, то и в этом случае, в параллельно работающих с одной БД приложениях, будут дублирующиеся части кода, выполняющие одинаковые или похожие операции. Кроме того, при изменениях структуры базы необходимо отдельно переписывать работающий с ней код всех приложений. При использовании единой объектно-ориентированной СУБД для задач интеграции возникают проблемы дублирования данных либо сложности извлечения данных из иерархических структур.

Таблица 4

Интеграция цифровых двойников на уровне сервисов

Применение метода	
При интеграции на уровне сервисов чаще всего используется сервис-ориентированная архитектура (SOA) и шина данных [5, 14]. Сервис представляет собой одну или несколько прикладных функций приложения, реализующих прикладную логику автоматизируемого процесса. Достигаемая цель – быстрая отработка корпоративной бизнес-логики. Интеграция основана на фиксации интерфейсов и форматов данных с двух сторон	
Преимущества метода	Недостатки метода
Возможность многократного использования, слабая связанность сервисов друг с другом. Низкая стоимость интеграции, быстрое объединение сильно различающихся систем без их модификации и дописывания дополнительных модулей. Возможность использования облачных сервисов для интеграции компонентов цифровых двойников [15, 16]	Недостатки: присутствует фиксация, а если структуры или процессы изменяются, то образуются проблемы и узкоспециализированные, частные решения. При интеграции на уровне приложений важно применение стандартизованных компонентов. Возникает проблема обеспечения безопасности данных в такой гетерогенной системе [17]

Таблица 5

Интеграция цифровых двойников на уровне интерпретирования метаинформации

Применение метода
Достигаемая цель интеграции – взаимодействие цифровых двойников объектов и субъектов реального мира на едином языке, определяющем синтаксис и семантику базовых понятий и определений.

Возможным ресурсом интерпретирования метаинформации может стать Википедия.

Таким образом, в настоящей статье были определены перспективы и направления развития методов создания объектов и процессов цифрового мира. Показано, что основным элементом цифрового мира станут цифровые двойники. Методологической основой исследования цифрового мира является теория полиструктурных систем. В качестве основных методов организации взаимодействия цифровых двойников было предложено использование методов интеллектуальной обработки данных, показаны виды решаемых с их помощью задач. Рассмотрены методы извлечения данных из информационных ресурсов для обеспечения взаимодействия цифровых двойников.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тимофеев Д.Н., Шведенко В.В., Щекочихин О.В. Модель управления полиструктурной системой на основе оценки и выбора альтернатив методом попарных сравнений // Электронный научный журнал «Инженерный вестник Дона». – 2017. – №7 – С.1–9.
2. Петрова С.Ю. Общая задача управления полиструктурной системой // Вестник Новгородского государственного университета. – 2009. – № 50. – С. 35–39.
3. Перов В.И., Парахина В.Н. Формирование полиструктурных социально-экономических систем и особенности управления ими. – М.: Изд-во «НЕФТЬ и ГАЗ» РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2007. – 210 с.
4. Шведенко В.Н., Щекочихин О.В., Ровинская Т.И. Интеллектуальный анализ данных в интегрированной информационной системе, обладающей свойством поведения // Информатизация и связь. – 2018. – №2. – С. 30–34.
5. Алексеев А.А., Катасёв А.С., Кириллов А.Е., Кирпичников А.П. Классификация текстовых документов на основе технологии TEXT MINING // Вестник технологического университета. – 2016. – Т.19, №18. – С. 116–119.
6. Шведенко В.Н, Щекочихин О.В., Ровинская Т.М. Методика разработки информационной системы, обладающей свойством поведения, на примере производственно-закупочной деятельности // Научно-технический вестник Поволжья. – 2017. – №4. – С. 236–240.
7. Амаева Л.А. Использование методов интеллектуального анализа данных для моделирования пользователя // Вестник технологического университета. – 2015. – Т.18, №1. – С. 320–322.
8. Старовойтов А.В., Бетин В.Н., Лукьянов С.Э., Супрун А.П. Извлечение новых знаний в интеллектуальной системе поддержки принятия решений ситуационного центра, построенной на базе сетей функциональных нейронов // Информатизация и связь. – 2014. – №4. – С. 6–11.
9. Шведенко В.Н., Шведенко П.В., Щекочихин О.В. Критерии оценки и модели информационных систем, обладающих свойством поведе-

ния // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2016. – Т. 16, № 4. – С. 649–654.
10. Алаудинов А.Г. Построение единой системы интеграции данных в крупных корпорациях // Труды Международного симпозиума «Надежность и качество». – 2011. – Т. 1. – URL: http://cyberleninka.ru/article/n/postroenie-edinoy-sistemy-integratsii-dannyh-v-krupnyh-korporatsiyah (дата обращения: 26.01.2016).
11. Жижимов О.Л., Федотов А.М., Шокин Ю.И. Технологическая платформа массовой интеграции гетерогенных данных // Вестник НГУ. Серия: Информационные технологии. – 2013. – Т. 11, № 1. – С. 24–41.
12. Волков А.А., Шведенко В.Н. Модель формирования параллельных структур в объектно-ориентированных СУБД // Программные продукты и системы. – 2011. – № 3.
13. Веселова Н.С., Шведенко В.Н. Моделирование информационных ресурсов предприятия при процессной организации системы управления // Международный журнал «Программные продукты и системы». – 2014. – №4(108). – С. 260–264.
14. Сысолетин Е.Г., Аксенов К.А., Круглов А.В. Интеграция гетерогенных информационных систем современного промышленного предприятия // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 1. – С. 335.
15. Jaeger P.T., Lin J., Grimes J.M., Simmons S.N. Where is the cloud? Geography, economics, environment, and jurisdiction in cloud computing // First Monday. – 2009. – Vol. 14, № 5. – URL: http://firstmonday.org/ojs/index.php/fm/article/view/2456/2171 (дата обращения 03.08.2014).
16. Sadiku M.N.O., Musa S.M., Momoh O.D. Cloud computing: opportunities and challenges // IEEE Potentials. – 2014. – Vol. 33, № 1. – P. 34–36.
17. Kaufman L.M. Data security in the world of cloud computing // IEEE Security and Privacy. – 2009. – Vol. 7, № 4. – P. 61–64.
18. Laplante P.A., Zhang J., Voas J. What's in a Name? Distinguishing between SaaS and SOA // IT Professional. – 2008. – Vol. 10, № 3. – P. 46–50.
19. Gagnon S., Nabelsi V., Passerini K., Cakici K. The next web apps architecture: challenges for SaaS vendors // IT Professional. – 2011. – Vol. 13, № 5. – P. 44–50.
20. Владимиров А.В. Агентное взаимодействие в информационной системе предприятия с адаптацией механизмов работы и интерфейса пользователя // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2013. – № 6(88). – С. 105–111.

Материал поступил в редакцию 08.06.18

ШВЕДЕНКО Владимир Николаевич – доктор технических наук, профессор, ведущий специалист ВИНИТИ РАН, Москва
e-mail: vv_shved@mail.ru

УДК 004.89:510.64

В.К. Финн, О.П. Шестерникова

Эвристика обнаружения эмпирических закономерностей посредством ДСМ-рассуждений

Рассмотрена эвристика обнаружения эмпирических закономерностей посредством ДСМ-метода автоматизированной поддержки научных исследований. Эта эвристика состоит из применения ДСМ-рассуждений для ДСМ-исследований, которые состоят из распознавания сохранения гипотез о причинах и гипотез о предсказаниях, образующих эмпирические зависимости, для вложенных последовательностей баз данных. Механизмами обнаружения эмпирических закономерностей являются каузальные вынуждения (CF), посредством которых определяются модальности необходимости (для эмпирических законов), модальности возможности (для эмпирических тенденций) и модальности слабых возможностей (для подозрительных тенденций).

Определяются средства приближенного обнаружения эмпирических закономерностей и приводятся результаты их применения для обнаружения возможности развития сахарного диабета у больных хроническим панкреатитом.

Ключевые слова: *ДСМ-метод автоматизированной поддержки научных исследований, ДСМ-рассуждения, ДСМ-исследование, эмпирические закономерности, каузальные вынуждения, модальности необходимости и возможности*

§1. ВВЕДЕНИЕ: ДСМ-РАССУЖДЕНИЯ

ДСМ-рассуждения – это синтез (взаимодействием) трех познавательных процедур: эмпирической индукции, аналогии и абдукции, цель которых – порождение обоснованных гипотез относительно причин исследуемых эффектов и гипотез, предсказывающих их наличие (отсутствие). Основанием же этих предсказаний являются как порожденные гипотезы о причинах эффектов, так и объяснение массива фактов (посылок рассуждения) посредством процедуры абдукции [1].

Синтез индукции, аналогии и абдукции соответствует содержанию познавательного процесса, образованного анализом данных, а также предсказанием нового знания и принятием результатов посредством объяснения используемых данных.

Для обнаружения нового знания необходимо применение **амплиативных** выводов [2], которыми являются правдоподобные выводы такие, что их следствие не содержится явно в посылках, но извлекаются из них посредством некоторых условий («механизмов») обнаружения сходства[1].

Сформулируем общую характеризацию **идеи рассуждения.** Рассуждение есть:

1^0. поиск и выбор посылок, релевантных целям;

2^0. применение правил вывода к соответствующим посылкам из массива исходных данных[2];

3^0. контроль за выводом (оценка и **принятие** следствий);

4^0. последовательность, состоящая из исходных посылок и результатов применения правил вывода.

Рассуждения, использующие правила **амплиативных** выводов, являются **правдоподобными** рассуждениями [3], так как ДСМ-рассуждения являются синтезом индукции, аналогии и абдукции, то они являются **правдоподобными** рассуждениями, заключения которых могут быть неистинными. Из определения ДСМ-рассуждений [1] следует, что они аргументативно обоснованы, так как на основе заданного массива высказываний (возможных посылок) имеют аргументы «за» и не имеют аргументов «против» (контраргументов).

Начальной процедурой для реализации индуктивных выводов в ДСМ-рассуждениях является обнаружение сходства (*similarity*) фактов [1], которое необ-

[1] Установление сходства характерно как для индуктивных выводов [4], так и для выводов по аналогии [1].

[2] В интеллектуальных системах они представлены в базах фактов и базах знаний [5].

ходимо для формализации и алгоритмической реализации индуктивных правил (канонов) Д.С. Милля [4], имеющей место в ДСМ-рассуждениях.

Так как ДСМ-рассуждения применимы к разбиению множества фактов позитивных ((+)-факты), негативных ((–)-факты) и неопределенных ((τ)-факты), а последние требуют предсказания с типами истинностных значений «фактически истинно» (1), «фактически ложно» (-1), «фактически противоречиво» (0), то для предсказания ($\pm$)-причин изучаемых эффектов применяются M^{σ}-предикаты сходства $M^{+}_{a,n}(V,W)$ и $M^{-}_{a,n}(V,W)$. Пары $\langle C',Q\rangle$, выполняющие эти предикаты, представляют обоснованное (σ)-сходство, где $\sigma=+,-$; соответственно, непустое пересечение (σ)-фактов образует (σ)-сходство. Четыре возможные булевские комбинации M^{σ}-предикатов сходства $M^{+}_{a,n}(V,W)\&\neg M^{-}_{a,n}(V,W)$, $\neg M^{+}_{a,n}(V,W)\&M^{-}_{a,n}(V,W)$, $M^{+}_{a,n}(V,W)\&M^{-}_{a,n}(V,W)$, $\neg M^{+}_{a,n}(V,W)\&\neg M^{-}_{a,n}(V,W)$ образуют посылки правил правдоподобного вывода (п.п.в.-1), формализующие метод (канон) сходства Д.С. Милля, представленный его Первым правилом [4][3].

Формализация канонов Д.С. Милля в [1, 6] основана на двух принципах: принципе сходства (*P1*) и принципе аргументации (*P2*).

P1. **Сходство** фактов влечет наличие (отсутствие) изучаемого эффекта и его **повторяемость**[4].

P2. Позитивное сходство оправдано, если есть аргументы «за» наличие эффекта, выразимые сходством (+)-фактов, и нет аргументов «против», выразимых сходством (–)-фактов, соответственно; негативное сходство оправдано, если есть аргументы против наличия эффекта, выразимые сходством (–)-фактов, и нет аргументов «за» наличия эффекта, выразимых сходством (+)-фактов.

Оправдание (+)-сходства и (–)-сходства в $п.п.в.-1^{(+)}$ и $п.п.в.-1^{(-)}$ реализуется посредством выполнимости посылок $M^{+}_{a,n}(V,W)\&\neg M^{-}_{a,n}(V,W)$ и $\neg M^{+}_{a,n}(V,W)\&M^{-}_{a,n}(V,W)$, соответственно. Комбинации же M^{σ}-предикатов $M^{+}_{a,n}(V,W)\&M^{-}_{a,n}(V,W)$ и $\neg M^{+}_{a,n}(V,W)\&\neg M^{-}_{a,n}(V,W)$ соответствуют констатациям наличия фактического противоречия (имеются аргументы «за» и «против» одновременно) и сохранению неопределенности вместо предсказания (отсутствуют как аргументы «за» эффект *W*, так и аргументы «против» него).

Таким образом, Первому правилу индуктивного вывода Д.С. Милля (канону сходства) [4] в ДСМ-методе автоматизированной поддержке научных исследований (ДСМ-метод АПНИ), логическим средством которого являются ДСМ-рассуждения, соответствуют четыре правила правдоподобного вывода [1, 5]:

$$(I)^{+}_{a}\ \frac{J_{(\tau,n)}(V\Rightarrow_2 W),M^{+}_{a,n}(V,W)\&\neg M^{-}_{a,n}(V,W)}{J_{\langle 1,n+1\rangle}(V\Rightarrow_2 W)},$$

$$(I)^{-}_{a}\ \frac{J_{(\tau,n)}(V\Rightarrow_2 W),\neg M^{+}_{a,n}(V,W)\&M^{-}_{a,n}(V,W)}{J_{\langle -1,n+1\rangle}(V\Rightarrow_2 W)},$$

$$(I)^{0}_{a}\ \frac{J_{(\tau,n)}(V\Rightarrow_2 W),M^{+}_{a,n}(V,W)\&M^{-}_{a,n}(V,W)}{J_{\langle 0,n+1\rangle}(V\Rightarrow_2 W)},$$

$$(I)^{\tau}_{a}\ \frac{J_{(\tau,n)}(V\Rightarrow_2 W),\neg M^{+}_{a,n}(V,W)\&\neg M^{-}_{a,n}(V,W)}{J_{(\tau,n+1)}(V\Rightarrow_2 W)}.$$

Исходным предикатом, посредством которого определяются M^{σ}-предикаты, является $X\Rightarrow_1 Y$ – «объект *X* обладает множеством свойств *Y*», а порождаемый посредством п.п.в.-1 предикат $V\Rightarrow_2 W$ выражает гипотезы «*V* – причина *W*», где *W* – исследуемый эффект.

Истинностными значениями предикатов $X\Rightarrow_1 Y$ и $V\Rightarrow_2 W$ являются $\bar{\nu}=\langle\nu,n\rangle$, где $\nu\in\{1,-1,0,\tau\}$, *n* – натуральное число $(n=0,1,...)$, выражающее число применений правил правдоподобных выводов (оно представляет степень правдоподобия гипотезы: чем меньше *n*, тем больше степень правдоподобия гипотезы).

$J_{\bar{\nu}}$ – характеристические логические связки Б. Россера – А. Тюркетта [7], $J_{\bar{\nu}}\phi=\begin{cases}t, если\ \mathrm{v}[\varphi]=\bar{\nu}\\ f, если\ \mathrm{v}[\varphi]\neq\bar{\nu}\end{cases}$, где *t, f* – «истина» и «ложь» двузначной логики; $1,-1,0,\tau$ – истинностные значения четырехзначной логики аргументации [8] «фактически истинно», «фактически ложно», «фактически противоречиво» и «неопределенно», соответственно; а $(\tau,n)=\{\langle 1,n+1\rangle,\langle -1,n+1\rangle,\langle 0,n+1\rangle\}\cup(\tau,n+1)$ – множество возможных и истинностных значений, выражающее неопределенность. Имеет место закон исключенного пятого:

$$J_{\langle 1,n\rangle}\varphi\vee J_{\langle -1,n\rangle}\varphi\vee J_{\langle 0,n\rangle}\varphi\vee J_{(\tau,n)}\varphi.$$

Так как M^{σ}-предикаты, содержащиеся в посылках индуктивных выводов (п.п.в.-1), определяются посредством предиката $X\Rightarrow_1 Y$, а следствиями п.п.в.-1 являются формулы, образованные посредством предиката $V\Rightarrow_2 W$ и логических связок $J_{\bar{\nu}}$, то п.п.в.-1 являются правилами **амплиативного** вывода, что существенно для извлечения нового знания из посылок. Таким образом, аргументами согласно *P2* в п.п.в.-1 являются высказывания, представимые посредством предиката $X\Rightarrow_1 Y$, образующие экзистенциальные условия M^{σ}-предикатов [1, 6].

$M^{+}_{a,n}(V,W)$ определяются посредством экзистенциальных условий $(\exists s^{+})$ (представления конъюнкции (+)-примеров исследуемого эффекта, являющегося значением переменной *W*), условия сходства (+)-примеров (Sim), эмпирической зависимости эффекта

---

[3] Д.С. Милль употреблял термин *agreement* вместо *similarity*, который более естественен для предложенной формализации ДСМ-рассуждений.

[4] Правила вывода для статистических методов анализа данных сходства характеризуют повторяемостью эффекта.

W от причины V $(ED)^{+}$ с условием исчерпываемости всех сходных (+)-примеров (Ex) и нижней границы для числа сходных примеров $k\,(k \geq 2): M^{+}_{a,n}(V,W)$

$\rightleftharpoons \exists k((\exists^{+}_{s})\&(S\text{im})\&(ED)^{+}\&(\text{k} \geq 2)$ ([1], Часть I)[5].

Аналогично определяется $M^{-}_{a,n}(V,W)$ для отрицательных примеров.

M^{σ}-предикаты сходства $(\sigma \in \{+,-\})$ могут быть усилены дополнительными условиями, соответствующими «механизмам каузального вынуждения (детерминации)» изучаемого эффекта *W*, порождаемого причиной *V*. Дополнительными условиями, усиливающими каузальное вынуждение эффекта *W* причиной *V*, являются условия $d^{\sigma}_{0}, d^{\sigma}_{0}$, соответствующие индуктивным канонам Д.С. Милля [4] – канону различия (d^{σ}_{0}) и канону сходства–различия (d^{σ}_{2}), а также условия b^{σ} запрета на контрпримеры $(\sigma \in \{+,-\})$ [6, 10].

Таким образом,

$$a^{\sigma}, (ab)^{\sigma}, (ad_0)^{\sigma}, (ad_2)^{\sigma} \text{ и } (ad_0 b)^{\sigma}, (ad_2 b)^{\sigma}$$

являются именами M^{σ}-предикатов сходства, применяемых в ДСМ-рассуждениях.

Замечание 1-1. В отличие от канонов Д.С. Милля правила индуктивного вывода для ДСМ-рассуждений формулируются для (+)- и (–)-примеров, что представимо в M^{σ}-предикатах сходства, где $\sigma \in \{+,-\}$, в соответствии с принципом аргументации *P2* и четырем комбинациям M^{σ}-предикатов в п.п.в.-1.

В [10, 11] рассматривалось множество имен M^{σ}-предикатов

$$g^{\sigma} = \left\{a^{\sigma}, (ab)^{\sigma}, (ad_0)^{\sigma}, (ad_2)^{\sigma}, (ad_0 b)^{\sigma}, (ad_2 b)^{\sigma}\right\},$$

где $\sigma \in \{+,-\}$ и определялись предикаты $M^{+}_{x,n}(V,W)$ и $M^{-}_{y,n}(V,W)$, где $x \in I^{+}, y \in I^{-}$.

$M^{+}_{x,n}(V,W)$ и $M^{-}_{y,n}(V,W)$ определялись посредством конъюнкций M^{σ}_{a}-предикатов (наименьшего) сходства и дополнительных усиливающих сходство условий b^{σ} (запрет на контрпримеры), d^{σ}_{0} (различие), d^{σ}_{2} (сходство–различие [6]), где $\sigma \in \{+,-\}$.

Таким образом,

$M^{+}_{ab,n}(V,W) \rightleftharpoons M^{+}_{a,n}(V,W)\&\text{b}^{+}(V,W),$

$M^{+}_{ad_0 b,n}(V,W) \rightleftharpoons M^{+}_{a,n}(V,W)\&$

$d^{+}_{0}(V,W)\&\text{b}^{+}(V,W)$ и т.д.[6]

В [11] было показано, что M^{+}_{x}-предикаты и M^{-}_{x}-предикаты, соответственно, образуют дистрибутивные решетки [12], а порождаемые ими правила индуктивного вывода (п.п.в.-1) представимы посредством прямых произведений этих решеток. В [11] были определены как решетки интенсионалов M^{σ}-предикатов и их прямые произведения для $п.п.в.-1^{(\sigma)}$ (правил индуктивного вывода для $\sigma \in \{+,-,0,\tau\}$), так и решетки экстенсионалов.

Интенсионалы M^{σ}-предикатов образованы их определениями, а их экстенсионалы – множествами пар, выполняющих соответствующие M^{σ}-предикаты [11].

Дополнительными условиями для M^{σ}_{a}-предикатов сходства, усиливающими каузальные вынуждения (*forcing*), являются $b^{\sigma}(V,W), d^{\sigma}_{0}(V,W)$ и $d^{\sigma}_{2}(V,W)$ [11] – «запрет на контрпримеры», «различие», «сходство–различие», соответственно, где $\sigma \in \{+,-\}$.

Приведем далее условия $b^{+}(V,W)$ и $d^{+}_{0}(V,W)$ [10]: $b^{+}(V,W)$ $\forall X \forall Y(((V \subset X)\&$
$(W \subseteq Y)) \to (J_{(1,n)}(X \Rightarrow_1 Y) \vee J_{(\tau,n)}(X \Rightarrow_1 Y)))$,

$d^{+}_{0}(V,W)$ $\forall X \forall Y \forall Z \forall U((J_{(1,n)}(X \Rightarrow_1 Y)\&$
$(W \subseteq Y)\&(\text{V} \subset \text{X})\&((\text{X-V}) \subset \text{Z})\&\neg((\text{X-V}) = \text{Ø})$
$\&\neg(V \subset Z)) \to (\neg J_{(1,n)}(Z \Rightarrow_1 U) \vee \neg(W \subseteq)))$.

Аналогично определяются $b^{-}(V,W)$ и $d_{0}(V,W)$[7].

На множествах M^{+}_{x}- и M^{-}_{x}-предикатов порождаются дистрибутивные решетки [11, 12], отношение частичного порядка которых $\geq$ определяется посредством логического следования

$$M^{\sigma}_{z_1,n}(V,W) \geq M^{\sigma}_{z_2,n}(V,W) \rightleftharpoons$$
$$\forall V \forall W (M^{\sigma}_{z_1,n}(V,W) \to M^{\sigma}_{z_2,n}(V,W)),$$

где $\sigma \in \{+,-\}$, $z_i = \begin{cases} x_i, \text{если } \sigma = + \\ y_i, \text{если } \sigma = - \end{cases}, i = 1,2,$

а «$\to$» – импликация двузначной логики [11].

Как было отмечено выше $п.п.в.-1^{(\sigma)}$, где $\sigma \in \{+,-,0,\tau\}$, соответствуют прямые произведения решеток M^{σ}_{x}- и M^{σ}_{y}-предикатов и их отрицаний [10, 11], а в [10] была установлена реляционная корректность ДСМ-рассуждений для правил индуктивного вывода (п.п.в.-1), правил вывода по аналогии (п.п.в.-2) и аксиом каузальной полноты $(АКП^{(\sigma)})$, соответствующих принятию гипотез посредством абдукции [1].

Таким образом, алгебраическим представлением множества возможных каузальных вынуждений (*forcing*) являются решетки M^{+}_{x}- и M^{-}_{y}-предикатов и дуальные решетки для их отрицаний [10, 11]. На рис. 1 представлены решетки M^{σ}-предикатов $IntL^{\sigma}$, а на рис. 2 и 3 – их подрешетки $IntL^{\sigma}_{1}$ и $IntL^{\sigma}_{2}$

---

[5] $\rightleftharpoons$ – символ равенства по определению.

[6] Индекс *n* выражает число тактов последовательного применения правил правдоподобного вывода.

[7] Условия «сходства–различия» $d^{\sigma}_{2}(V,W)$ определяются в [11].

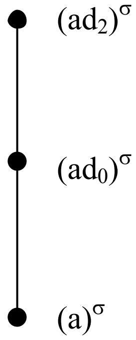

Рис. 1. $IntL_1^\sigma$

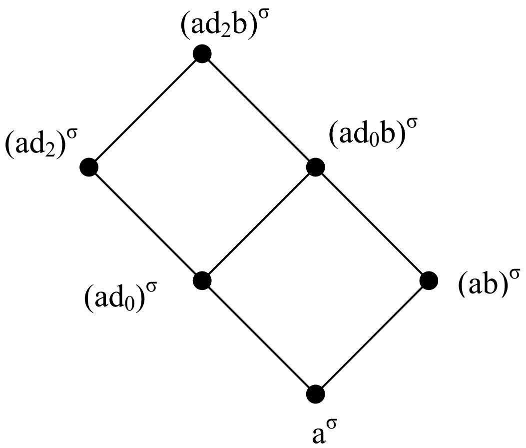

Рис. 2. $IntL^\sigma$

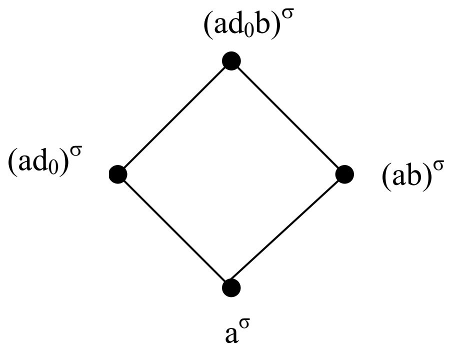

Рис. 3. $IntL_2^\sigma$

Условия x^σ и y^σ являются усилением наименьших каузальных вынуждений, представимых M_a^σ-предикатами сходства, что характеризуется утверждением: если $IntM_{z_1}^\sigma \geq IntM_{z_2}^\sigma$, то $ExtM_{z_1}^\sigma \subseteq ExtM_{z_2}^\sigma$ [11].

Говоря неформально, M^σ-предикаты $(\sigma \in \{+,-\})$ и $п.п.в.-1^{(\sigma)}$, где $\sigma \in \{+,-,0,\tau\}$ выражают каузальные вынуждения (*forcing*) эффектов посредством обнаруженных гипотез их причин. Эти каузальные вынуждения упорядочены по их «логической силе», что представимо в соответствующих решетках и их прямых произведениях [11]. Эти прямые произведения индуцируют упорядоченность как п.п.в.-2 (правил вывода по аналогии), так и $АКП^{(\sigma)}$ (аксиом каузальной полноты), которые используются при принятии результатов ДСМ-рассуждений в двух шкалах оценок качества рассуждений и гипотез, соответствующих стратегиям ДСМ-рассуждений $Str_{x,y}$ из заданного их множества $\overline{Str}$ [10].

Заметим, что $Str_{x,y}$ характеризуют **вид** ДСМ-рассуждений, бинарные или тернарные отношения причинности характеризуют **тип** ДСМ-рассуждений [13], а соотношение «логической силы» (+)-причин и (–)-причин представимо посредством интегральной организации стратегий ДСМ-рассуждений, использующей изоморфизм $п.п.в.-1^{(\sigma)}$, где $\sigma \in \{+,-,0,\tau\}$, что характеризует **тип** ДСМ-рассуждений посредством их классов RD и RD_ϕ (последние используют изоморфизм $\phi\ п.п.в.-1^{(\sigma)}$) [10].

В соответствии с **видом** ДСМ-рассуждений [10] применяются $п.п.в.-1^{(\sigma)}$ с M_x^+- и M_y^--предикатами $(I)_{x,y}^\sigma$, где $\sigma \in \{+,-,0,\tau\}$, например:

$$(I)_{x,y}^+ \quad \frac{J_{(\tau,n)}(V \Rightarrow_2 W), M_{x,n}^+(V,W) \& \neg M_{y,n}^-(V,W)}{J_{\langle 1,n+1\rangle}(V \Rightarrow_2 W)}.$$

Для каждой стратегии ДСМ-рассуждений $Str_{x,y}$ определяется процедура принятия порожденных посредством п.пв.-1 и п.п.в.-2 гипотез, которой является **абдукция** [1].

Абдукция в ДСМ-методе основана на аксиомах каузальной полноты $АКП^{(\sigma)}$, которыми являются

$АКП_{x,y}^{(+)}$ $\forall X \forall Y \exists V (J_{\langle 1,0\rangle}(X \Rightarrow_1 Y) \to \exists n (J_{\langle 1,n\rangle}(V \Rightarrow_2 Y) \,\&\, (V \subset X)))$,

$АКП^{(-)}$ $\forall X \forall Y \exists V (J_{\langle -1,0\rangle}(X \Rightarrow_1 Y) \to \exists n (J_{\langle -1,n\rangle}(V \Rightarrow_2 Y) \,\&\, (V \subset X)))$,

где $J_{\langle \nu,o\rangle}(X \Rightarrow_1 Y)$ представляют факты (n=0) из рассматриваемых баз фактов $БФ(p)$, $p = 0,1,...,s$. Смысл $АКП^{(\sigma)}$ состоит в том, что каждый (σ)-факт с эффектом Y имеет его (σ)-причину V, где $\sigma \in \{+,-\}$.

$$БФ(p) = БФ^+(p) \cup БФ^-(p) \cup БФ^\tau(p),$$

где $БФ^\sigma(p) = \{\langle X,Y\rangle \mid J_{\langle \nu,0\rangle}(X \Rightarrow_1 Y)\}$,

$$\nu = \begin{cases} 1, если\ \sigma = + \\ -1, если\ \sigma = - \end{cases},$$

а $БФ^\tau(p) = \{\langle X,Y\rangle \mid J_{(\tau,m)}(X \Rightarrow_1 Y)\}$. Очевидно, что $БФ^\sigma(p)$, где $\sigma \in \{+,-,0,\tau\}$, взаимно-однозначно соответствуют множества элементарных высказываний $\Omega^+(p), \Omega^-(p), \Omega^\sigma(p)$, т. е. формулы вида

$J_{\langle 1,0\rangle}(C \Rightarrow_1 Q)$, $J_{\langle -1,0\rangle}(C \Rightarrow_1 Q)$, $J_{(\tau,0)}(C \Rightarrow_1 Q)$, где C и Q – константы (C – объект, Q – множество свойств), $\sigma = 0, \tau$.

Ослаблением $АКП^{(\sigma)}$ являются утверждения $E^{(\sigma)}$, где $E^{(+)}$ есть
$\exists X \exists Y \exists V \exists n (J_{\langle 1,0\rangle}(X \Rightarrow_1 Y) \& J_{\langle 1,n\rangle}(V \Rightarrow_2 Y) \& (V \subset X))$,
а $E^{(-)}$ есть
$\exists X \exists Y \exists V \exists n (J_{\langle -1,0\rangle}(X \Rightarrow_1 Y) \& J_{\langle -1,n\rangle}(V \Rightarrow_2 Y) \& (V \subset X))$.

$АКП^{(\sigma)}$ и $E^{(\sigma)}$ соответствуют функции степени абдуктивного объяснения баз фактов $БФ(p)$ $\rho^{\sigma}(p)$ такие, что: $\rho^{\sigma}(p) = \dfrac{|\tilde{БФ}^{\sigma}(p)|}{|БФ^{\sigma}(p)|}$,

где $\tilde{БФ}^{\sigma}(p) = \begin{Bmatrix} \langle X,Y\rangle \,|\, \exists n (J_{\langle \nu,0\rangle}(X \Rightarrow_1 Y) \& \\ J_{\langle \nu,n\rangle}(V \Rightarrow_2 Y) \& (V \subset X) \end{Bmatrix}$,

$\nu = \begin{cases} 1, \text{если } \sigma = + \\ -1, \text{если } \sigma = - \end{cases}$, а $|\tilde{БФ}^{\sigma}(p)|$ и $|БФ^{\sigma}(p)|$ – числа элементов (пар $\langle X,Y\rangle$) $\tilde{БФ}^{\sigma}(p)$ и $БФ^{\sigma}(p)$, соответственно $(p = 0,1,...,s)$.

__Замечание 2-1.__ Истинности $АКП^{(\sigma)}$ соответствует $\rho^{\sigma}(p) = 1$, если же имеет место $E^{(\sigma)}$ и истинно высказывание
$(*)$ $\exists X \exists Y \neg \exists V \exists n (J_{\langle 1,0\rangle}(X \Rightarrow_1 Y) \& J_{\langle 1,n\rangle}(V \Rightarrow_2 Y) \& (V \subset X))$,
то $0 < \rho^{\sigma}(p) < 1$.

Для **принятия** результатов ДСМ-рассуждений естественно задавать допустимые **пороги степени абдуктивного объяснения *БФ(p)***: $\rho^{\sigma}(p) \geq \overline{\rho}^{\sigma}$, где $\overline{\rho}^{\sigma}$ – заданный порог (например, $\overline{\rho}^{\sigma} = 0{,}8$), $\sigma \in \{+,-\}$.

В случае, если $\rho^{\sigma}(0) < \overline{\rho}^{\sigma}$, то потребуется последовательное расширение исходной *БФ(0)* такое, что $БФ(0) \subset ... \subset БФ(s)$ и $\rho^{\sigma}(s) \geq \overline{\rho}^{\sigma}$.

ДСМ-рассуждения являются основным компонентом ДСМ-метода автоматизированной поддержки научных исследований (ДСМ-метода АПНИ) [9, 10]. Одним из условий применимости ДСМ-метода АПНИ является характеризация предметной области («мира W1-2») как множества (+)- и (–)-фактов такого, что на этом множестве определены предикаты $V \Rightarrow_2 W$ («*V* – причина эффекта *W*») и M_x^+- и M_y^--предикатами сходства, которым соответствуют дистрибутивные решетки интенсионалов и их прямые произведения для $п.п.в.-1^{(\sigma)}$, где $\sigma \in \{+,-,0,\tau\}$. Указанные решетки и их прямые произведения, как было отмечено в [10], характеризуют упорядоченное множество «каузальных вынуждений» исследуемых эффектов, которые определяют (*determinate*) **вид** ДСМ-рассуждений.

Таким образом, имеет место следующий принцип ДСМ-рассуждений – *P3*. Множество правил правдоподобного вывода, образующих ДСМ-рассуждения, упорядочено по «логической силе», соответствующей видам «каузального вынуждения (*forcing*)».

Заметим, что *P3* является принципом, конкретизирующим и усиливающим идеи Д.С. Милля об индукции [4]. Более того, *P3* предполагает наличие **онтологического основания** каузальных вынуждений – аксиомы каузальной полноты $АКП^{(\sigma)}$ и их ослаблений $E^{(\sigma)}$, где $\sigma \in \{+,-\}$, которые заменяют спекулятивный принцип индукции Д.С. Милля («закон единообразия природы» [4]). $АКП^{(\sigma)}$ и $E^{(\sigma)}$ **конструктивно** влияют на принятие гипотез посредством ДСМ-рассуждений.

Второй познавательной процедурой, образующей ДСМ-рассуждение являются правила правдоподобного вывода по аналогии – п.п.в.-2 [1, 6], которые имеют посылки, содержащие предикаты $\Pi_n^{\sigma}(X,Y)$, определяемые посредством предикатов $V \Rightarrow_2 W$, где $\sigma \in \{+,-,0,\tau\}$, представляющие аргументы согласно *P2*. П.п.в.-2 имеют вид

$$(II)^{\sigma} \quad \frac{J_{(\tau,n)}(X \Rightarrow_1 Y), \Pi_n^{\sigma}(X,Y)}{J_{\langle \nu,n+1\rangle}(X \Rightarrow_1 Y)},$$

где $\sigma \in \{+,-,0\}$,

а $\nu = \begin{cases} 1, \text{если } \sigma = +, \\ -1, \text{если } \sigma = -,. \\ 0, \text{если } \sigma = 0 \end{cases}$

Аналогично определяется и $(II)^{\tau}$, следствием которого является $J_{(\tau,n+1)}(X \Rightarrow_1 Y)$, а
$\Pi_n^{\sigma}(X,Y) \rightleftharpoons \neg(\Pi_n^{+}(X,Y) \vee \Pi_n^{-}(X,Y) \vee \Pi_n^{0}(X,Y))$ [1].

Так как посылки п.п.в.-2 содержат предикат $V \Rightarrow_2 W$, порожденный применениями правил индуктивного вывода п.п.в.-1, то $(II)^{\sigma}$ являются правилами **амплиативного** вывода, заключения которого выразимы посредством предиката $X \Rightarrow_1 Y$. А так как посылки п.п.в.-2 с заключением, выразимом посредством $V \Rightarrow_2 W$, сходны с заключением п.п.в.-1, то п.п.в.-1 является выводом по **аналогии,** использующим сходство, выразимое посредством предиката $V \Rightarrow_2 W$ («*V* – причина эффекта *W*»).

Заключение вывода по аналогии $п.п.в.-2^{(+)}$ представляет **индуктивное обобщение** для высказываний вида «*X* обладает множеством свойств *Y*» с истинностным значением $\langle 1, m+1\rangle$ таких, что для эффекта *Y* существует причина *V*, у которой не существуют препятствия, выразимые посредством $J_{\langle -1,m\rangle}(Z \Rightarrow_2 Y) \vee J_{\langle 0,m\rangle}(Z \Rightarrow_2 Y)$, где $Z \subset X$[1]. Аналогично характеризуется индуктивное обобщение для заключений $п.п.в.-1^{-}$ с истинностным значением $\langle -1, m+1\rangle$.

Формулы
$\forall V \forall W((J_{(\tau,m)}(X \Rightarrow_1 Y) \& \Pi_m^\sigma(X,Y)) \to J_{\langle \nu, m+1\rangle}(X \Rightarrow_1 Y))$,
где $\sigma \in \{+,-,0\}$,
а $\nu = \begin{cases} 1, \text{если } \sigma = + \\ -1, \text{если } \sigma = - \\ 0, \text{если } \sigma = 0 \end{cases}$,
выражают принцип **индуктивного обобщения** (взаимодействие индукции и аналогии): каждый (τ)-пример, содержащий (+)-причины эффекта, должен обладать этим эффектом и становится его (+)-примером; каждый (τ)-пример, содержащий (–)-причины эффекта, не должен обладать этим эффектом и становится его (–)-примером; каждый (τ)-пример такой, что выполняется $\Pi_m^0(X,Y)$, становится его (0)-примером.

Таким образом, п.п.в.-2 (правила вывода по аналогии) осуществляют **индуктивное обобщение** посредством предиката $V \Rightarrow_2 Y$ («*V* причина *Y*»), которое получает истинностные значения $\bar{\nu} = \langle \nu, m+1 \rangle$, уменьшающие степень правдоподобия гипотез (*m* заменяется на *m+1*).

Взаимодействие п.п.в.-1 (индукции) и п.п.в.-2 (аналогии) является итеративным процессом, которому соответствует параметр *m* – число тактов правдоподобных выводов п.п.в.-1 и п.п.в.-2 до стабилизации:
(S_q) $(\text{п.п.в.}-1 \to \text{п.п.в.}-2)_1 \to (\text{п.п.в.}-1 \to \text{п.п.в.}-2)_2 \to \ldots \to (\text{п.п.в.}-1 \to \text{п.п.в.}-2)_n$,
где *n* – число последовательного применения п.п.в.-1 и п.п.в.-2 до стабилизации, когда результаты тактов *n* и *n+1* совпадают.

Последовательность (S_q) применений правил правдоподобного вывода $(\text{п.п.в.}-1 \to \text{п.п.в.}-2)$ до их стабилизации, применяемая к множеству фактов $\Omega(p)$, соответствующему $Б\Phi(p)$, образует оператор $O_{x,y}(\Omega(p))$ для стратегии ДСМ-рассуждений $Str_{x,y} : O_{x,y}(\Omega(p)) = \tilde{\Omega}(p)$, где $\tilde{\Omega}(p)$ – результат применения последнего п.п.в.-2 (вывода по аналогии), порождающего гипотезы предсказания исследуемого эффекта [9].

Оператор $O_{x,y}$ определен для каждой стратегии ДСМ-рассуждений $Str_{x,y}$, образованной посредством п.п.в.-1 (индукции), состоящей из четырех правил $(I)^+_{x,y}, (I)^-_{x,y}, (I)^0_{x,y}, (I)^\tau_{x,y}$.

Правилам $(I)^\sigma_{x,y}$, где $\sigma \in \{+,-,0,\tau\}$, соответствуют прямые произведения решеток M_x^+- и M_y^--предикатов сходства и их отрицаний [11].

Оператор ДСМ-рассуждения (ДСМ-оператор) $\bar{O}_{x,y}$ определим следующим образом.

$$Df.1-1. \quad \bar{O}_{x,y}(\Omega) = O_{x,y}(\Omega) \cup \Omega .$$

Очевидны следующие свойства $\bar{O}_{x,y}$:

1. $\Omega \subseteq \bar{O}_{x,y}(\Omega)$,
2. $\bar{O}_{x,y}(\bar{O}_{x,y}(\Omega)) = \bar{O}_{x,y}(\Omega)$.

$Df.2-1$. **Допустимым ДСМ-рассуждением** будем называть последовательность
$(\bar{S}_q)$ $\bar{O}_{x,y}(\Omega(0)), \rho^+(0), \rho^-(0), \ldots, \bar{O}_{x,y}(\Omega(p)), \rho^+(p), \rho^-(p), \ldots, \bar{O}_{x,y}(\Omega(s)), \rho^+(s), \rho^-(s)$,
где $\Omega(0) \subset \ldots \subset \Omega(p) \subset \ldots \subset \Omega(s)$ такую, что:
(1) $\rho^+(s) \geq \bar{\rho}^+, \rho^-(s) \geq \bar{\rho}^-$, где $\bar{\rho}^\sigma$ – заданные пороги для принятия ДСМ-рассуждения;
если же имеет место
(2) $\rho^+(s) < \bar{\rho}^+$ или $\rho^-(s) < \bar{\rho}^-$,
а $\Omega(0) \subset \ldots \subset \Omega(p) \subset \ldots \subset \Omega(s)$, то ДСМ-рассуждение $(\bar{S}_q)$ будем называть **недопустимым** [13].

<u>Замечание 3-1.</u> Определение $Df.2-1$ является уточнением и конкретизацией термина «рассуждение», введенного в §1. Сформулируем особенности ДСМ-рассуждений, характерные для формализованной эвристики обнаружения эмпирических закономерностей в последовательностях расширяемых баз фактов $Б\Phi(0) \subset \ldots \subset Б\Phi(s)$, которые будут рассмотрены в последующих разделах данной статьи [9].

1^0. $\bar{O}_{x,y}$ определен как взаимодействие п.п.в.-1 (индукция) и п.п.в.-2 (аналогии), а за каждым членом последовательности $\bar{O}_{x,y}(p)$ следуют $\rho^+(p), \rho^-(p)$, выражающие степень абдуктивного объяснения $Б\Phi(p)$, что необходимо для оценки порождаемых гипотез с целью их принятия или неприятия.

Таким образом, в $(\bar{S}_q)$ содержится синтез (взаимодействие) трех познавательных процедур – индукции, аналогии и абдукции.

Ранее было отмечено, что формализация канонов Д.С. Милля [4] основана на двух принципах *P1* (сходства) и *P2* (аргументации), которые усилены принципом *P3*, характеризующим «каузальные вынуждения (*forcing*)», которые основаны на аксиомах $АК\Pi^{(\sigma)}$ и их ослаблениях $E^{(\sigma)}$.

Определению $Df.2-1$ соответствует следующий принцип ДСМ-рассуждений. *P4*. ДСМ-рассуждение, образованное ДСМ-оператором $\bar{O}_{x,y}$ и вычислениями функций степени абдуктивного объяснения баз фактов $Б\Phi(p)$ $\rho^\sigma(p)$, где $\sigma \in \{+,-\}$, реализует **синтез познавательных процедур – индукции, аналогии и абдукции.**

Заметим, что *P4* согласуется с $АК\Pi^{(\sigma)}$ и $E^{(\sigma)}$. Таким образом, важной особенностью ДСМ-рассуждений, представленной в пункте 1^0, является синтез индукции, аналогии и абдукции, который соответствует познавательному процессу: «анализ данных – предсказание – объяснение», что выражает *P4*.

2^0. Следующей особенностью ДСМ-рассуждений, рассмотренной ранее, является использование

амплиативных выводов [2], порождающих новые знания, которыми являются п.п.в.-1 и п.п.в.-2.

3^0. Особенностью ДСМ-рассуждений является также **контроль** за выводами, что представимо функциями $\rho^\sigma(p)$ и распознаванием необходимости продолжать расширение $БФ(p)$ для достижимости порогов $\overline{\rho}^\sigma$.

4^0. Особенностью ДСМ-рассуждений, которая будет подробно рассмотрена в следующих разделах настоящей статьи, является несингулярная оценка качества порождаемых гипотез, представимая в двух шкалах – оценки качества рассуждений и гипотез [10].

Замечание 4-1. Несингулярная оценка высказываний, выражаемая условиями, отличными от истинностных значений t и f («истина» и «ложь») применяется в оценках высказываний посредством бирешеток [14].

Истинностные значения ДСМ-рассуждений $\overline{\nu} = \langle \nu, n \rangle$, где ν – **типы** истинностных значений $(\nu \in \{1, -1, 0\})$, а (τ, n) – множества возможных истинностных значений, содержат параметр n, являющийся степенью правдоподобия порождаемых гипотез. Однако результаты ДСМ-расуждений характеризуются также применяемыми $Str_{x,y}$, степенью абдуктивного объяснения баз фактов $БФ(p)$ посредством $\rho^\sigma(p)$, а также участием (или неучастием) в обнаружении эмпирических закономерностях [9, 10]. Обнаружение ЭЗК является целью **ДСМ-исследований**, которые используют и завершают ДСМ-рассуждения.

§ 2. ДСМ-ИССЛЕДОВАНИЯ

Уточним используемые в конце §1 термины «исследование» и «эмпирическая закономерность».

Под «**эмпирической закономерностью** (ЭЗК)» будем понимать регулярное сохранение наблюдаемого эффекта в последовательности расширяемых данных (фактов).

Под **исследованием** будем понимать решение проблем посредством метода, выраженного в языке, таком, что он имеет **дескриптивные** и **аргументативные** функции, а результаты применения метода (1) допускают фальсификацию и, возможно, верификацию; (2) содержат обнаруженные эмпирические закономерности[8].

Проблемой, решаемой посредством ДСМ-метода автоматизированной поддержки научных исследований (ДСМ-метода АПНИ), является формирование открытых квазиаксиоматических теорий (КАТ) с использованием расширяемых массивов фактов (баз фактов интеллектуальных систем) [1, 16].

Языком представления знаний в КАТ, использующих ДСМ-рассуждения, является язык *JL* [16] слабой логики предикатов 2-го порядка [17–19] с конечным числом типов истинностных значений $(1, -1, 0, \tau)$ и бесконечным числом истинностных значений ($\overline{\nu} = \langle \nu, n \rangle$, где n – натуральное число) [20].

Дескриптивная функция *JL* осуществляется ориентированным на предметную область представлением фактов и формализацией сходства фактов в соответствии с принципом *P1*.

Аргументативная функция *JL* реализуется в ДСМ-рассуждениях в соответствии с принципом *P2* посредством применения принципов *P3* и *P4*.

Правила правдоподобного вывода п.п.в.-1 (индукция) и п.п.в.-2 (аналогия) содержат внутренние средства фальсификации возможных следствий, использующие сравнения (+)- и (–)-примеров.

Содержанием идеи **исследования** является **обнаружение знаний (*knowledge discovery – KD*), предсказание знаний и принятие знаний;** процедурами *KD* являются **анализ данных (фактов) – порождение гипотез – объяснение полученных результатов;** логическими средствами *KD* являются **индукция–аналогия–абдукция** (согласно принципу синтеза познавательных процедур *P4*.

Принципы *P1*, *P2*, *P3* и *P4* являются методологическими основаниями ДСМ-рассуждений, которые применяются к расширяемым массивам фактов (базам фактов *БФ(p)*, где $БФ(0) \subset \ldots \subset БФ(s)$) для обнаружения эмпирических закономерностей (ЭЗК), завершающих формирование баз знаний интеллектуальной системы (ИС-ДСМ) на соответствующем этапе её состояния, когда результаты этой системы получают приемлемое **оправдание.**

Под эмпирической закономерностью (ЭЗК) будем понимать совместное сохранение гипотез о (σ)-причинах $(\sigma \in \{+, -\})$ исследуемого эффекта и его правильное предсказание посредством гипотез о (σ)-причинах при возможных и допустимых расширениях баз фактов *БФ(p)*, где $p = 0,1,\ldots,s$, $БФ(0) \subset \ldots \subset БФ(s)$), а в состоянии $БФ(s)$ выполняется $\rho^\sigma(s) \geq \overline{\rho}^\sigma$, где $\sigma \in \{+, -\}$.

Таким образом, **ДСМ-исследование** есть обнаружение эмпирической закономерности посредством ДСМ-рассуждений для $БФ(0), \ldots, БФ(s)$ таких, что $БФ(0) \subset \ldots \subset БФ(s)$ и $\rho^\sigma(s) \geq \overline{\rho}^\sigma$, где $\overline{\rho}^\sigma$ – заданные пороги $(\sigma \in \{+, -\})$.

Для того, чтобы дать формальное определение ЭЗК следует использовать расширение языка *JL*, являющиеся его **метаязыком** *MJL* [16], который содержит *JL* и имеет дополнительные средства для отображения процедур обнаружения ЭЗК в последовательностях расширяемых баз фактов $БФ(0), БФ(1), \ldots, БФ(s)$.

1^0. Термами и формулами *MJL* являются термы и формулы *JL* (точнее, их переводы).

2^0. Термами *MJL* являются функции $\Omega(p)$ и $\Delta(p)$ [16], областью определения (*domain*), которых

[8] Идея наличия аргументативной и дескриптивной функций в языках для представления знаний в научных исследованиях принадлежит К.Р. Попперу [15].

являются номера расширений *БФ(p)* $p = 0,1,...,s$, а областью значений (*range*) – множества формул вида

$$J_{\langle\nu,0\rangle}(C \Rightarrow_1 Q), J_{(\tau,0)}(C \Rightarrow_1 Q)$$

и

$$J_{\langle\nu,0\rangle}(C' \Rightarrow_2 Q), J_{(\tau,0)}(C' \Rightarrow_2 Q),$$

соответственно, где $\nu \in \{+,-,0\}$.

3^0. Термом *MJL* является функция $g_2(\langle V,W\rangle,\Omega(p))$ такая, что:

$g_2 :)\mathbf{\Delta}(\quad \times \mathbf{\Omega} \to \{1,-1,0,\tau,*\}$,

где $)\mathbf{\Delta}(= \{\langle C_1',Q_1\rangle,...,\langle C_m',Q_m\rangle\}$,

а $m = |\Delta(0) \cup ... \cup \Delta(s)|$ – число всех порожденных гипотез о (σ)-причинах $(\sigma \in \{+,-,0,\tau\})$; $\mathbf{\Omega} = \{\Omega(0),...,\Omega(s)\}$.

4^0. Термом *MJL* является функция $g_1(\langle Z,W\rangle,\Omega(p))$ такая, что:

$g_1 :)\Omega^\tau(\quad \times \mathbf{\Omega} \to \{1,-1,0,\tau\}$,

где $)\Omega^\tau(= \{\langle C_1,Q_1\rangle,...,\langle C_l,Q_l\rangle\}$ взаимно-однозначно соответствует $\Omega^\tau(0)$ - множеству высказываний вида $J_{(\tau,0)}(C \Rightarrow_1 Q)$, а $|\Omega^\tau(0) = l$.

Функция $\sigma(p) = g_2(\langle v,w\rangle,\Omega(p))$ определяется следующим образом:

$$\sigma(p) = \begin{cases} \nu, \text{если } J_{\langle\nu,n_p\rangle}(C' \Rightarrow_2 Q) \in \tilde{\Delta}_{x,y}(p); \\ \tau, \text{если } J_{(\tau,n_p)}(C' \Rightarrow_2 Q) \in \tilde{\Delta}_{x,y}(p); \\ *, \text{иначе}; \end{cases}$$

где $\nu \in \{1,-1,0\}$, C',Q – константы,

а $*$ означает, что $\sigma(p)$ **не определена** для $\langle\langle C',Q\rangle,\Omega(p)\rangle$, т. е. для $\Omega(p)$ $J_{(\nu,n_p)}(C' \Rightarrow_2 Q)$ и $J_{\langle\tau,n_p\rangle}(C' \Rightarrow_2 Q)$ еще не порождены.

Далее определим термы *MJL* $B_2^\sigma(V,W), D_2^\sigma(V,W)$ и $B_1^\sigma(Z,W), D_1^\sigma(Z,W)$, где $\sigma \in \{+,-\}$:

$$B_2^+(V,W) = \begin{Bmatrix} \sigma(p) \,|\, (\sigma(p) = \\ g_2(\langle V,W\rangle,\Omega(p))\&(\sigma(\text{p}) = 1)\&(0 \le \text{p} \le \text{s}) \end{Bmatrix},$$

$$D_2^+(V,W) = \begin{Bmatrix} \sigma(p) \,|\, (\sigma(p) = \\ g_2(\langle V,W\rangle,\Omega(p))\&\neg(\sigma(\text{p}) = 1)\&(0 \le \text{p} \le \text{s}) \end{Bmatrix}.$$

Аналогично определяются $B_2^-(V,W)$ и $D_2^-(V,W)$.

Посредством $|D_2^\sigma(V,W)|$ и $|B_2^\sigma(V,W)|$ определим числа элементов соответствующих множеств.

Определим, далее, функционалы **степени несохранения** типов истинностных значений «фактическая истина» (1) и «фактическая ложь» (-1), соответственно, для $V \Rightarrow_2 W$:

***Df.*1–2**. $\xi_2^\sigma(\langle V,W\rangle,\Omega(p))\rangle = \dfrac{|D_2^\sigma(V,W)|}{|B_2^\sigma(V,W)|}$,

где $\sigma \in \{+,-\}$.

Функционалы **степени сохранения** типов истинностных значений (1 и -1) для $V \Rightarrow_2 W$ определим следующим образом:

***Df.*2–2**. $\bar{\xi}_2^\sigma(\langle V,W\rangle,p) = \begin{cases} 1-\xi_2^\sigma(\langle V,W\rangle,\Omega(p)), \text{если} \\ |D_2^\sigma(V,W)| \lhd B_2^\sigma(V,W)| \\ \#, \quad \text{если} \,|D_2^\sigma(V,W)| \unrhd B_2^\sigma(V,W)| \end{cases}$,

где $\sigma \in \{+,-\}$,

а символ # означает, что $\bar{\xi}_2^\sigma(\langle V,W\rangle,\Omega(p))$ **не определен** для $\langle\langle V,W\rangle,p\rangle$. Аналогично определим функционалы **степени сохранения** типов истинностных значений (1 и -1) для $X \Rightarrow_1 Y$.

Определим $\Theta(p) = g_1(\langle Z,V\rangle,\Omega(p))$,

где $\Theta(p) = \begin{cases} \nu, \text{ если } J_{\langle\nu,n_p\rangle}(C \Rightarrow_1 Q) \in \tilde{\Omega}_{x,y}^\nu(p) \\ \tau, \text{ если } J_{(\tau,n_p)}(C \Rightarrow_1 Q) \in \tilde{\Omega}_{x,y}^\tau(p) \end{cases}$,

$\nu \in \{1,-1,0\}$, $\bar{O}_{x,y}(\Omega(p)) = \tilde{\Omega}_{x,y}(p)$ для стратегии $Str_{x,y}$, а *C,Q* – константы.

Определим термы *MJL* $B_1^\sigma(Z,W)$ и $D_1^\sigma(Z,W)$:

$B_1^+(Z,W) = \{\Theta(p) \,|\, (\Theta(p) = g_1(\langle Z,W\rangle,\Omega_p))\&$
$(\Theta(p) = 1)\&(0 \le \text{p} \le \text{s})\}$,

$D_1^+(Z,W) = \{\Theta(p) \,|\, (\Theta(p) = g_1(\langle Z,W\rangle,\Omega(p))\&\neg$
$(\Theta(p) = 1)\&(0 \le \text{p} \le \text{s})\}$.

Аналогично определяются $B_1^-(Z,W)$ и $D_1^-(Z,W)$.

***Df.*3–2.** $\xi_1^\sigma(\langle Z,W\rangle,\Omega(p)) = \dfrac{|D_1^\sigma(Z,W)|}{|B_1^\sigma(Z,W)|}$,

где $\sigma \in \{+,-\}$.

***Df.*4–2.** $\bar{\xi}_1^\sigma(\langle Z,W\rangle,\Omega(p)) = \begin{cases} 1-\xi_1^\sigma(\langle Z,W\rangle,\Omega(p)), \text{ если} \\ |D_1^\sigma(Z,W)| \lhd B_1^\sigma(Z,W)| \\ \neq, \quad \text{если} \,|D_1^\sigma(Z,W)| \unrhd B_1^\sigma(Z,W)| \end{cases}$,

где

$\sigma \in \{+,-\}$,

а символ $\neq$ означает, что $\bar{\xi}_1^\sigma(\langle Z,W\rangle,\Omega(p))$ **не определен** для $\langle\langle Z,W\rangle,\Omega(p)\rangle$.

<u>Замечание 1-2.</u> Предикаты $V \Rightarrow_2 W$ и $X \Rightarrow_1 Y$ в *JL* определены для каждой *БФ(p)*, где $p = 0,1,...,s$, а $БФ(0) \subset ... \subset БФ(s)$ в соответствии с определением ДСМ-рассуждения и $\rho^\sigma(p)$, где $\rho^\sigma(s) \ge \bar{\rho}^\sigma$, $\sigma \in \{+,-\}$, а $\bar{\rho}^\sigma$ – заданные пороги. Следовательно, корректным обозначением этих предикатов будет следующее: $V \Rightarrow_2^{(p)} W$, $X \Rightarrow_1^{(p)} Y$, где *p* – параметр, соответствующий их области определения (*domain*).

В *MJL* определим теперь предикаты $L_2^\sigma(V,W)$ и $L_1^\sigma(Z,W)$[9] такие, что они могут выражать **пролонги-**

[9] Эти предикаты были определены в [16] (*Df.*15-4 и *Df.*16-4).

рованную выполнимость на последовательности вложенных баз фактов $БФ(0) \subset ... \subset БФ(s)$.

***Df*.5–2.** $L_2^+(V,W) \rightleftharpoons$
$\forall p \exists n \exists s(((J_{\langle 1,2n-1\rangle}(V \Rightarrow_2^{(p)} W) \in \tilde{\Delta}_{x,y}(p)) \rightarrow$
$((\tilde{\xi}_2^+(\langle V,W\rangle,\Omega(p)) = 1)\&$
$(\bar{\rho}^+ \le \rho^+(s) \le 1)\&(0 \le \text{p} \le \text{s})))\&$,
$(\text{J}_{\langle 1,1\rangle}(V \Rightarrow_2^{(p)} W) \in \tilde{\Delta}_{x,y}(0)))$
где
$(I)_{x,y}(\Omega(0)) = \tilde{\Delta}_{x,y}(0), (I)_{x,y}(\Omega(p)) = \tilde{\Delta}_{x,y}(p).$

***Df*.6–2.** $L_1^+(Z,W) \rightleftharpoons$
$\forall p \exists n \exists s(((J_{\langle 1,2n\rangle}(Z \Rightarrow_1^{(p)} W) \in \tilde{\Omega}_{x,y}(p)) \rightarrow$
$((\tilde{\xi}_1^+(Z,W),\Omega(p)) = 1)\&$
$(\bar{\rho}^+ \le \rho^+(s) \le 1)\&(0 \le \text{p} \le \text{s})))\&$,
$(\text{J}_{\langle 1,2\rangle}(Z \Rightarrow_1^P W) \in \tilde{\Omega}_{x,y}(0)))$
где
$\bar{O}_{x,y}(\Omega(0)) = \tilde{\Omega}_{x,y}(0), \bar{O}_{x,y}(\Omega(p)) = \tilde{\Omega}_{x,y}(p).$

$Df.5-2$ и $Df.6-2$ определены для $Str_{x,y}, Str_{x,y} \in \overline{Str}.$

Заметим, что $Str_{x,y}$ соответствует **виду** каузальных вынуждений, которые, вообще говоря, частично упорядочены, а для некоторых п.п.в.-1 характеризуются прямыми произведениями решеток M^σ-предикатов и их отрицаний [10].

Индукция в ДСМ-рассуждениях, определяемых посредством оператора $\bar{O}_{x,y}(\Omega(p))$ и функций $\rho^\sigma(p)$, характеризуется декларативными аксиомами квазиаксиоматических теорий $A_{1,(x,y)}^\sigma$, где $\sigma \in \{+,-,0,\tau\}$ [16]:

$$A_{1,(x,y)}^+ \quad \forall V \forall W((J_{(\tau,2m)}(V \Rightarrow_2 W)\& \mathrm{M}_{\mathrm{x,m}}^+(V,W)\&\neg\mathrm{M}_{\mathrm{y,m}}^-(V,W)) \rightarrow J_{\langle 1,2m+1\rangle}(V \Rightarrow_2 W)),$$

$$A_{1,(x,y)}^- \quad \forall V \forall W((J_{(\tau,2m)}(V \Rightarrow_2 W)\& \neg\mathrm{M}_{\mathrm{x,m}}^+(V,W)\&\mathrm{M}_{\mathrm{y,m}}^-(V,W)) \rightarrow J_{\langle -1,2m+1\rangle}(V \Rightarrow_2 W)).$$

Аналогично формулируются $A_{1,(x,y)}^0$ и $A_{1,(x,y)}^\tau$.

Таким образом, для каждой стратегии ДСМ-рассуждения комбинации M^σ-предикатов (+)-сходства, (–)-сходства и их отрицаний вынуждают (σ)-гипотезы об отношении причинности, выразимой предикатом $V \Rightarrow_2 W$ (V – причина W).

Заметим, что гипотезу $J_{\langle \nu,2m+1\rangle}(C' \Rightarrow_2^P Q)$ и $J_{(\tau,2m+1)}(C' \Rightarrow_2^P Q)$ порождены относительно *БФ(p)*, где $p = 0,1,...,s,$ а C', Q – константы. Гипотезы, порожденные для *БФ(p)*, являются, следовательно, **локальными** (относительно $БФ(0) \subset ... \subset БФ(p) \subset ... \subset БФ(s)$).

$M_{x,m}^+(V,W)\&\neg M_{y,m}^-(V,W)$ является **локальным вынуждающим** условием для гипотез, выразимых посредством $J_{\langle 1,2m+1\rangle}(V \Rightarrow_2^P W)$ и являющихся результатом применения п.п.в.-1 (индуктивного вывода). $M_{x,m}^+(V,W)$ выражает **обоснованное** сходство (+)-фактов (примеров), а $\neg M_{y,m}^-(V,W)$ – отсутствие совпадения сходства (–)-фактов и (+)-фактов.

$M_{x,m}^+(V,W)$ содержит конъюнкцию: экзистенциального условия $(ЭУ^+)$, условия сходства (+) – фактов, условия эмпирической зависимости предполагаемой причины (V) и эффекта (W) (ЭЗв), условия исчерпываемости всех сходных (+)-фактов (примеров), нижнюю границу сходных (+)-фактов (примеров) k, где $k \ge 2$ [1, 6, 10].

Таким образом, $M_{x,m}^+(V,W)\&\neg M_{y,m}^-(V,W)$ является локальным вынуждающим условием порождения гипотезы «причина–эффект», где $M_{x,m}^+(V,W)$ – условие локального обоснованного сходства, а $\neg M_{y,m}^-(V,W)$ – условие отсутствия совпадения обоснованных (+)- и (–)-сходств.

Аналогично истолковываются локальные вынуждающие условия $\neg M_{x,m}^+(V,W)\&M_{y,m}^-(V,W)$, $M_{x,m}^+(V,W)\&M_{y,m}^-(V,W)$. Напомним, что все четыре вынуждающих условия для типов истинностных значений $1, -1, 0$ и τ определены для фиксированной стратегии $Str_{x,y}$ и соответствующих $\bar{O}_{x,y}(\Omega(p))$, $\rho^\sigma(p)$, где $\sigma \in \{+,-\}$, образующих ДСМ-рассуждение.

<u>**Замечание 2-2.**</u> Охарактеризованные выше локальные вынуждающие условия для гипотез о (σ)-причинах являются средством определения локальных каузальных вынуждающих условий для гипотез о предсказании (σ)-эффектов, где $\sigma \in \{+,-,0,\tau\}$.

Аналогия (т.е. п.п.в.-2) в ДСМ-рассуждениях, определяемых посредством оператора $\bar{O}_{x,y}(\Omega(p))$ и функций $\rho^\sigma(p)$, характеризуется декларативными аксиомами квазиаксиоматических теорий $A_{2,(x,y)}^\sigma$ для $Str_{x,y}$, где $\sigma \in \{+,-,0,\tau\}$ [16]:

$$\forall Z \forall Y((J_{(\tau,2n+1)}(Z \Rightarrow_2 Y)\&\Pi_{\mathrm{n}}^+(Z,Y)) \rightarrow J_{\langle \nu,2n+2\rangle}(Z \Rightarrow_2 Y)),$$

где $\nu = \begin{cases} 1, если\ \sigma = + \\ -1, если\ \sigma = - \\ 0, если\ \sigma = 0 \\ \tau, если\ \sigma = \tau \end{cases}.$

<u>**Замечание 3-2.**</u> $A_{1,(x,y)}^\sigma$ и $A_{2,(x,y)}^\sigma$ формулируются для каждой *БФ(p)*, где $p = 0,1,...,s;$ а, следовательно, $V \Rightarrow_2 Y$ и $Z \Rightarrow_1 Y$ заменяются на $V \Rightarrow_2^{(p)} Y$ и $Z \Rightarrow_2^{(p)} Y$, соответственно.

Таким образом для каждой стратегии ДСМ-рассуждений $Str_{x,y}$ и каждой *БФ(p)* предикаты $\Pi_n^\sigma(Z,Y)$ являются условием **локального каузального вынуждения** отношения «объект Z обладает эффектом Y», выразимого предикатами $Z \Rightarrow_1^{(p)} Y$ [10]. Посредством этих предикатов выразимы гипотезы о предсказании эффекта Y.

В [16] была доказана зависимость предикатов $L_2^\sigma(V,Y)$ и $L_1^\sigma(Z,Y)$ (Утверждение 3-4), которую обозначим как A_9^σ:

$$\forall V \forall Z \forall Y((L_2^\sigma(V,Y) \&$$
$$(V \subset Z) \& \neg\exists V_0((J_{\langle v,n\rangle}(V_0 \Rightarrow_2 Y) \vee J_{\langle 0,n\rangle}(V_0 \Rightarrow_2 Y)) \&$$
$$(V_0 \subset Z))) \to L_1^\sigma(Z,Y)),$$

где $\sigma \in \{+,-\}$, где $v = -1$, если $\sigma = +$; $v = 1$, если, $\sigma = -$.

Не нарушая общности, рассмотрим случай с $\sigma = +$. Так как $L_1^+(Z,Y)$ определяется посредством $\Pi_n^+(Z,Y)$, который содержит условие

$$\neg\exists V_0((J_{\langle -1,n\rangle}(V_0 \Rightarrow_2 Y) \vee J_{\langle 0,n\rangle}(V_0 \Rightarrow_2 Y)) \& (V_0 \subset Z)),$$

то эта подформула A_9^+ является необходимым условием истинности $L_1^+(Z,Y)$ для всех Z и Y. Назовем это условие **условием бесконфликтности** и обозначим посредством $\neg CT$.

Сохранение $V \Rightarrow_2^{(p)} Y$ для всех $p = 0,1,...,s$, истинность $V \subset Z$ и $\neg CT$, т. е. истинность антецедента A_9^+ влечет истинность $L_1^+(Z,Y)$ для всех Z и Y. Аналогичное имеет место для A_9^-.

P5. A_9^σ является принципом **пролонгированного каузального вынуждения (*CF*-вынуждения)** исследуемого эффекта Y, доказуемым в *MJL*.

Предложение 1-2. Из истинности A_9^σ и

$$\exists Y \exists V \forall Z((L_2^\sigma(V,Y) \& (V \subset Z) \&$$
$$\neg\exists V_0((J_{\langle \nu,n\rangle}(V_0 \Rightarrow_2 Y) \vee J_{\langle 0,n\rangle}(V_0 \Rightarrow_2 Y)) \&$$
$$(V_0 \subset Z) \to L_1^\sigma(Z,Y)),$$

где $\nu = \begin{cases} 1, \text{если } \sigma = + \\ -1, \text{если } \sigma = - \end{cases}$,

а $\sigma \in \{+,-\}$, и A_9^σ,

выводима $\exists Y \forall Z L_1^\sigma(Z,Y)$.

Доказательство получим применением метода аналитических таблиц [22], которое содержится в *Приложениях* к настоящей статье.

Очевидно, что A_9^σ является **обобщениями** $A_{2,(x,y)}^\sigma$, где $\sigma \in \{+,-\}$. Эти обобщения выражают сохранения локальных гипотез, соответствующих *БФ(p)*, для каждого $p = 0,1,...,s$, что выразимо принципом *P5*.

Определим ниже предикаты согласованного пролонгированного сохранения гипотез, выразимых посредством предикатов $V \Rightarrow_2^{(p)} Y$ и $Z \Rightarrow_1^{(p)} Y$, где $p = 0,1,...,s$.

***Df.*7–2.** $L_{1,2}^\sigma(V,Z,W) \rightleftharpoons L_2^\sigma(V,Y) \& L_1^\sigma(Z,Y) \& (V \subset Z)$, где $\sigma \in \{+,-\}$.

Существенно усилить предикаты $L_2^\sigma(V,Y), L_1^\sigma(Z,Y)$ и $L_{1,2}^\sigma(V,Z,Y)$ посредством условия неубывающего изменения функций степени абдуктивного объяснения *БФ(p)*, которыми являются $\rho^{(\sigma)}(p)$, где $\sigma \in \{+,-\}$: $\rho^\sigma(0) \le ... \le \rho^\sigma(s)$.

Идея согласованного сохранения гипотез о причинах эффекта Y и гипотез о его предсказании, дополненная условиями неубывающего изменения функций $\rho^{(\sigma)}(p)$, позволяет сформулировать средства обнаружения эмпирических закономерностей для последовательностей расширяемых баз фактов таких, что $БФ(0) \subset ... \subset БФ(s)$. С этой целью определим предикаты $\hat{L}_2^\sigma(V,Y), \hat{L}_1^\sigma(Z,Y)$ и $\hat{L}_{1,2}^\sigma(V,Z,Y)$, где $\sigma \in \{+,-\}$:

***Df.*8–2.** $\hat{L}_2^+(V,Y) \rightleftharpoons$

$$\forall p \exists n \exists s(((g_{\langle 1,2n-1\rangle}(V \Rightarrow_2^{(p)} Y) \in \tilde{\Delta}_{x,y}(p)) \to$$
$$((\tilde{\xi}_2^+(\langle V,Y\rangle,\Omega(p)) = 1) \&$$
$$(\overline{\rho}^+ \le \rho^+(s) \le 1) \& (0 \le p \le s) \&$$
$$(\rho^+(0) \le ... \le \rho^+(s))) \& (J_{\langle 1,1\rangle}(V \Rightarrow_2^{(p)} Y) \in \tilde{\Delta}_{x,y}(0))),$$

где

$$(I)_{x,y}(\Omega(0)) = \tilde{\Delta}_{x,y}(0), (I)_{x,y}(\Omega(p)) = \tilde{\Delta}_{x,y}(p).$$

Аналогично определяется $\hat{L}_2^-(V,Y)$.

Целью интеллектуальных систем является обнаружение знаний (*knowledge discovery*) посредством Решателя задач, реализующего автоматизированные рассуждения, которые применяются к базам фактов и базам знаний, пополняя последние. В силу сказанного интеллектуальные системы могут быть средством поддержки исследований и формирования **открытых** теорий, характеризующих и обобщающих эмпирические данные (массивы расширяемых фактов).

ДСМ-метод автоматизированной поддержки научных исследований (ДСМ-метод АПНИ), который реализуется в интеллектуальных системах типа ДСМ (ИС-ДСМ) использует ДСМ-рассуждения для порождения гипотез о причинах исследуемых эффектов и их применение для предсказания этих эффектов, уменьшая неопределенность, представленную в базах фактов.

В соответствии с целями интеллектуальных систем ИС-ДСМ осуществляет два этапа ДСМ-метода АПНИ: (1) ДСМ-рассуждения, являющиеся синтезом познавательных процедур (согласно принципам *P1–P4*); (2) обнаружение **сохранения** исследуемого эффекта в последовательностях расширяемых баз фактов согласно принципу *P5*, что означает поддержку проводимых исследований для формирования открытых квазиаксиоматических теорий [1, 16].

---

[10] Точными обозначениями предикатов $V \Rightarrow_2 Y$ и $Z \Rightarrow_1 Y$ должны быть $V \Rightarrow_{2(x,y)}^{(p)} Y$ и $Z \Rightarrow_{1(x,y)}^{(p)} Y$.

Таким образом, **ДСМ-исследование** есть применение ДСМ-рассуждений для множества возможных стратегий $\overline{Str}$ к последовательностям расширяемых баз фактов такое, что его результатом является обнаружение **регулярности** обнаруженных эффектов. Эти регулярности будем называть **эмпирическими законами** или **эмпирическими тенденциями**, точную характеризацию которых сформулируем далее.

Рассмотрим последовательность расширяемых баз фактов такую, что $Б\Phi(0) \subset ... \subset Б\Phi(s-1)$ и взаимно-однозначно соответствующую ей последовательность $\Omega(0) \subset ... \subset \Omega(s-1)$, элементы которой $J_{\langle \nu,n \rangle}(C \Rightarrow_1 Q)$ и $J_{\langle \nu,m \rangle}(C \Rightarrow_1 Q)$ факторизуем, рассматривая $J_\nu(C \Rightarrow_1 Q)$, где $\nu \in \{1,-1,0\}$ (аналогичное имеет место и для $J_{\langle \tau,n \rangle}(C \Rightarrow_1 Q)$ и $J_{\langle \tau,m \rangle}(C \Rightarrow_1 Q)$).

Напомним, что $g_2(\langle V,Y \rangle, \Omega(p)) = \sigma(p)$ и $g_1(\langle Z,Y \rangle, \Omega(p)) = \theta(p)$. Пусть, далее, помеченные пары $\langle C',Q \rangle^{\sigma(p)}$ и $\langle Z,Q \rangle^{\theta(p)}$ взаимно-однозначно соответствуют гипотезам

$J_{\langle \sigma(p),n_p \rangle}(C' \Rightarrow_2 Q)$, $J_{\langle \theta(p),m_p \rangle}(Z \Rightarrow_1 Q)$,

где $\sigma(p), \theta(p) \in \{1,-1,0\}$,

и $J_{\langle \sigma(p),n_p \rangle}(C' \Rightarrow_2 Q)$, $J_{(\theta(p),m_p)}(Z \Rightarrow_1 Q)$,

где $\sigma(p) = \theta(p) = \tau$, а для всех *Z*, таких, что $C' \subset Z$.

Паре пар $\langle \langle C',Q \rangle^{\sigma(p)}, \langle C,Q \rangle^{\theta(p)} \rangle$ и $\langle \Omega(0),...,\Omega(s-1) \rangle$ соответствует конкатенация $\sigma(0)...\sigma(s-1)$. $\theta(0)... \theta(s\text{-}1)$:

$$
\begin{array}{ccc|ccc}
\Omega(0)... & \Omega(p)... & \Omega(s-1) & \Omega(0)... & \Omega(p)... & \Omega(s-1) \\
\downarrow & \downarrow & \downarrow & \downarrow & \downarrow & \downarrow \\
\sigma(0)... & \sigma(p)... & \sigma(s-1) & \theta(0)\ldots & \theta(p)\ldots & \theta(s\text{-}1)
\end{array}
$$

Пусть $\sigma_1 = \sigma(0)$ и $\theta_1 = \theta(0)$, $\sigma_p = \sigma(p-1)$, $\theta_p = \theta(p-1)$, где $p = 1,...,s$, тогда обозначим посредством $Cd = \sigma_1 ... \sigma_s \bullet \theta_1 \ldots \theta_s$, где $\bullet$ – символ конкатенации $Cd_2 = \sigma_1 ... \sigma_s$ и $Cd_1 = \theta_1 \ldots \theta_s$.

***Df.*9–2**. $Cd = Cd_1 \bullet Cd_2$ будем называть **кодом** ДСМ-исследований, где Cd_1 – часть *Cd*, соответствующая порожденному множеству гипотез посредством п.п.в.-1 (правил индуктивного вывода), а Cd_2 – часть *Cd*, соответствующая порожденному множеству гипотез посредством п.п.в.-2 (правил вывода по аналогии); последовательность $\Omega(0),...,\Omega(s-1)$ соответствует $Б\Phi(0) \subset ... \subset Б\Phi(s-1)$.

Итак, согласно $Df.9-2$. $Cd = Cd_1 \bullet Cd_2$ есть код ДСМ-исследования, где σ_i, $\theta_j \in \{1,-1,0,\tau\}$ – типы истинностных значений гипотез, полученных посредством п.п.в.-1 и п.п.в.-2, соответственно, а $1 \le i, j \le s$.

Определим понятие **регулярного** кода ДСМ-исследований.

***Df.*10–2.** $Cd = Cd_1 \bullet Cd_2$ называется **регулярным** кодом ДСМ-исследований, если и только если выполняются следующие условия (1) – (3):

(1) $\sigma_j = \theta_j$,

где $1 \le i, j \le s$; $Cd_1 = \sigma_1 ... \sigma_s$, $\sigma_i = \sigma_j$, $1 \le i, j \le s$,

а $\sigma_i, \sigma_j \in \{1,-1\}$ или

(2) $Cd_1 = \sigma_1 ... \sigma_q \sigma_{q+1} ... \sigma_s$, $Cd_1 = Cd_2$,

где $\sigma_i = \tau$, если $1 \le i \le q$, а $\sigma_j = 1$,

где $q+1 \le j \le s$; или $\sigma_i = \tau$,

если $1 \le i \le q$, а $\sigma_j = -1$, где $q+1 \le j \le s$; или

(3) $Cd = \tau ... \tau \bullet \tau ... \tau$.

В случае (3) Cd называется пустым кодом ДСМ-исследования.

Очевидно, что регулярные непустые коды ДСМ-исследований имеют вид:

$$1...1 \bullet 1...1,\ -1...-1 \bullet -1...-1,\ \tau...\tau 1...1 \bullet$$
$$\tau...\tau 1...1,\ \tau...\tau -1...-1 \bullet \tau...\tau -1...-1.$$

***Df.*11–2.** Непустой код ДСМ-исследований будем называть **чисто регулярным**, если $\sigma_i = 1$, $\sigma_i = \theta_i$, $1 \le i \le s$; или $\sigma_i = -1$, $\sigma_i = \theta_i$, $1 \le i \le s$.

Таким образом, чисто регулярные Cd имеют вид

$$1...1 \bullet 1...1 \text{ и } -1...-1 \bullet -1...-1.$$

Сформулируем теперь средства порождения непустых регулярных, но не чисто регулярных Cd , т. е. таких Cd , что они имеют вид $\tau...\tau 1...1 \bullet \tau...\tau 1...1$. Эти Cd характеризуются условием (2) из $Df.10-2$. Заметим, что в них $\sigma_s = \theta_s = 1$ или $\sigma_s = \theta_s = -1$.

Сформулируем следующие определения термов, аналогичных $B_1^\sigma(\langle Z,Y \rangle, \Omega(p))$, $B_2^\sigma(\langle V,Y \rangle, \Omega(p))$, где $\sigma \in \{+,-\}$.

$$B_1^\tau(Z,Y) = \{\theta(p) | (\theta(p) = g_1(\langle Z,Y \rangle, \Omega(p)) \,\&$$
$$(\theta(p) = \tau) \& (1 \le \mathrm{p} \le \mathrm{q}) \& (\mathrm{q} < s)\}.$$

Определим также функционал

$$\xi_1^\tau(\langle Z,Y \rangle, \Omega(p)) = \frac{| B_1^\tau(\langle Z,Y \rangle, \Omega(p) |}{s}.$$

Далее, определим предикат $L_1^\tau(Z,Y)$ сохранения типа истинностного значения τ (неопределенность) для порождаемых гипотез, выразимых посредством $Z \Rightarrow_1^{(p)} Y$.

Пусть $| B_1^\tau(\langle Z,Y \rangle, \Omega(p)) | = q$, тогда получим следующее определение

***Df.*12–2.** $L_{1,\tau}^+(Z,Y) \rightleftharpoons$

$\exists s \exists q \forall p \exists n\, \exists n_1 ((((0 \le p \le q) \& (|\mathrm{B}_1^\tau(\langle Z,Y \rangle, \Omega(p))| = q) \&$

$(\mathrm{J}_{\langle \tau,\mathrm{n} \rangle}(Z \Rightarrow_1^{(p)} Y) \in \tilde{\Omega}_{x,y}(p))) \&$

$(((\mathrm{q}+1 \le \mathrm{p} \le \mathrm{s}) \&$

$(\mathrm{J}_{\langle 1,n \rangle}(Z \Rightarrow_1^{(p)} Y) \in \tilde{\Omega}_{x,y}(p))) \to$

$((\xi_1^+(\langle Z,Y \rangle, \Omega(p)) = \dfrac{s-q}{s}) \& (0 < \dfrac{q}{s} \le \overline{q})) \&$

$((\mathrm{J}_{(\tau,1)}(Z \Rightarrow_1^{(p)} Y) \in \tilde{\Omega}_{x,y}(0))\&(\mathrm{J}_{\langle 1,\mathrm{n}_1\rangle}(Z \Rightarrow_1^{p} Y) \in \tilde{\Omega}_{x,y}(q+1))))),$

где $\overline{q}$ – заданный порог для τ, например, 0,2.

$L^{+}_{1,\tau}(Z,Y)$ представляет сохранение τ для порога $\overline{q}$ и сохранение 1 для *БФ(p)* таких, что существуют *q* и *s*, где $0 \le p \le q$ и $2q$<s.

Усилим определение $Df.12-2$ посредством условия **монотонного неубывания** $\rho^{+}(p)$ для $p = q+1,...,s.$

***Df.*12*a*–2.** $\hat{L}^{+}_{1,\tau}(Z,Y) \rightleftharpoons$

$\exists s \exists q \forall p \exists n\, \exists n_1(((0 \le p \le q)\&(|\mathrm{B}^{\tau}_1(\langle Z,Y\rangle,\Omega(p))| = q)\&$

$(2\mathrm{q} < s)\,\&\,(\mathrm{J}_{(\tau,\mathrm{n})}(Z \Rightarrow_1^{(p)} Y) \in \tilde{\Omega}_{x,y}(p)))\&(((\mathrm{q}+1 \le \mathrm{p} \le \mathrm{s})\&$

$\&\ (\mathrm{J}_{\langle 1,n\rangle}(Z \Rightarrow_1^{(p)} Y) \in \tilde{\Omega}_{x,y}(p))) \rightarrow$

$(\xi^{+}_1(\langle Z,Y\rangle,\Omega(p)) = \dfrac{s-q}{s}))\&((\overline{\rho}^{+} \le \rho^{+}(\mathrm{s}) \le 1)\&$

$(\rho^{+}(\mathrm{q}+1) \le ... \le \rho^{+}(\mathrm{s}))\&$

$(\mathrm{J}_{(\tau,2)}(Z \Rightarrow_1^{(p)} Y) \in \tilde{\Omega}_{x,y}(0))\&(\mathrm{J}_{\langle 1,\mathrm{n}_1\rangle}(Z \Rightarrow_1^{(p)} Y) \in \tilde{\Omega}_{x,y}(q+1))).$

Аналогично определяется $\hat{L}^{-}_{1,\tau}(Z,Y).$

Определим также $L^{\sigma}_{2,\tau}(V,Y)$ – предикаты сохранения типов истинностных значений 1 и -1, где $\sigma \in \{+,-\}$, для *БФ(p)* таких, что существуют *q* и *s* такие, что $0 \le p \le q < \dfrac{s}{2}.$

***Df.*13–2.** $L^{+}_{2,\tau}(V,Y) \rightleftharpoons$

$\exists s \exists q \forall p \exists n\, \exists n_1(((0 \le p \le s \& 2q < s)$

$\&(|\mathrm{B}^{\tau}_2(\langle V,Y\rangle,\Omega(p)| = q)\&$

$(\mathrm{J}_{(\tau,\mathrm{n})}(V \Rightarrow_2^{(p)} Y) \in \tilde{\Delta}_{x,y}(p)))\&$

$(\overline{\rho}^{+} \le \rho^{+}(\mathrm{s}) \le 1)\&(((\mathrm{q}+1 \le p \le \mathrm{s})\&$

$(\mathrm{J}_{\langle 1,n\rangle}(V \Rightarrow_2^{(p)} Y) \in \tilde{\Delta}_{x,y}(p))) \rightarrow$

$(\xi^{+}_2(\langle V,Y\rangle,\Omega(p)) = \dfrac{s-q}{s}))\&$

$(\mathrm{J}_{(\tau,1)}(V \Rightarrow_2^{(p)} Y) \in \tilde{\Delta}_{x,y}(0))\&(\mathrm{J}_{\langle 1,\mathrm{n}_1\rangle}(V \Rightarrow_2^{(p)} Y) \in \tilde{\Delta}_{x,y}(q+1))),$

где $\overline{\rho}^{+}$ – заданный порог для (+)-примеров, например, 0,8.

Аналогично определяется $L^{-}_{2,\tau}(V,Y).$

Усилим также определение $Df.13-2$ посредством условия **монотонного неубывания** $\rho^{+}(p)$ для $p = q+1,...,s.$

***Df.*13*a*–2.** $\hat{L}^{+}_{2,\tau}(V,Y) \rightleftharpoons$

$\exists s \exists q \forall p \exists n\, \exists n_1(((0 \le p \le s \& 2q < s)\&$

$(|\mathrm{B}^{\tau}_2(\langle V,Y\rangle,\Omega(p))| = q)\&$

$(\mathrm{J}_{(\tau,\mathrm{n})}(V \Rightarrow_2^{(p)} Y) \in \tilde{\Delta}_{x,y}(p)))\&(\overline{\rho}^{+} \le \rho^{+}(\mathrm{s}) \le 1)\&$

$(\rho^{+}(\mathrm{q}+1) \le ... \le \rho^{+}(\mathrm{s}))\&(((\mathrm{q}+1 \le \mathrm{p} \le \mathrm{s})\&$

$(2q < s)\&\ (\mathrm{J}_{\langle 1,n\rangle}(V \Rightarrow_2^{(p)} Y) \in \tilde{\Delta}_{x,y}(p))) \rightarrow$

$(\xi^{+}_2(\langle V,Y\rangle,\Omega(p)) = \dfrac{s-q}{s}))\&$

$(\mathrm{J}_{(\tau,1)}(V \Rightarrow_2^{(p)} Y) \in \tilde{\Delta}_{x,y}(0))\&(\mathrm{J}_{\langle 1,\mathrm{n}_1\rangle}(V \Rightarrow_2^{(p)} Y) \in \tilde{\Delta}_{x,y}(q+1))).$

Заметим, что $\xi^{\tau}_2(\langle V,Y\rangle,\Omega(p) = \dfrac{|B^{\tau}_2(\langle V,Y\rangle,\Omega(p))|}{s}.$

Аналогично определяется $\hat{L}^{-}_{2,\tau}(V,Y).$

Введем также предикаты усиленного согласованного пролонгированного сохранения гипотез, выразимых посредством предикатов $V \Rightarrow_2^{(p)} Y$ и $Z \Rightarrow_1^{(p)} Y$, где $p = 0,1,...,s.$

***Df.*14–2.** $\hat{L}^{\sigma}_{(1,2),\tau}(V,Z,Y) \rightleftharpoons$

$\hat{L}^{\sigma}_{2,\tau}(V,Y)\,\&\,\hat{L}^{\sigma}_{1,\tau}(Z,Y)\,\&\,(V \subset Z)$, где $\sigma \in \{+,-\}.$

<u>**Замечание 4-2.**</u> Предикаты $\hat{L}^{\sigma}_{1,2}(V,Z,Y)$ и $\hat{L}^{\sigma}_{(1,2),\tau}(V,Z,Y)$ формализуют идею эмпирической закономерности как согласованного сохранения типов истинностных значений гипотез о причинах эффектов и гипотез о предсказании этих эффектов при условии сходимости степени абдуктивного объяснения базы фактов (функций $\rho^{\sigma}(p)$).

Введенные определения $Df.12a-2$ и $Df.13-2$ для $\hat{L}^{\sigma}_{1,\tau}(Z,Y)$ и $\hat{L}^{\sigma}_{2,\tau}(V,Y)$ позволяют, соответственно, изменить A^{σ}_9 посредством замен $L^{\sigma}_1(Z,Y)$ и $L^{\sigma}_2(V,Y)$ на соответствующие им предикаты. В результате получим усиление *P5* посредством $\hat{A}^{\sigma}_9$, где $\sigma \in \{+,-\}.$

Предикаты $\hat{L}^{\sigma}_2(V,Y)$ и $\hat{L}^{\sigma}_1(Z,Y)$ являются усилениями, соответственно, $L^{\sigma}_2(V,Y)$ и $L^{\sigma}_1(Z,Y)$, соответственно.

Предикаты $L^{\sigma}_{2,\tau}(V,Y)$, $\hat{L}^{\sigma}_{2,\tau}(V,Y)$ и $L^{\sigma}_{1,\tau}(Z,Y)$, $\hat{L}^{\sigma}_{1,\tau}(Z,Y)$ являются ослаблениями L^{σ}_2-предикатов, $\hat{L}^{\sigma}_2$-предикатов и L^{σ}_1-предикатов, $\hat{L}^{\sigma}_1$-предикатов, соответственно.

Можно также получить **ослабление** $L^{\sigma}_{2,\tau}(V,Y)$, $\hat{L}^{\sigma}_{2,\tau}(V,Y)$ и $L^{\sigma}_{1,\tau}(Z,Y),\hat{L}^{\sigma}_{1,\tau}(Z,Y)$, соответственно, заменив в них $2q < s$ на $2q \ge s$. Эти ослабления соответствующих предикатов обозначим посредством $\overline{L}^{\sigma}_{2,\tau}(V,Y),\overline{\hat{L}}^{\sigma}_{2,\tau}(V,Y)$ и $\overline{L}^{\sigma}_{1,\tau}(Z,Y),\overline{\hat{L}}^{\sigma}_{1,\tau}(Z,Y)$.

Предикаты $\overline{L}^{\sigma}_{2,\tau}(V,Y)$ и $\overline{L}^{\sigma}_{1,\tau}(Z,Y)$ образуют принципы каузального вынуждения $\overline{A}^{\sigma}_{10}$, где $\sigma \in \{+,-\}$, аналогичные A^{σ}_9. $\overline{A}^{\sigma}_{10}$ допускают усиления посредством монотонного неубывания $\rho^{\sigma}(p)$ для $p = 0,1,...,s$.

Замечание 5-2. Истинность A_9^{σ} и $\hat{A}_9^{\sigma}$, где $\sigma \in \{+,-\}$ влечет порождение чисто регулярных кодов ДСМ-исследований $Cd = Cd_1 \bullet Cd_2$ согласно $Df.11-2$.

Таким образом, чисто регулярные коды ДСМ-исследования имеют вид $1...1 \bullet 1...1$ и $-1...-1 \bullet -1...-1$ в соответствии с пролонгированным каузальным вынуждением посредством A_9^{σ} и $\hat{A}_9^{\sigma}$, где $\sigma \in \{+,-\}$, согласно принципу *P5*.

Пролонгированные каузальные вынуждения, порождающие чисто регулярные коды ДСМ-рассуждений *Cd*, будут использованы для определения **эмпирических законов (ЭЗ)** для фиксированных стратегий $Str_{x,y}$. Пролонгированные же каузальные вынуждения, порождающие регулярные, но не чисто регулярные *Cd*, будут использованы для определения **эмпирических тенденций (ЭТ). Под эмпирической закономерностью (ЭЗК)** будем понимать эмпирический закон или эмпирическую тенденцию ($ЭЗК = ЭЗ \vee ЭТ$).

Предикаты $L_{1,\tau}^{\sigma}(Z,Y)$, $\hat{L}_{1,\tau}^{\sigma}(Z,Y)$ и $L_{2,\tau}^{\sigma}(V,Y)$, $\hat{L}_{2,\tau}^{\sigma}(V,Y)$, где $\sigma \in \{+,-\}$, и их зависимости используются для порождения регулярных, но не чисто регулярных *Cd* таких, что они соответствуют эмпирическим тенденциям.

Рассмотрим высказывание $\hat{A}_{10}^{+}$, аналогичное $\hat{A}_9^{+}$, выразимое посредством $\hat{L}_{1,\tau}^{+}(Z,Y), \hat{L}_{2,\tau}^{+}(V,Y)$. С этой целью сформулируем условие каузального вынуждения исследуемого эффекта, представление которого является значением переменной *Y* (значением переменных *Z* и *V* являются объекты, обладающие эффектом, и причины, его порождающие, соответственно).

Пусть

$$P(V,Z) \rightleftharpoons \forall p \forall V \forall V_1 \forall n ((J_{\langle 1,n \rangle}(V_1 \Rightarrow_2^{(p)} Y) \in \tilde{\Delta}_{x,y}(p)) \,\&\, (V_1 \subset Z)) \to (V_1 \subset V)).$$

$P(V,Z)$ выражает условие максимальности (+)-причины *V*: если существует (+)-причина *V* эффекта *Y*, то все (+)-причины в *V* содержатся.

$P(V,Z) \,\&\, (V \subset Z)$ специфицирует зависимость $\hat{L}_{1,\tau}^{+}(Z,Y)$ от $\hat{L}_{2,\tau}^{+}(V,Z)$ и усиливает условие бесконфликтности и условие отсутствия других гипотез о причинах $P_1(V,Z)$:

$$\hat{A}_{10}^{+} \ \forall p \forall V \forall Y \forall Z ((\hat{L}_{2,\tau}^{+}(V,Y) \,\&\, (V \subset Z) \,\&\, \neg \exists V_0 ((J_{\langle -1,n \rangle}(V_0 \Rightarrow_2^{(p)} Y) \vee J_{\langle 0,n \rangle}(V_0 \Rightarrow_2^{(p)} Y)) \,\&\, (V_0 \subset Z) \,\&\, P(V,Z) \,\&\, P_1(V,Z)) \to \hat{L}_{1,\tau}^{+}(Z,Y)),$$

где $P_1(V,Z)$

есть $\forall V_1 ((J_{<1,n_p>}(V_1 \Rightarrow_2^{(p)} Y) \,\&\, \neg (V_1 \subset V) \,\&\, \neg (V_1 = V)) \to \neg (V_1 \subset Z))$.

Аналогично определяется $\hat{A}_{10}^{-}$. $\hat{A}_{10}^{\sigma}$ доказуемы в *MJL* (аналогично A_9^{σ} в [16], Утверждение 3-4).

Имеет место Предложение, аналогичное Предложению 1-2.

Предложение 2-2. Из истинности

$$\exists p \exists V \exists Y \forall Z (\hat{L}_{2,\tau}^{\sigma}(V,Y) \,\&\, (V \subset Z) \,\&\, \neg \exists V_0 ((J_{\langle v,n \rangle}(V_0 \Rightarrow_2^{(p)} Y) \vee J_{\langle 0,n \rangle}(V_0 \Rightarrow^{(p)} Y)) \,\&\, (V_0 \subset Z) \,\&\, P(V,Z)),$$

где $v = \begin{cases} 1, \text{если } \sigma = + \\ -1, \text{если } \sigma = - \end{cases}$,

а $\sigma \in \{+,-\}$, и $\hat{A}_{10}^{\sigma}$ выводима $\exists Y \forall Z L_1^{\sigma}(Z,Y)$.

Для предикатов $\bar{\hat{L}}_{2,\tau}^{\sigma}(V,Y), \bar{\hat{L}}_{1,\tau}^{\sigma}(Z,Y)$ в MJL имеют место доказуемые (аналогично $\hat{A}_{10}^{\sigma}$) $\bar{\hat{A}}_{10}^{\sigma}$, где $\sigma \in \{+,-\}$.

Замечание 6-2. Следующие виды кодов *Cd*, характеризующие ДСМ-исследование, будут рассматриваться:

1^0. чисто регулярные порождаемые $L_2^{\sigma}(V,Y)$, $L_1^{\sigma}(Z,Y)$;

2^0. регулярные, но не чисто регулярные, **одобряемые**, которые порождаются посредством $L_{2,\tau}^{\sigma}(V,Y), L_{1,\tau}^{\sigma}(Z,Y)$;

3^0. регулярные, но не чисто регулярные, **подозрительные** (неодобряемые), которые порождаются посредством предикатов $\bar{L}_{2,\tau}^{\sigma}(V,Y)$ и $\bar{L}_{1,\tau}^{\sigma}(Z,Y)$, содержащие условие $2q \geq s$.

Обнаружение эмпирических закономерностей требует **целенаправленной организации** практического извлечения наблюдаемого сохранения изучаемого эффекта в последовательно расширяемых массивах фактов. Организация процесса получения нового знания посредством упорядочения процедур его извлечения из фактов образует исследовательские **эвристики**. Формализация и автоматизация эвристик – важная и типичная проблема, реализуемая в интеллектуальных системах, которые являются **главным продуктом** области исследований, имеющей метафорическое название «Искусственный интеллект».

Таким образом, цель эвристики – исследовать и создавать методы и правила, как обнаруживать новое знание, а, следовательно, делать открытия посредством **правдоподобных** рассуждений [3, 23]. Результатом эвристики может быть лишь предварительное знание, являющееся **аргументированной** гипотезой, а не просто догадкой. В этом смысле эвристика рационализирует процесс понимания и решения проблем [24].

ДСМ-исследования, использующие правдоподобные ДСМ-рассуждения согласно принципам *P1-P5*, являются конкретной формализованной эвристикой посредством интеллектуальных систем. Далее будет сформулирован постулат *P6*, использующий идею «возможных миров», развивающий средства **принятия** результатов ДСМ-исследования посредством двух шкал оценки качества рассуждений и гипотез [10].

Итак, зафиксируем конкретную стратегию ДСМ-рассуждений $Str_{x,y}$, принадлежащую заданному множеству стратегий $\overline{Str}$, и применяемую к последовательности расширяемых баз фактов $БФ(0) \subset БФ(1) \subset \ldots \subset БФ(s)$, которой соответствует последовательность описаний $БФ(p): \Omega(0) \subset \Omega(1) \subset \ldots \subset \Omega(s)$.

Ради удобства введем следующие обозначения: A_1 вместо $\Omega(0), \ldots, A_{s+1}$ вместо $\Omega(s)$,

где $A_{i+1} = A_i \cup B_{i+1}$, а $i = 1, \ldots, s$, $A_1 \bigcap B_j = \varnothing$,

где $j = 2, \ldots, s+1$, $B_j \bigcap B_h = \varnothing$, если $j \neq h$.

Таким образом, имеем $A_1 \subset A_2 \subset \ldots \subset A_{s+1}$ такую, что соответствующая последовательность *БФ(p)* есть

$(!)_1\, A_1, A_1 \cup B_2, \ldots, A_1 \cup B_2 \cup \ldots \cup B_{s+i}$,

где $A_{i+1} = A_i \cup B_{i+1}$, $i = 1, \ldots, s$.

A_1 будем называть **начальным** возможным миром, A_i такое, что $i = 2, \ldots, s+1$, будем называть **производными** возможными мирами (потомками), а последовательность $(!)_1$ будем называть **историей роста** возможного мира A_1.

Так как имеются $A_1, B_2, \ldots, B_{s+1}$ множеств таких, что выбрав каждого из них в качестве начального возможного мира, то можно породить $(s+1)!$ историй роста начальных возможных миров. Поэтому следует реализовать для фиксированной $Str_{x,y}$ и множества $A_1, B_2, \ldots, B_{s+1}$ $(s+1)!$ ДСМ-исследований. Для каждого из этих исследований следует распознать регулярность или нерегулярность их кодов *Cd*. В случае же регулярности *Cd* надо установить – порождены ли они вынуждающими каузальными условиями или таковых не существует. Если же каузальное вынуждение распознается, то каузальными вынуждениями могут быть $A_9^\sigma, \hat{A}_9^\sigma$ или $A_{10}^\sigma, \hat{A}_{10}^\sigma$, или $\overline{A}_{10}^\sigma, \overline{\hat{A}}_{10}^\sigma$, где $\sigma \in \{+, -\}$.

Указанные условия каузального вынуждения, конкретизирующие принцип *P5*, являются средством формирования эвристики обнаружения эмпирических закономерностей.

§ 3. ЭВРИСТИКА ДСМ-ИССЛЕДОВАНИЙ

П.п.в.-1 и п.п.в.-2, представляющие индуктивные правила вывода и правила вывода по аналогии, соответственно, выражают локальное каузальное вынуждение: результаты п.п.в.-1 вынуждают выполнимость п.п.в.-2, которое предсказывает наличие или отсутствие исследуемого эффекта *Y* у объекта *Z*, что выразимо формулами вида $J_{\langle v, n_p \rangle}(Z \Rightarrow_1^{(p)} Y)$ относительно *БФ(p)*, где $p = 0, 1, \ldots, s$.

Таким образом, реализуется этап ДСМ-рассуждения с номером *p* посредством ДСМ-оператора $\overline{O}_{x,y}(\Omega(p))$ для **фиксированной** стратегии $Str_{x,y}$ и базы фактов *БФ(p)*. Началом же ДСМ-исследований, образованных $s+1$ этапами ДСМ-рассуждений для $p = 0, 1, \ldots, s$ является реализация $\overline{O}_{x,y}(\Omega(0))$ и $\rho^\sigma(0)$, где $\sigma \in \{+, -\}$.

Итак, ДСМ-исследования состоят из последовательного применения ДСМ-оператора $\overline{O}_{x,y}(\Omega(p))$ и функции степени абдуктивного объяснения $\rho^\sigma(p)$, где $p = 0, 1, \ldots, s$, а $0 \le \rho^\sigma(s) \le 1$ и $БФ(0) \subset \ldots \subset БФ(s)$. ДСМ-исследование является **допустимым** (*Df*.2–1), если $\rho^\sigma(s) \ge \overline{\rho}^\sigma$, где $\overline{\rho}^\sigma$ – заданный порог, а $\sigma \in \{+, -\}$.

Естественно предположить, что результаты ДСМ-исследования будут **надежными**, если и только если предсказания исследуемого эффекта будут сохраняться посредством пролонгированных каузальных вынуждений для **всех историй возможных миров**, определенных в §2 настоящей статьи. Если исходная последовательность *БФ(p)* для ДСМ-исследований есть $A_1, A_1 \cup B_2, \ldots, A_1 \cup B_2 \cup \ldots \cup B_{s+1}$, то для установления **надежности** предсказаний исследуемого эффекта, порожденного определенными выше каузальными вынуждениями, следует повторить ДСМ-исследование для $(s+1)!$ историй возможных миров, полагая **началом эвристического поиска** эмпирических закономерностей историю $A_1, A_2, \ldots, A_{s+1}$, где $A_{i+1} = A_i \cup B_{i+1}, A_1 \cap B_j = \varnothing$, $B_i \cap B_j = \varnothing$, если $i \neq j$ и $i, j = 2, \ldots, s+1$.

Рассмотрим в *MJL* условие каузального вынуждения согласно принципу *P5* [16] A_9^+:

$$\forall p \forall V \forall Z \forall Y ((L_2^+(V, Y) \& (\mathrm{V} \subset \mathrm{Z}) \&$$
$$\neg \exists \mathrm{V}_0 (J_{\langle -1, n \rangle}(V_0 \Rightarrow_2 Y) \vee J_{\langle 0, n \rangle}(V_o \Rightarrow_2 Y)) \&$$
$$(\mathrm{V}_0 \subset Z)) \to L_1^+(Z, Y)).$$

Пусть пара $\langle C', Q \rangle$ есть реализация A_9^+:

$$\forall p \forall Z (L_2^+((C', Q) \& (\mathrm{C}' \subset \mathrm{Z}) \&$$
$$\neg \exists \mathrm{V}_0 (J_{\langle -1, n \rangle}(V_0 \Rightarrow_2 Q) \vee J_{\langle 0, n \rangle}(V_o \Rightarrow_2 Q) \&$$
$$(\mathrm{V}_0 \subset Z)) \to L_1^+(Z, Q)).$$

Реализацию A_9^+ обозначим посредством $A_9^+(C', Q)$, где C' и Q образуют формулы $J_{\langle 1, n_p \rangle}(C' \Rightarrow_2^{(p)} Q)$. Аналогично рассмотрим реализации условий каузальных вынуждений

$A_9^-(C', Q), \hat{A}_9^\sigma(C', Q); A_{10}^\sigma(C', Q),$

$\hat{A}_{10}^\sigma(C', Q), \overline{A}_{10}^\sigma(C', Q), \overline{\hat{A}}_{10}^\sigma(C', Q),$

где $\sigma \in \{+, -\}$.

Будем говорить, что перечисленные реализации каузальных вынуждений являются представлениями **эмпирических закономерностей** (эмпирических законов, эмпирических тенденций и подозрительных эмпирических тенденций).

Для классификации возможных эмпирических закономерностей, порождаемых каузальными вынуждениями посредством $A_9^\sigma, \hat{A}_9^\sigma; A_{10}^\sigma, \hat{A}_{10}^\sigma; \overline{A}_{10}^\sigma, \hat{\overline{A}}_{10}^\sigma$, где $\sigma \in \{+,-\}$, будем использовать следующие характеристики роста историй возможных миров $(!)_1$, которыми являются:

(1) вид регулярности у начальной истории каузальных вынуждений, обозначаемый посредством $\langle \nu,\nu \rangle^*$ или $\langle \tau,\nu \rangle^*$, характеризующих *Cd*, где $\nu \in \{1,-1\}$;

(2) монотонность неубывания $\rho^\sigma(p)$ или её отсутствие;

(3) условие $q < \frac{s}{2}$ или $q \geq \frac{s}{2}$, используемых в определениях условий каузальных вынуждений;

(4) вид регулярностей, которыми являются элементы истории возможных миров, являющиеся **потомками** истории начального возможного мира A_1 (их число есть $S!$) из $(!)_1$.

Заметим, что характеристика (4) зависит от условий (3).

Сформулируем теперь следующие определения, характеризующие различные виды эмпирических закономерностей (ER^σ) для фиксированной стратегии ДСМ-рассуждений $Str_{x,y}$ и значений σ, где $\sigma \in \{+,-\}$.

$Df.15-3$. Эмпирическая закономерность (*ER*) называется **эмпирическим законом** (***EL***$^\sigma$), если она реализуется каузальными вынуждениями A_9^σ или $\hat{A}_9^\sigma$.

1^0. Если ER^σ, порождается $\hat{A}_9^\sigma$ для начальной истории возможных миров и имеет в качестве потомков истории возможных миров с кодами *Cd* такими, что:

(1-1) тип *Cd* всех этих историй возможных миров есть $\langle \nu,\nu \rangle$ или $\langle \tau,\nu \rangle$ (т. е. $\nu ... \nu \bullet \nu ... \nu$ или $\tau ... \tau\nu ... \nu \bullet \tau ... \tau\nu ... \nu$) и при том существует, по крайней мере, среди них один $Cd = \nu ... \nu \bullet \nu ... \nu$;

(1-2) имеет место монотонное неубывание $\rho^\sigma(p)$ для $p = 0,1,...,s$ (обозначим это условие посредством *M*).

Реализацию $\hat{A}_9^\sigma$ посредством $\hat{A}_9^\sigma(C',Q)$ будем называть **сильным эмпирическим законом** (EL_s^σ.)

2^0. Если эмпирическая закономерность порождается A_9^σ и имеет в качестве потомков истории возможных миров с кодами *Cd* такими, что выполняется (1-1), но не имеет место (1-2), то реализацию A_9^σ посредством $A_9^\sigma(C',Q)$ будем называть **эмпирическим законом первого рода** (EL_1^σ.)

3^0. Если эмпирическая закономерность порождается $\hat{A}_9^\sigma$ и имеет в качестве потомков истории возможных миров с кодами *Cd* такими, что выполняется (1-1), но имеет место условие (1-3) существования среди потомков начальной истории возможных миров *(PW)* таких историй *PW*, что их каузальное вынуждение содержит условие $q \geq \frac{s}{2}$ и порождается $\hat{\overline{A}}_{10}^\sigma$, которое имеет (1-2) – условие монотонного неубывания $\rho^\sigma(p)$, то реализацию $\hat{A}_9^\sigma$ посредством $\hat{A}_9^\sigma(C',Q)$ будем называть **эмпирическим законом второго** рода (EL_2).

4^0. Если из определения EL_2 исключить условие (1-2), то получим определение **эмпирического закона третьего рода (*EL*₃)**, которым является реализация A_9^σ посредством $A_9^\sigma(C',Q)$ [11].

5^0. Если эмпирическая закономерность (ER^σ) порождается $\hat{A}_9^\sigma$ и имеет в качестве потомков истории возможных миров *C* $Cd = \tau ... \tau\nu ... \nu \bullet \tau ... \tau\nu ... \nu$, порождаемые посредством $\hat{A}_{10}^\sigma$ с условиями $q < \frac{s}{2}$ и (1-2) монотонного неубывания $\rho^\sigma(p)$, то реализацию $\hat{A}_9^\sigma$ посредством $\hat{A}_9^\sigma(C',Q)$ будем называть **эмпирическим законом (*EL*).**

6^0. Если ER^σ порождается A_9^σ и имеет в качестве потомков истории возможных миров, порождаемые посредством A_{10}^σ (им соответствуют $Cd = \tau ... \tau\nu ... \nu \bullet \tau ... \tau\nu ... \nu$ и условие $q < \frac{s}{2}$), т. е. без условия (1-2), то реализацию A_9^σ посредством $A_9^\sigma(C',Q)$ будем называть **эмпирическим законом четвертого рода (EL_4).**

7^0. Если ER^σ порождается $\hat{A}_9^\sigma$ и имеет в качестве потомков истории возможных миров, порождаемые $\hat{\overline{A}}_{10}^\sigma$ с условиями (1-2) монотонного неубывания $\rho^\sigma(p)$ и $q \geq \frac{s}{2}$, то реализацию $\hat{A}_9^\sigma$ посредством $\hat{A}_9^\sigma(C',Q)$ будем называть **эмпирическим законом пятого рода (EL_5)**.

8^0. Если ER^σ порождается A_9^σ и имеет в качестве потомков истории возможных миров, порождаемые $\overline{A}_{10}^\sigma$ с условием $q \geq \frac{s}{2}$ и без условия (1-2), то реализацию A_9^σ посредством $A_9^\sigma(C',Q)$ будем называть **эмпирическим законом шестого рода (EL_6)**.

***Df.*15–3** характеризует восемь видов эмпирических законов, определяемых посредством различных каузальных вынуждений как для начальной последовательности баз фактов $(!)_1$, так и для её потомков – производных последовательностей историй возможных миров $(!)_i$, где $i = 2,...,s!$.

---

[11] Заметим, что потомки реализации $A_9^\sigma(C',Q)$ являются реализации A_{10}^σ.

В $Df.15-3$ имеется восемь различных вариантов реализаций каузальных вынуждений, которые можно истолковать как восемь различных случаев необходимости наличия эффекта Q, порожденного причиной C'. Соответственно, каждой реализации отнесем род (или степень) **необходимости:**

1^0. $\Box_s\ \hat{A}_9^\sigma(C',Q)$,

2^0. $\Box_1\ A_9^\sigma(C',Q)$,

3^0. $\Box_2\ \hat{A}_9^\sigma(C',Q)$,

4^0. $\Box_3\ A_9^\sigma(C',Q)$,

5^0. $\Box\ \hat{A}_9^\sigma(C',Q)$,

6^0. $\Box_4\ A_9^\sigma(C',Q)$,

7^0. $\Box_5\ \hat{A}_9^\sigma(C',Q)$,

8^0. $\Box_6\ A_9^\sigma(C',Q)$.

Используя условие (1) – вид регулярности у начальной истории каузальных вынуждений (*CF*), (2) монотонность неубывания $\rho^\sigma(p)$ (M) или её отсутствие $(\neg M)$, (3) $q<\frac{s}{2}$ или $q\geq\frac{s}{2}$, (4) вид регулярностей потомков (наличие, по крайней мере, одного случая с $q\geq\frac{s}{2}$), определим отношение *ER*-порядка $\sqsupset$ на множестве эмпирических законов $\{EL_s, EL_1, EL_2, EL_3, EL, EL_4, EL_5, EL_6\}$[12]: $EL_s \sqsupset X$ для всех $X = EL_s, EL_1, EL_2, EL_3, EL, EL_4, EL_5, EL_6$.

Ради удобства записи введем следующие обозначения: *a, b, c, d, e, f, g, h* вместо
$EL_s, EL_1, EL_2, EL_3, EL, EL_4, EL_5, EL_6 : a/EL_s, b/EL_1,$
$c/EL_2, d/EL_3, e/EL, f/EL_4, g/EL_5, h/EL_6$.

Имеем следующие мажоранты $\langle\nu,\nu\rangle^*$ старше $\langle\tau,\nu\rangle^*$ (первая мажоранта), $\langle\nu,\nu\rangle|\langle\tau,\nu\rangle$ старше $\langle\tau,\nu\rangle$ (вторая мажоранта), $q<\frac{s}{2}$ старше $q\geq\frac{s}{2}$: 1-ая мажоранта старше 2-ой мажоранты, 2-ая мажоранта старше $q\geq\frac{s}{2}$.

Сформируем определения *ER*-порядка на множестве всех эмпирических закономерностей, заданных для произвольной, но фиксированной стратегии ДСМ-рассуждений из множества всех имеющихся стратегий $\overline{Str}$.

Посредством *X, Y* будем обозначать переменные для *EL*, а посредством $\alpha(X), \beta(X), \beta(X)$ и $\bar{M}(X)$ будем обозначать функции с областями значений (*ranges*).

$$\{\langle\nu,\nu\rangle^*, \langle\nu,\tau\rangle^*\}; \{\langle\nu,\nu\rangle|\langle\tau,\nu\rangle, \langle\tau,\nu\rangle\}; \left\{q<\frac{s}{2}, q\geq\frac{s}{2}\right\};$$
$$\{M, \neg M\}$$

соответственно, где $\langle\nu,\nu\rangle^*, \langle\nu,\tau\rangle^*$ – обозначения возможных **типов *Cd*** начальной истории возможных миров *(PW)*; $\langle\nu,\nu\rangle|\langle\tau,\nu\rangle, \langle\tau,\nu\rangle, \langle\nu,\nu\rangle$ – обозначения для типов *Cd* историй *PW*, являющихся потомками начальной истории *PW* ($\langle\nu,\nu\rangle|\langle\tau,\nu\rangle$ – тип историй *PW* таких, что он содержит *Cd* типа $\langle\nu,\nu\rangle$ и $Cd\langle\tau,\nu\rangle$); $q < \frac{s}{2}$, $q\geq\frac{s}{2}$ – условия, используемые в спецификациях каузальных вынуждений посредством A_{10}^σ и $\bar{A}_{10}^\sigma$, соответственно.

Посредством $\bar{M}$ будем обозначать функции такие, что их областью определения является множество $\{M, \neg M\}$, где *M* обозначает монотонное неубывание $\rho^\sigma(p)$, а $\neg M$ – его невыполнимость.

На множестве $\{\alpha, \beta, \gamma, M, \neg M\}$ определим отношение строгого порядка >: $\alpha > \beta > \gamma$, $M > \neg M$.

Определим, далее, отношение мажорирования $\sqsupset$. $X \sqsupset Y$, если имеют место условия (1) или (2), или (3), или (4):

(1) $(\alpha(X) > \alpha(Y))\ \&\ (\bar{M}(X) = \bar{M}(Y))$,

(2) $(\alpha(X) = \alpha(Y))\ \&\ (\beta(X) >$
$(\beta(Y))\ \&\ (\bar{M}(X) = \bar{M}(Y))$,

(3) $(\alpha(X) = \alpha(Y))\ \&\ (\beta(X) = \beta(Y)\ \&(\gamma(X) > \gamma(Y))$
$\&\ (\bar{M}(X) = \bar{M}(Y))$,

(4) $(\alpha(X) = \alpha(Y))\ \&\ (\beta(X) = \beta(Y)\ \&(\gamma(X) = \gamma(Y))$
$\&\ (\bar{M}(X) > \bar{M}(Y))$.

Пусть $\Psi_i(X)$ и $\Psi_i(Y)$, где i = 1, 2, 3, 4 представляют условия, характеризующие в (1), (2), (3), (4) X и Y, соответственно. Тогда положим, что $\Psi_i(X) > \Psi_i(Y)$, где i = 1, 2, 3, 4, а $X \sqsupset Y$, если и только если $\langle\Psi(X), \bar{M}(X)\rangle \rangle \langle\Psi(Y), \bar{M}(Y)\rangle$, что означает, что $\Psi(X) > \Psi(Y)$ и $\bar{M}(X) > \bar{M}(Y)$.

Тогда определим и несравнимость *X* и *Y*, обозначив её посредством $X \| Y : X \| Y$, если и только если $((\Psi(X) > \Psi(Y))\ \&\ \bar{M}(Y) > \bar{M}(X))) \vee ((\Psi(Y) > \Psi(X))$
$\&\ (\bar{M}(X) > \bar{M}(Y))$.

Очевидно, что *X* = *Y*,
если $(\Psi(X) = \Psi(Y))\ \&\ (\bar{M}(X) = \bar{M}(Y))$.

Согласно определению отношения $\sqsupset$ построим дерево классификации эмпирических закономерностей *(ER)* ***T*** (рис. 4), начальной вершиной которого является *ER*, а две непосредственно следующими *<ν, ν>* и <τ, ν>**, представляющие типы кодов *Cd*, порождаемые каузальными вынуждениями A_9^σ и A_{10}^σ или $\bar{A}_{10}^\sigma$, или $\hat{A}_9^\sigma$ и $\hat{A}_{10}^\sigma$, или $\bar{\hat{A}}_{10}^\sigma$ для эмпирических законов *(EL$^\sigma$)* и эмпирических тенденций *(ET$^\sigma$)* или подозрительных эмпирических тенденций *(SET$^\sigma$)* с условием $q\geq\frac{s}{2}$, соответственно.

[12] Ради удобства записи вместо EL_s^σ, EL_1^σ и т.д. будем опускать индекс σ.

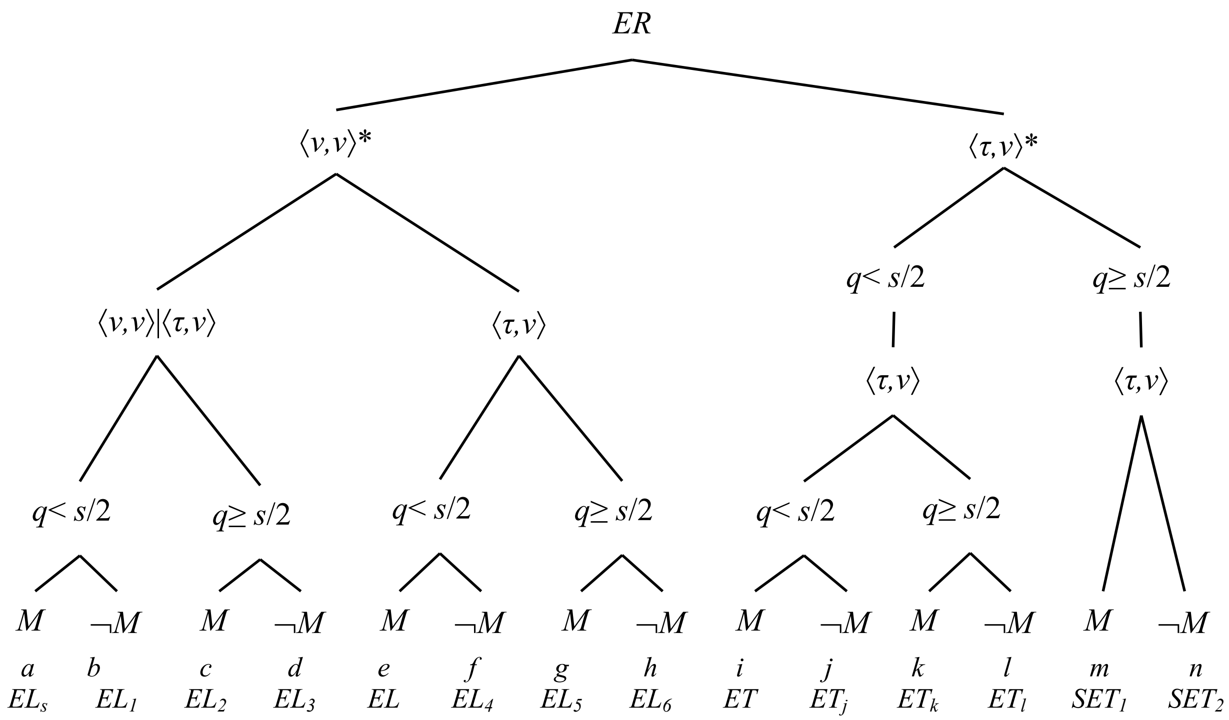

Рис. 4. Дерево ***T***-классификаций эмпирических закономерностей:
$ER = \{a,b,c,d,e,f,g,h,i,j,k,l,m,n\}$, $EL = \{a,b,c,d,e,f,g,h\}$, $ET = \{i,j,k,l\}$, $SET = \{m,n\}$,
$ER = EL \cup ET \cup SET$.

В силу этих допущений получаем следующую булеву матрицу для отношения ⊐, определенного на ***EL*** = *{a, b, c, d, e, f, g, h}* – множестве эмпирических законов, которое является подмножеством множества эмпирических закономерностей ***ER***, порождаемых ДСМ-исследованиями для фиксированной стратегии $Str_{x,y}$, где $EL \subset \boldsymbol{ER}$[13].

⊐	*a*	*b*	*c*	*d*	*e*	*f*	*g*	*h*
a	1	1	1	1	1	1	1	1
b	0	1	0	1	0	1	0	1
c	0	0	1	1	1	1	1	1
d	0	0	0	1	0	1	0	1
e	0	0	0	0	1	1	1	1
f	0	0	0	0	0	1	0	1
g	0	0	0	0	0	0	1	1
h	0	0	0	0	0	0	0	1

MAT_1

MAT_1 есть матрица ограничения отношения ⊐ на множестве *EL = {a, b, c, d, e, f, g, h}*, представляющим эмпирические законы, порожденные ДСМ-исследованиями для фиксированной стратегии ДСМ-рассуждений $Str_{x,y}$ (обозначение: $MAT_1\,(x, y)$).

Сформулируем далее определения *Df.*16–3 и *Df.*17–3, характеризующие множества эмпирических закономерностей, являющиеся **эмпирическими тенденциями**.

***Df.*16–3.** Эмприческая закономерность (*ER*) называется **эмпирической тенденцией** (ET^{σ}), если она реализуется каузальными вынуждениями A_{10}^{σ} или $\hat{A}_{10}^{\sigma}$.

1°. Если ET^{σ} порождается $\hat{A}_{10}^{\sigma}$ для начальной истории *PW* и имеет в качестве потомков истории *PW* с кодами *Cd* такими, что:

(1-1) *Cd* = *τ … τ ν … ν* ● *τ … τ ν …ν*, этот тип *Cd* обозначается посредством <τ, ν>, где ν ∈ {1, -1};

(1-2) число повторений *τ* есть *q*, такое, что $q < \dfrac{s}{2}$, где *s* – число *БФ(p)*, если *p = 1, …, s*[14];

(1-3) для *Cd* выполняется условие монотонного неубывания $\rho^{\sigma}(p)$, обозначаемое посредством *M*.

Определенное посредством (1-1), (1-2) и (1-3) множество эмпирических тенденций, порождаемых

[13] Более информативными обозначениями будут $\boldsymbol{EL_{x,y}}$ и $\boldsymbol{ER_{x,y}}$; индексы *x* и *y* опускаем, но подразумеваем.

[14] Если рассматривается $БФ(p)$, где $p = 0,1,...,s$, то $q < \dfrac{s+1}{2}$.

посредством $\hat{A}_{10}^{\sigma}$, обозначим посредством *ET*, заменив затем *ET* на *i* (*i* / *ET*), будем *ET* обозначать также посредством i.

2°. Если ET^{σ} порождается A_{10}^{σ} для начальной истории *PW* и имеет в качестве потомков истории *PW* с кодами *Cd* таким, что:

(1-1) выполняется, но (1-2) не выполняется, что означает, что $q \geq \frac{s}{2}$;

(1-4) (1-3) также не выполняется, т. е. $\rho^{\sigma}(p)$ изменяется **немонотонно**, что обозначается $\neg M$.

Определенное посредством *2°* множество эмпирических тенденций, порождаемых посредством A_{10}^{σ} для начальной истории *PW*, потомки которой содержат истории *PW*, порожденные посредством A_{10}^{σ}, то это множество обозначим посредством ET_1, заменив ET_1 на *j* (*j* / ET_1), будем обозначать так же посредством *j*.

3°. Если ET^{σ} порождается $\hat{A}_{10}^{\sigma}$ для начальной истории *PW* и имеет в качестве потомков истории *PW* с кодами *Cd* такими, что:

(1-5) *Cd* порождается $\bar{\hat{A}}_{10}^{\sigma}$, т. е. $Cd = \tau \ldots \tau\, \nu \ldots \nu \bullet \tau \ldots \tau\, \nu \ldots \nu$ и выполняется (1-3) – условие монотонного неубывания $\rho^{\sigma}(p)$, а также имеет место условие $q \geq \frac{s}{2}$.

Определенное посредством 3° множество эмпирических тенденций обозначим посредством ET_2, а также введем другое обозначение *k* (*k* / ET_2).

4°. Если ET^{σ} порождается A_{10}^{σ} для начальной истории *PW* и имеет в качестве потомков истории *PW*, порождаемые посредством $\bar{A}_{10}^{\sigma}$, то есть, имеют место для них условия $q \geq \frac{s}{2}$ и $\neg M$, то такие эмпирические тенденции будем обозначать посредством ET_3^{σ}, а также посредством *k* (k / ET_3^{σ}).

ET^{σ}, $ET^{\sigma}{}_1$, $ET^{\sigma}{}_2$, $ET^{\sigma}{}_3$ будем называть соответственно, эмпирической тенденцией, эмпирическими тенденциями 1-го, 2-го, 3-го рода.

Таким образом, эмпирические тенденции представимы реализациями начальных историй *PW* посредством $\hat{A}_{10}^{\sigma}(C',Q)$ и $A_{10}^{\sigma}(C',Q)$ и реализациями потомков историй *PW* посредством $\hat{A}_{10}^{\sigma}(C',Q)$ или $A_{10}^{\sigma}(C',Q)$, или $\bar{\hat{A}}_{10}^{\sigma}$, или $\bar{A}_{10}^{\sigma}$.

Распространим отношение ⊐ на множество эмпирических тенденций $\boldsymbol{ET} = \{i, j, k, l\}$ и получим булеву матрицу MAT_2

⊐	*i*	*j*	*k*	*l*
i	1	1	1	1
j	0	1	0	1
k	0	0	1	1
l	0	0	0	1

MAT_2

MAT_2 представляет ограничение отношения ⊐ на множестве $ET = \{i, j, k, l\}$.

Каждой реализации ET^{σ} отнесем род (или степень) возможности ($\sigma \in \{+, -\}$):

1°. ◊ $\hat{A}_{10}^{\sigma}(C', Q)$,

2°. $◊_1$ $A_{10}^{\sigma}(C', Q)$,

3°. $◊_2$ $\hat{A}_{10}^{\sigma}(C', Q)$,

4°. $◊_3$ $A_{10}^{\sigma}(C', Q)$,

где ◊, $◊_i$ – операторы возможности (i = 1,2,3).

В соответствии с определениями *Df.*15–3, *Df.*16–3 и *Df.*17–3 имеет место булева матрица MAT отношения ⊐ на множестве *ER* такая, что она содержит подматрицы MAT_1, MAT_2 и MAT_3 для *EL*, *ET* и *SET*, соответственно.

Определим теперь «слабые эмпирические тенденции», порождаемые каузальными вынуждениями $\bar{\hat{A}}_{10}^{\sigma}$ и $\bar{A}_{10}^{\sigma}$. Будем их называть **подозрительными эмпирическими тенденциями** и обозначать посредством SET^{σ}.

***Df.*17–3**. Эмпирическая закономерность называется подозрительной эмпирической тенденцией (SET^{σ}), если она реализуется каузальными вынуждениями $\bar{\hat{A}}_{10}^{\sigma}$ или $\bar{A}_{10}^{\sigma}$.

1°. Если SET^{σ} порождается каузальными вынуждениями $\bar{\hat{A}}_{10}^{\sigma}$ для начальной истории *PW*, а истории *PW* её потомков также порождаются посредством $\bar{\hat{A}}_{10}^{\sigma}$, то SET^{σ} будем называть подозрительной эмпирической тенденцией 1-го рода и будем обозначать посредством SET_1^{σ}.

2°. Если SET^{σ} порождается каузальными вынуждениями $\bar{A}_{10}^{\sigma}$ для всех историй PW, то эту SET^{σ} будем называть подозрительной эмпирической тенденцией 2-го рода и будем обозначать её посредством SET_2^{σ}.

Таким образом, подозрительные эмпирические тенденции представимы посредством реализаций $\bar{\hat{A}}_{10}^{\sigma}(C',Q)$ и $\bar{A}_{10}^{\sigma}(C',Q)$ для SET_1^{σ} и SET_2^{σ}, соответственно.

Каждой реализации SET^{σ} отнесен род (или степень) подозрительной возможности ($\sigma \in \{+, -\}$):

1°. ∇_1 $\bar{\hat{A}}_{10}^{\sigma}$(C', Q), 2°. ∇_2 $\bar{A}_{10}^{\sigma}$, где ∇_1 и ∇_2 – операторы «подозрительных возможностей».

Для SET_1^{σ} и SET_2^{σ} введем также обозначения m и n соответственно: m / SET_1^{σ} и n / SET_2^{σ}.

Распространим ⊐ на $SET = \{m, n\}$ и получим, что $m ⊐ n$ в булевой матрице MAT_3, которая имеет вид

⊐	*m*	*n*
m	0	1
n	0	0

MAT_3

Таблица 1

МАТ

	$\sqsupset$	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	
	a	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
	b	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	
	c	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
EL	d	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	
	e	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
	f	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	
	g	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	
	h	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	
	i	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	
	j	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	ET
	k	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	
	l	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
	m	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
	n	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	SET

$\sqsupset|EL \cup \sqsupset|ET \cup \sqsupset|SET = \sqsupset$, где $\sqsupset|EL$, $\sqsupset|ET$, $\sqsupset|SET$ – ограничения $\sqsupset$ на соответствующих подмножествах ER.

Введенные модальные операторы необходимости, возможности и подозрительной возможности определяются посредством различных видов каузальных вынуждений для начальных историй вожможных миров (*PW*) и историй *PW* их потомков, которые характеризуются деревом ***T*** для *ER*. Отношение $\sqsupset$ на *ER* распространяется естественным образом для определенных модальных операторов типа □, типа ◊ и типа ∇.

В табл. 1 приводим МАТ – булеву матрицу отношения $\sqsupset$ на *ER*: $\sqsupset \subseteq ER \times ER$.

Таким образом, на множестве эмпирических закономерностей *ER* определимо отношение $\sqsupset$, представимое булевой матрицей МАТ, содержащей подматрицы $МАТ_1$, $МАТ_2$ и $МАТ_3$ для множеств *EL*, *ET* и *SET*, соответственно, где $ER = EL \cup ET \cup SET$.

$МАТ_1$ представляет организацию различных видов эмпирических законов из *EL*, порождаемых **начальными** каузальными вынуждениями A_9^σ или $\hat{A}_9^\sigma$ историй PW и различными видами каузальных вынуждений их **потомков**, характеризуемых *Df.*15–3 и представимых в дереве ***T*** классификацией *ER*. Очевидно, что организация *EL*, упорядоченная посредством отношения $\sqsupset$ (т. е. его ограничения на *EL*, $EL \subset ER$), представима в подматрице $МАТ_1$ матрицы МАТ отношения $\sqsupset$.

$МАТ_2$ представляет организацию различных видов эмпирических тенденций из *ET*, порождаемых **начальными** каузальными вынуждениями A_{10}^σ или $\hat{A}_{10}^\sigma$ историй *PW* и различными видами каузальных вынуждений их **потомков**, характеризуемых *Df.*16–3 и представимых в дереве ***T*** классификаций *ER*. Очевидно, что множество *ET*, упорядочено посредством отношения $\sqsupset$ (т. е. его ограничения на *ET*, $ET \subset ER$).

Аналогично $МАТ_3$ представляет два вида подозрительных эмпирических тенденций из *SET*, характеризуемых *Df.*17–3 и представимых в дереве ***T***. *SET* упорядочено посредством ограничения $\sqsupset$, $SET \subset ER$.

Будем рассматривать множество *E* с определенным на нем отношением $\sqsupset$, где $\sqsupset \subseteq E \times E$. Обозначим посредством $\Re_E$ реляционную систему $\Re_E = \langle E, \sqsupset \rangle$ такую, что имеют место аксиомы *E1–E5*, формулируемые посредством переменных *x, y, z,…* индивидных констант *a*, *n* и предиката $x \sqsupset y$, представляющего отношение $\sqsupset$.

Сформируем теперь средствами двузначной логики предикатов 1-го порядка систему аксиом *E1–E5*, используя индивидные переменные *x, y, z,…*; индивидные константы *a*, *n*, предикаты $x \sqsupset y$ и $x = y$.

Замечание 1-3. Заметим, что определимо отношение равенства =, так как $x = y \rightleftharpoons \neg(x \sqsupset y)$ & $\neg(y \sqsupset x)$, ибо можно определить отношение частичного порядка $\sqsupseteq$ на множестве *E* с наибольшим элементом *a* и наименьшим элементом *n*: $\forall x(a \sqsupseteq x)$ и $\forall x(x \sqsupseteq j)$.

E1. $\forall x \neg(x \sqsupset x)$

E2. $\forall x \forall y \forall Z((x \sqsupset y \;\&\; y \sqsupset z) \supset x \sqsupset z)$

*E*3. $\forall x \forall y\, (x \sqsupset y \supset \neg(y \sqsupset x))$

E4. $\forall x(\neg(a = x) \supset a \sqsupset x)$

E5. $\forall y(\neg(y = n) \supset (y \sqsupset n))$

Предикат $x \sqsupset y$ является иррефлексивным (*E1*), транзитивным (*E2*), ассиметричным (*E3*).

Аксиома *E4* выражает тот факт, что константа *a* мажорирует любой элемент *E* кроме самого *a*:

если $\neg(a=x)$, то $a \sqsupset x$ для всех $x \in E$ таких, что $\neg(a=x)$.

Аналогично аксиома *E5* выражает тот факт, что константу *j* мажорирует любой $y \in E$ такой, что $\neg(y=n)$: если $\neg(y=n)$, то $y \sqsupset n$ для всех $y \in E$ кроме $y = n$.

Будем говорить, что *E1–E5* и аксиомы для равенства [27] определяют отношение строгого *E*-порядка в элементарной теории с аксиомами иррефлексивности, асимметричности, транзитивности и аксиомами для *a* и *n* элементов множества *E*.

Рассмотрим теперь множество *ER*, представляющее эмпирические закономерности (*ER*), определенные посредством *Df.*15–3, *Df.*16–3 и *Df.*17–3, где $ER=EL \cup ET \cup SET$.

Далее, рассмотрим следующую интерпретацию аксиом *E1–E5*: в качестве множества *E* выберем *ER*, отношение $\sqsupset$ определим посредством *Df.*15–3, *Df.*16–3, *Df.*17–3 так, что $\sqsupset \subseteq ER \times ER$, что представлено матрицей MAT, соответствующей дереву ***T*** классификаций *ER*.

Пусть $\Re_{ER}$=<ER, $\sqsupset$,=> – реляционная система для отношений $\sqsupset$ и =, определенная на множестве *ER*, где *a* есть EL_s, а *n* есть SET_2, тогда имеет место следующее **Предложение 3-3.** $\Re_{ER}$=<*ER*, $\sqsupset$,=> есть модель системы аксиом *E1–E5*.

Рассмотрим MAT и установим истинность *E1*, *E2*, *E4*, *E5*, что непосредственно следует из MAT. Истинность *E3* (транзитивность $\sqsupset$) устанавливается рассмотрением случаев истинности антецедентов реализации *E3*.

Таким образом, множество эмпирических закономерностей (*ER*), определенное посредством *Df.*15–3, *Df.*16–3, *Df.*17–3, характеризуется иррефлексивным, асиметричным, транзитивным отношением строгого *E*-порядка с наибольшим элементом $EL_s(a)$ и наименьшим элементом $SET_2(n)$.

EL_s характеризуется начальной историей *PW* типа <ν, ν>* и историями *PW* её потомков типа <ν, ν> | <τ, ν> с условиями $q < \frac{s}{2}$ и монотонным неубыванием ρ^σ (p), обозначаемым посредством *M*. Очевидно, что EL_s есть самый «сильный» эмпирический закон, и он является наибольшим элементом *a* относительно *E*-порядка в $\Re_{ER}$, а SET_2 есть самый «слабый» эмпирический закон, и он является наименьшим элементом n относительно частичного *E*-порядка в $\Re_{ER}$.

SET_2 характеризуется начальной историей *PW* <τ, ν>* с условием $q \geq \frac{s}{2}$ и аналогичными историями *PW* её потомков, что представлено наглядно в дереве ***T*** классификацией *ER.*

Можно показать, что существует единственный наибольший элемент и единственный наименьший элемент *a* и *n*, соответственно, такие, что они не равны.

<u>Замечание 2-3.</u> ДСМ-рассуждения были формализованы в §1 посредством языка-объекта *JL*, а ДСМ-исследования были формализованы посредством метаязыка *MJL,* содержащего предикаты $X \Rightarrow_1^{(p)} Y$ и $V \Rightarrow_2^{(p)} Y$, зависящие от параметра *p*, где *p*=0,1….,*s*, обозначающего номера *БФ(p)* («возможных миров»). Эти предикаты используются для определения предикатов $L_2^\sigma(V,Y)$ и $L_1^\sigma(Z,Y)$, выражающих **сохранение** порождаемых гипотез о (±)-причинах эффектов и гипотез о предсказаниях этих эффектов. Эти предикаты формализуют каузальные вынуждения посредством $A_9^\sigma, \hat{A}_9^\sigma, A_{10}^\sigma, \hat{A}_{10}^\sigma, \bar{\hat{A}}_{10}^\sigma, \bar{A}_{10}^\sigma$.

Таким образом, *ER* невыразимы в *JL,* но выразимы в *MJL.*

Отношение $\sqsupset$ между элементами ***ER*** **невыразимы в *MJL*,** но выразимы в *MMJL* таком, что в нем индивидами являются элементы *ER*, а *ER* образует универсум для определения отношения между эмпирическими закономерностями из *EL*, *ET* и *SET*.

Таким образом, ***JL*** **– язык формализации ДСМ-рассуждений, *MJL* – язык формализации ДСМ-исследований**, результатом которых является обнаружение множества *ER*, а *MMJL* есть язык установления отношения между элементами *ER*, что завершает обнаружение знаний для $БФ(0) \subset ... \subset БФ(s)$ и **моделирование** предметной области относительно последовательности $БФ(0),...,БФ(s)$ и заданного множества стратегий ДСМ-рассуждений $\overline{Str}$.

ER, состоящие из *EL*, *ET* и *SET*, т. е.: $ER=EL \cup ET \cup SET$, определенные посредством *Df.*15–3, *Df.*16–3 и *Df.*17–3, имеют **регулярные коды** *Cd* такие, что они есть последовательности, образованные 1;-1; τ,1 и τ,-1, соответственно.

Рассмотрим множества $\tilde{\Delta}(p)$, являющиеся результатом применения ДСМ-рассуждений и п.п.в.-1 (индуктивных правил вывода), где *p*=0,1,…,*s*, такие, что эти ДСМ-рассуждения являются допустимыми. Следовательно $\rho^\sigma(s) \geq \bar{\rho}^\sigma$, где $\bar{\rho}^\sigma$ – заданный порог, а $\sigma \in \{+,-\}$.

Обозначим посредством $\bar{\Delta}^\sigma(p)$ и $\bar{\Omega}^\sigma(p)$, где $\sigma \in \{+,-\}$, а p=0,1,…,s множество гипотез о (±)-причинах и (±)-предсказаниях, порожденных посредством ДСМ-рассуждений применяемых к последовательности $БФ(0)$, $БФ(1)$,…, $БФ(s)$ таких, что они характеризуют элементы множества *ER*.

Пусть $\bar{\Delta}^+(p) \cup \bar{\Delta}^-(p) \subseteq \tilde{\Delta}(p)$, где p=0,1,…,s, а $\bar{\Delta}^\sigma(p)$ – те и только те гипотезы

$$J_{\langle \nu, n_p \rangle}(C_i \Rightarrow_2^{(p)} Q),\ \ \nu = \begin{cases} 1, если\ \sigma = + \\ -1, если\ \sigma = - \end{cases}$$

и $J_{\langle \nu, n_p \rangle}(C_i \Rightarrow_2^{(p)} Q) \in \bar{\Delta}^\sigma(p)$, а C_i, Q – константы.

$\bar{\Delta}^{\sigma}(p)$ является противоречивым, если ему принадлежит контрарная пара

$J_{\langle \nu, n_p\rangle}(C_i \Rightarrow_2^{(p)} Q)$, $J_{\langle \mu, n_p\rangle}(C_i \Rightarrow_2^{(p)} Q) \in \bar{\Delta}^{\sigma}(p)$,

где $\nu \neq \mu$,

а $\nu, \mu \in \{1, -1, 0\}$.

Пусть $\bar{\Omega}^{+}(p) \cup \bar{\Omega}^{-}(p) \subseteq \tilde{\Omega}(p)$,

где p=01,…,s, $\bar{\Omega}^{\sigma}(p)$ – те и только те гипотезы $J_{\langle 1, n_p+1\rangle}(C_j \Rightarrow_1^{(p)} Q)$ и $J_{\langle -1, n_p+1\rangle}(C_j \Rightarrow_1^{(p)} Q)$, которые принадлежат $\bar{\Omega}^{+}(p) \cup \bar{\Omega}^{-}(p)$.

В силу регулярности *Cd* не существуют контрарные пары для всех p=0,1…,s, такие, что они принадлежат $\bar{\Delta}^{\sigma}(p)$. Следовательно, $\bar{\Delta}^{+}(p) \cup \bar{\Delta}^{-}(p)$ непротиворечивы, а потому непротиворечивы и множества $\bar{\Omega}^{+}(p) \cup \bar{\Omega}^{-}(p)$, где $\bar{\Omega}^{\sigma}(p) \subset \tilde{\Omega}(p)$, а $\tilde{\Omega}(p) = \tilde{\Omega}^{+}(p) \cup \tilde{\Omega}^{-}(p) \cup \tilde{\Omega}^{0}(p) \cup \tilde{\Omega}^{\tau}(p)$ являются результатом ДСМ-рассуждения [13,16]. Непротиворечивость $\tilde{\Omega}^{+}(p) \cup \tilde{\Omega}^{-}(p)$ для всех p=0,1…..s следует из реализации каузальных вынуждений для историй возможных миров (*PW*), выразимых для всех элементов $ER = EL \cup ET \cup SET$ посредством $A_9^{\sigma}, A_{10}^{\sigma}$ и $\bar{A}_{10}^{\sigma}$, где $\sigma \in \{+, -\}$.

Таким образом, имеет место

Предложение 4-3. Множества гипотез о (±)-причинах и (±)-предсказаниях непротиворечивы, т. е. *Consis* $(\bar{\Delta}^{+}(s) \cup \bar{\Delta}^{-}(s) \cup \bar{\Omega}^{+}(s) \cup \bar{\Omega}^{-}(s))$ [13, 16].

В [27] эмпирические закономерности *ER* определялись посредством условия непротиворечивости расширяемых множеств гипотез для последовательности баз фактов $БФ(p)$. В [9] было предложено другое определение эмпирических закономерностей (эмпирических закономерностей и эмпирических тенденций), использующее условие сохранения типов истинностных значений (1 и -1) для расширяемых $БФ(p)$. Это определение было переформулировано и улучшено в серии определений настоящей статьи – *Df.*15–3, *Df.*16–3 и *Df.*17–3, в которых выражены необходимые и достаточные условия для эмпирических законов (*EL*) и эмпирических тенденций (*ET*, *SET*). Предложение 4-3 формулирует лишь необходимое условие для эмпирических закономерностей (*ER*).

Предикаты $L_2^{\sigma}(V,Y), L_1^{\sigma}(Z,Y)$ являются генераторами эмпирических законов (EL), порождаемых каузальными вынуждениями A_9^{σ}, где $\sigma \in \{+, -\}$.

В соответствии с $Df.15-3$ и деревом классификации $\boldsymbol{T}$ для эмпирических закономерностей (ER), выражающих истории возможных миров (PW) и виды каузальных вынуждений (CF) всех потомков **начальной** истории CF, обозначим **интегральные** каузальные вынуждения посредством $A_{9\chi_1}^{\sigma}$, где $\chi_1 = b, d, f, h.$

Предикаты $\hat{L}_2^{\sigma}(V,Y), \hat{L}_1^{\sigma}(Z,Y)$ являются генераторами EL, порождаемыми $CF\, \hat{A}_9^{\sigma}$, где $\sigma \in \{+, -\}$.

В соответствии с *Df.*15–3 и деревом $\boldsymbol{T}$ для ER, выражающих истории *PW* и виды CF всех потомков **начальной** истории CF, обозначим **интегральные** CF для EL с условием монотонного неубывания абдуктивного объяснения *M* посредством $\hat{A}_{9\chi_2}^{\sigma}$, где $\chi_2 = a, c, e, g.$

Для генераторов эмпирических тенденций (ET) $L_{2,\tau}^{\sigma}(V,Y), L_{1,\tau}^{\sigma}(Z,Y)$ и $\hat{L}_{2,\tau}^{\sigma}(V,Y), \hat{L}_{1,\tau}^{\sigma}(Z,Y)$ согласно *Df.*16–3 и дереву $\boldsymbol{T}$ классификаций ER обозначим **интегральные** CF посредством A_{10,χ_3}^{σ}, где $\chi_3 = j, l$ и $\hat{A}_{10,\chi_4}^{\sigma}$, где $\chi_4 = i, k,$ соответственно.

Для генераторов подозрительных эмпирических тенденций (SET) $\bar{L}_{2,\tau}^{\sigma}(V,Y)$, $\bar{L}_{1,\tau}^{\sigma}(Z,Y)$ и $\bar{\hat{L}}_{2,\tau}^{\sigma}(V,Y), \bar{\hat{L}}_{1,\tau}^{\sigma}(Z,Y)$ согласно *Df.*17–3 и дереву $\boldsymbol{T}$ классификации ER обозначим **интегральные** CF посредством $\bar{A}_{10,\chi_5}^{\sigma}$, где $\chi_5 = n$ и $\bar{\hat{A}}_{10,\chi_6}^{\sigma}$, где $\chi_6 = m,$ соответственно.

Далее сформулируем таблицу спецификаций каузальных вынуждений – Таблицу *SCF* (табл. 2).

Таблица 2

Таблица SCF

Генераторы начального *CF*	Начальное *CF*	Виды историй *PW*
$L_2^{\sigma}(V,Y), L_1^{\sigma}(Z,Y)$	A_9^{σ}	b, d, f, h
$\hat{L}_2^{\sigma}(V,Y), L_1^{\sigma}(Z,Y)$	$\hat{A}_9^{\sigma}$	a, c, e, g
$L_{2,\tau}^{\sigma}(V,Y), L_{1,\tau}^{\sigma}(Z,Y)$	A_{10}^{σ}	j, l
$\hat{L}_{2,\tau}^{\sigma}(V,Y), \hat{L}_{1,\tau}^{\sigma}(Z,Y)$	$\hat{A}_{10}^{\sigma}$	i, k
$\bar{L}_{2,\tau}^{\sigma}(V,Y), \bar{L}_{1,\tau}^{\sigma}(Z,Y)$	$\bar{A}_{10}^{\sigma}$	n
$\bar{\hat{L}}_{2,\tau}^{\sigma}(V,Y), \bar{\hat{L}}_{1,\tau}^{\sigma}(Z,Y)$	$\bar{\hat{A}}_{10}^{\sigma}$	m

Замечание 3-3. Заметим, что $ER = EL \cup ET \cup SET$ определены для фиксированных стратегий ДСМ-рассуждений $Str_{x,y}$ из заданного множества $\overline{Str}$ [5,11, 21].

В [5, 21] были реализованы 16 стратегий ДСМ-рассуждений, следовательно, для (+)- и (–)-эмпирических законов (EL) имеются $8 \cdot 2 \cdot 16 = 256$ возможных видов EL. Соответственно, имеются $4 \cdot 2 \cdot 16 = 128$ видов ET и $2 \cdot 2 \cdot 16 = 64$ вида SET.

Разумеется, наличие тех или иных ER зависит от заданной последовательности *БФ*.

Замечание 4-3. Это замечание является существенным, так как оно корректирует и уточняет введенные ранее определения предикатов $L_2^\sigma(V,W)$ и $L_1^\sigma(Z,W)$, а, следовательно, корректирует и уточняет определения каузальных вынуждений A_9^σ, где $\sigma \in \{+,-\}$.

Дело в том, что предикаты $L_2^\sigma(V,W)$ и $L_1^\sigma(Z,W)$, введенные посредством $Df.5-2$ и $Df.6-2$, соответственно, содержат переменную p (номер $(БФ(p))$ как связанную переменную квантором $\forall$. Это обстоятельство затрудняет истолкование каузальных вынуждений посредством A_9^σ и $\hat{A}_9^\sigma$ для определения эмпирических законов из EL.

Определим предикаты сохранения гипотез о $(\pm)$- причинах и $(\pm)$- предсказаниях $L_2^\sigma(V,W,p)$ и $L_1^\sigma(Z,W,p)$, как зависящие от параметра p.

***Df*.18–3.** $L_2^+(V,W,p) \rightleftharpoons$

$\exists s \exists n((((J_{\langle 1,2n-1\rangle}(V \Rightarrow_2^{(p)} W) \in \tilde{\Delta}_{x,y}(p))\&(\overline{\rho}^+ \le \rho^+(s))\&$

$(0 \le p \le s)) \to \tilde{\zeta}_2^+(\langle V,W\rangle,\Omega(p)) = 1))\&$

$(\mathrm{J}_{\langle 1,1\rangle}(V \Rightarrow_2^{(0)} W) \in \tilde{\Delta}_{x,y}(0))),$

***Df*.19–3.** $L_1^+(Z,W,p) \rightleftharpoons$

$\exists s \exists n((((J_{\langle 1,2n\rangle}(Z \Rightarrow_1^{(p)} W) \in \tilde{\Omega}_{x,y}(p))\&(\overline{\rho}^+ \le \rho^+(s))\&$

$(0 \le p \le s)) \to \tilde{\zeta}_1^+(\langle V,W\rangle,\Omega(p)) = 1))\&$

$(\mathrm{J}_{\langle 1,2\rangle}(Z \Rightarrow_1^{(0)} W) \in \tilde{\Omega}_{x,y}(0))),$

где $\overline{\rho}^+$ – заданный порог (например, 0,8);

$(I)_{x,y}(\Omega(0)) = \tilde{\Delta}_{x,y}(0), (I)_{x,y}(\Omega(p)) = \tilde{\Delta}_{x,y}(p); \overline{O}_{x,y}(\Omega(0)) = \tilde{\Omega}_{x,y}(0),$

$\overline{O}_{x,y}(\Omega(p)) = \tilde{\Omega}_{x,y}(p).$

В *MJL* определим термы A_2^+ и A_1^+ следующим образом:

$$A_2^+ = \{\langle Z,p\rangle \mid L_2^+(C',Q,p)\&(\mathrm{C}' \subset \mathrm{Z})\&\mathrm{P(Z,p)}\},$$

где $P(Z,p) = \neg\exists V_0((J_{\langle -1,2n-1\rangle}(V_0 \Rightarrow_2^{(p)} Q) \vee$

$$J_{\langle 0,2n-1\rangle}(V_0 \Rightarrow_2^{(p)} Q))\&(\mathrm{V}_0 \subset \mathrm{Z}));$$

$$A_1^+ = \{\langle Z,p\rangle \mid L_1^+(Z,Q,p)\}.$$

Имеем доказанное предложение

(1) $\forall p \forall Z((L_2^+(C',Q,p)\&(C' \subset Z)\ \&\ P(Z,p)) \to L_1^+(Z,Q,p))$

и введем Допущение (2) $\forall p \forall Z(L_1^+(Z,Q,p) \to (\langle Z,p\rangle \in A_2^+))$.

Сделаем также еще одно Допущение (3) $\neg(A_1^\sigma = \varnothing)$, где $\sigma \in \{+,-\}$. Это означает, что существует непустое множество гипотез о предсказаниях. Тогда получим

Предложение 5-3. $A_2^+ = A_1^+$.

Из (1) следует, что $A_2^+ \subseteq A_1^+$; а из (2) следует, что $A_1^+ \subseteq A_2^+$.

В силу (1), (2) и (3) получаем, что

$A_1^+ = \{\langle Z,p\rangle \mid L_1^+(Z,Q,p)\}$

является множеством носителей (*carriers*) эмпирических законов из EL, порожденных соответствующими каузальными вынуждениями A_9^σ или $\hat{A}_9^\sigma$.

Таким образом, допущение (2) **конструктивно** необходимо для выделения множества носителей для EL^+.

Очевидно, что аналогично определяются A_1^- и A_2^- для EL^-, и имеет место Предложение, аналогичное, Предложению 5-3 для A_1^- и A_2^-.

$\hat{A}_9^\sigma$ и $\hat{A}_1^\sigma, \hat{A}_2^\sigma$ получим добавлением условий $\rho^\sigma(0) \le ... \le \rho^\sigma(s)$, соответственно, где $\sigma \in \{+,-\}$, следующим образом.

$\hat{L}_2^+(V,W,p) \rightleftharpoons L_2^+(V,W,p)\&\exists s(\rho^+(0) \le ... \le \rho^+(s))$

$\hat{L}_1^+(Z,W,p) \rightleftharpoons L_1^+(Z,W,p)\&\exists s(\rho^+(0) \le ... \le \rho^+(s)),$

тогда $\hat{A}_9^+$ есть:

$\forall p \forall V \forall W \forall Z((\hat{L}_2^+(V,W,p)\ \&\ (V \subset Z)\ \&\ P(Z,p)) \to \hat{L}_1^+(Z,W,p))$ – принцип каузального вынуждения; а

$\hat{A}_1^+ = \{\langle Z,p\rangle \mid \hat{L}_1^+(Z,Q,p)\}, \hat{A}_2^+ = \{\langle Z,p\rangle \mid \hat{L}_2^+(C',Q,p)\&(\mathrm{C}' \subset \mathrm{Z})\&\mathrm{P(Z,p)}\}.$

Получим также аналог (1):

$(\hat{1})\forall p \forall Z((\hat{L}_2^+(C',Q,p)\ \&\ (C' \subset Z)\ \&\ P(Z,p)) \to \hat{L}(Z,Q,p))$, т. е. $(\hat{1})^+$ есть $\hat{A}_9^+(C',Q)$ – реализация $\hat{A}_9^+$.

Аналогично формулируются $(\hat{1})^-$ и $\hat{A}_9^-$.

Проведенные рассуждения имеют место для интегральных каузальных вынуждений A_{9,χ_1}^σ, где $\chi_1 = b,d,f,h$ и $\hat{A}_{9,\chi_2}^\sigma$, где $\chi_2 = a,c,e,g$.

Следовательно, будут определимы $A^{\sigma}_{2,\chi_1}, A^{\sigma}_{1,\chi_1}$ и $A^{\sigma}_{2,\chi_2}, A^{\sigma}_{1,\chi_2}$ для соответствующих спецификаций эмпирических законов из EL посредством **интегральных** каузальных вынуждений, порождающих модальности необходимости □s, □1, □2, □3, □4, □5, □6, □7 такие, что они упорядочены отношением ⊐.

В [5] были представлены результаты экспериментов с интеллектуальной системой ИС-ДСМ, реализующей ДСМ-исследование. Этим исследованием является обнаружение эмпирических закономерностей возникновения (невозникновения) сахарного диабета у больных хроническим панкреатитом. В ИС-ДСМ применялись 16 стратегий ДСМ- рассуждений $Str_{x,y}$ [10, 11], множество которых $\overline{Str}$ образует дистрибутивную решетку [12].

Множество заданных на прогноз примеров $\Omega^{\tau}(0)$ имело $m_0 = |\Omega^{\tau}(0)|$ элементов; ИС-ДСМ правильно предсказала ℓ_0 примеров так, что значениями ℓ_0 были результаты ДСМ-исследований для каждой $Str_{x,y}$ из $\overline{Str}$.

Посредством ***a, b, c*** были обозначены три типа ошибок: ***a*** – грубые ошибки (1 вместо -1, -1 вместо 1), ***b*** – ошибки (0 вместо 1, 0 вместо -1), ***c*** – отсутствие предсказаний (τ вместо 1, τ вместо -1).

Приведём таблицу из [5] (табл. 3), представляющую разбиения $\overline{Str}$ для **совпадений** как правильных предсказаний (значения ℓ_0), так и типов ошибок (значения ***a, b, c***).

Представим также перечень стратегий ДСМ-рассуждений, использованных в [5], где $a^{\sigma}, b^{\sigma}, d_0^{\sigma}$ обозначают имена предикатов сходства, условие запрета на контрпримеры и условие различия, соответственно, для правил индуктивного вывода [11, 10] в соответствующих стратегиях ДСМ-рассуждений $Str_{x,y}$, где *x* – имя M^+-предиката, а *y* – имя M^--предиката:

(1) $Str_{a,a}$	(9) Str_{a,ad_0}
(2) $Str_{ab,a}$	(10) Str_{ab,ad_0}
(3) $Str_{ad_0,a}$	(11) Str_{ad_0,ad_0}
- (4) $Str_{ad_0b,a}$	(12) Str_{ad_0b,ad_0}
(5) $Str_{a,ab}$	(13) Str_{a,ad_0b}
(6) $Str_{ab,ab}$	(14) Str_{ab,ad_0b}
- (7) $Str_{ad_0,ab}$	(15) Str_{ad_0,ad_0b}
(8) $Str_{ad_0b,ab}$	(16) Str_{ad_0b,ad_0b}

(8) $Str_{ad_0b,ab}$ ДСМ-стратегия, образованная предикатами $M^{+}_{ad_0b,n}(V,W)$ и $M^{-}_{ab,n}(V,W)$ и их отрицаниями $(\neg)$ для *п.п.в.*$-1^{(\sigma)}$, где $\sigma \in \{+,-,0,\tau\}$.

Определим теперь отношения эквивалентности для Str_{x_1,y_1} и Str_{x_2,y_2}, определенные на множестве $\overline{Str}$.

Df*.20–3.** Стратегии ДСМ-рассуждений Str_{x_1,y_1} и Str_{x_2,y_2} будем называть **эквивалентными**, если совпадают их значения ℓ_0, ***a, b и ***c*** для высказываний $C_1 \Rightarrow_1 Q$ и $C_2 \Rightarrow_2 Q,\ C_2 \subset C_1$. Отношение эквивалентности стратегий обозначим посредством E_q, а $Str_{x_1,y_1}\, E_q\, Str_{x_2,y_2}$ выражает эквивалентность Str_{x_1,y_1} и Str_{x_2,y_2}.

Ослабим определение $Df.20-3,$ исключив из него условие совпадения ошибок ***a, b*** и ***c***, и получим определение слабого отношения эквивалентности E_{q_w} ДСМ-стратегий.

***Df*.21–3.** Стратегии ДСМ-рассуждений Str_{x_1,y_1} и Str_{x_2,y_2} будем называть **слабо эквивалентными**, если совпадают их предсказания (т. е. они имеют совпадающие значения ℓ_0 для высказываний $C_1 \Rightarrow_1 Q$ и $C_2 \Rightarrow_2 Q,\ C_2 \subset C_1$). Выражение $Str_{x_1,y_1}\, E_{q_w}\, Str_{x_2,y_2}$ выражает слабую эквивалентность Str_{x_1,y_1} и Str_{x_2,y_2}.

E_q и E_{q_w} порождают соответствующие разбиения множества $\overline{Str}$ для заданной последовательности вложенных баз фактов и их потомков, образующих $(s+1)!$ историй возможных миров. Эти разбиения $\overline{Str}$ характеризуют сохранения порождаемых гипотез относительно различных видов каузальных вынуждений для множества *ER*.

В Таблице E_q представлено разбиение $\overline{Str}$, порожденное E_q:

$$\overline{Str} = \{6,8\} \cup \{14,16\} \cup \{2,4,10,12\} \cup \{13,15\} \cup \{5,7\} \cup \{1,3,9,11\}.$$

Очевидно, что $\{6,8\}$ и $\{1,3,9,11\}$ являются наилучшим и наихудшим классами эквивалентности, соответственно[15].

Пусть $\{\langle C_1,Q\rangle,...,\langle C_{m_0},Q\rangle\}$ – множество пар взаимно-однозначно соответствующее $\Omega^{\tau}(0)$-множеству примеров, заданных для предсказания в ДСМ-исследовании. Пусть, далее, E_q-отношение эквивалентности на $\overline{Str}$, соответствующее $\Omega^{\tau}(0)$.

Рассмотрим расширение $\Omega^{\tau}_1(0)$ множества примеров $\Omega^{\tau}(0)$ такое, что $\Omega^{\tau}_1(0)$ взаимно-однозначно соответствует $\{\langle C_1,Q\rangle,...,\langle C_{m_0},Q\rangle,\langle C_{m_{0+1}},Q\rangle,...,\langle C_{m_{0+k}},Q\rangle\}$ и $\Omega^{\tau}(0) \subset \Omega^{\tau}_1(0).$ Тогда после применения ДСМ-исследования для $\Omega^{\tau}_1(0)$ будет порождено отношение экви-

[15] Заметим, что в [5] $|\Omega^{\tau}(0)| = m_0 = 10,$ а $\ell_0 = 8$ для $\{6,8\} = \{Str_{ab,ab}, Str_{ad_0b,ab}\}.$

валентности $E_q^{(1)}$ на $\overline{Str}$ такое, что оно определит (*determinate*) разбиение $\Pi^{(1)}$ множества $\overline{Str}$. Если Π – разбиение $\overline{Str}$ такое, что оно порождено E_q для $\Omega^{\tau}(0)$, то возможны три случая отношений между E_q и $E_q^{(1)}$: (1) $E_q = E_q^{(1)}$, (2) $E_q \subseteq E_q^{(1)} \vee E_q^{(1)} \subseteq E_q$, (3) $E_q \parallel E_q^{(1)}$, где $E_q \parallel E_q^{(1)} \rightleftharpoons \neg(E_q \subseteq E_q^{(1)} \vee E_q^{(1)} \subseteq E_q)$, т. е. E_q и $E_q^{(1)}$ – несравнимы.

Очевидно, что аналогичные отношения =, сравнимости ($\asymp$) и несравнимости ($\parallel$) можно определить и для слабого отношения эквивалентности E_{q_w} на $\overline{Str}$.

***Df*.22–3.** ДСМ-исследования будем называть при расширении $\Omega^{\tau}(0)$ сильно подтверждаемыми, если $E_q = E_q^{(1)}$; ДСМ-исследования будем называть подтверждаемыми, если $E_q \asymp E_q^{(1)}$; ДСМ-исследования будем называть слабо подтверждаемыми, если $E_{q_w} = E_{q_w}^{(1)}$; ДСМ-исследования будем называть, возможно, слабо подтверждаемыми, если $E_{q_w} \asymp E_{q_w}^{(1)}$.

Сохранение разбиений $\overline{Str}$ при расширении $\Omega^{\tau}(0)$ посредством *Df*.22–3 может быть усилено добавлением (+)- и (–)-фактов к $\Omega(0)$ так, что могут быть рассмотрены три случая: (1) добавляются τ-примеры, (2) добавляются (+)- и (–)-факты, (3) добавляются (τ)-примеры и (+)- и (–)-факты. Эти расширения исходных данных следует учесть в шкале оценок качества ДСМ-рассуждений [10].

В [10] было предложено несингулярное оценивание результатов применения интеллектуальных систем, реализующих ДСМ-метод АПНИ, которое состоит из двух шкал – шкалы оценки качества ДСМ-рассуждений SC_1 и шкалы оценки качества гипотез SC_2.

SC_1 содержит следующие параметры – DR, $Str_{x,y}, ЭЗ, ЭТ, \frac{\ell_0}{m_0}, a, b, c, \rho^+, \rho^-$; а SC_2 содержит параметры DR, $Str_{x,y}, \overline{\nu}, k, ЭЗ, ЭТ, \Rightarrow_1, \Rightarrow_2$.

Характеризация множества $ER = EL \cup ET \cup SET$, определения E_q и E_{q_w} используются для расширения шкал SC_1 и SC_2, которыми являются $\overline{SC}_1$ и $\overline{SC}_2$, приводимые в табл. 4 и 5.

Таблица 3

Таблица E_q

№	$Str_{x,y}$	ℓ_0		*a*		*b*		*c*	
		(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)
1	6, 8	3	5			1	1		
2	14, 16	4	3		1				2
3	2, 4, 10, 12		5			4	1		
4	13, 15	4			2		3		1
5	5, 7	3	1			1	5		
6	1, 3, 9, 11		1			4	5		

Таблица 4

Шкала оценки качества ДСМ-исследования

$\overline{SC}_1$	$\frac{\ell_0}{m_0}$	EL^+	EL^-	ET^+	ET^-	SET^+	SET^-	E_q	E_{q_w}	$\rho^+(s)$	$\rho^-(s)$	$\bar{M}$	a	b	c	$Str_{x,y}$	RD

Таблица 5

Шкала оценки качества гипотез

$\overline{SC}_2$	EL^+	EL^-	ET^+	ET^-	SET^+	SET^-	$\overline{\nu}$	k^+	k^-	$Str_{x,y}$	RD	$\Rightarrow_1$	$\Rightarrow_2$

$\overline{SC}_2$ представляет структуру оценок конкретных гипотез, выразимых посредством предикатов $X \Rightarrow_1 Y$ и $V \Rightarrow_2 Y$, которые выражают результаты каузальных вынуждений посредством $A^{\sigma}_{9,\chi_1}, \hat{A}^{\sigma}_{9,\chi_2}$; $A^{\sigma}_{10,\chi_3}, \hat{A}^{\sigma}_{10,\chi 4}$; $\overline{A}^{\sigma}_{10,\chi_5}, \overline{\hat{A}}^{\sigma}_{10,\chi_6}$, где значения χ_j, $1 \le j \le 6$, представлены в Таблице *SCF*. Эти же значения представляются в рубриках EL^{σ}, $ET^{\sigma}, SET^{\sigma}$ шкал $\overline{SC}_1$ и $\overline{SC}_2$. В шкалах $\overline{SC}_1$ и $\overline{SC}_2$ значениями рубрик E_q и E_{q_w} являются отношения =, $\asymp$, $\|$.

Пусть Str_{x_1,y_1} и Str_{x_2,y_2} слабо эквивалентны: $Str_{x_1,y_1}\ E_{q_w}\ Str_{x_2,y_2}$, тогда $H_{x_1,y_1} = H_{x_2,y_2}$, где H_{x_1,y_1} и H_{x_2,y_2} – множества гипотез, выразимых посредством предиката $X \Rightarrow_1^{(s)} Y$, соответственно, для Str_{x_1,y_1} и Str_{x_2,y_2}, а *s* – номер заключительной *БФ(s)*. Тогда $H_{x_i,y_i} = H^+_{x_i,y_i} \cup H^-_{x_i,y_i}$, где *i = 1, 2*.

Рассмотрим каузальные вынуждения $A^{\sigma}_{9,\chi_1}, \hat{A}^{\sigma}_{9,\chi_2}$, $A^{\sigma}_{10,\chi_3}, \hat{A}^{\sigma}_{10,\chi_4}, \overline{A}^{\sigma}_{10,\chi_5}, \overline{\hat{A}}^{\sigma}_{10,\chi_6}$, опустив кванторы $\forall V, \forall Z$ и заменив переменную *Y* на константу *Q*, получим формулы $A^{\sigma}_{9,\chi_1}(V,Q,Z), \hat{A}^{\sigma}_{9,\chi_2}(V,Q,Z)$ и т.д. Также рассмотрим дизъюнкции всех возможных видов каузальных вынуждений

$$A^{\sigma}_{\chi}(V,Q,Z) \rightleftharpoons$$
$$A^{\sigma}_{9,\chi_1}(V,Q,Z) \vee A^{\sigma}_{9,\chi_2}(V,Q,Z) \vee A^{\sigma}_{10,\chi_3}(V,Q,Z) \vee$$
$$\hat{A}^{\sigma}_{10,\chi_4}(V,Q,Z) \vee \overline{A}^{\sigma}_{10,\chi_5}(V,Q,Z) \vee \overline{\hat{A}}^{\sigma}_{10,\chi_6}(V,Q,Z) \text{ и}$$
$$A_{\chi}(V,Q,Z) \rightleftharpoons A^+_{\chi}(V,Q,Z) \vee A^-_{\chi}(V,Q,Z).$$

Определим подмножества $\tilde{H}^+_{x_i,y_i}$ множества $H^+_{x_i,y_i}$, где *i = 1, 2*, следующим образом:

$$\exists V \forall Z(((J_{\langle 1,n_s \rangle}(Z \Rightarrow_1^{(s)} Q) \in \tilde{H}^+_{x_i,y_i}) \ \&$$
$$(\tilde{H}^+_{x_i,y_i} \subseteq H^+_{x_i,y_i})) \leftrightarrow A^+_{\chi}(V,Q,Z)),$$

аналогично определим $\tilde{H}^-_{x_i,y_i}$, где *i = 1, 2*. Тогда получим следующее определение множества гипотез эмпирических закономерностей

$$\tilde{H}_{x_i,y_i} : \tilde{H}_{x_i,y_i} = \tilde{H}^+_{x_i,y_i} \cup \tilde{H}^-_{x_i,y_i}.$$

***Df*.23–3.** Будем говорить, что Str_{x_1,y_1} и Str_{x_2,y_2} *ER* – слабо эквивалентны, если $\tilde{H}_{x_1,y_1} = \tilde{H}_{x_2,y_2}$.

Аналогичное определение *ER*-эквивалентности стратегий ДСМ-рассуждений можно сформулировать, заменив отношение E_{q_w} на E_q.

В [16] была охарактеризована семантическая структура *Sem* квазиаксиоматических теорий, применяемых для ДСМ-исследований. *Sem* = {$\mathcal{B}_1$, $\mathcal{B}_2$, $\mathcal{R}$}, где $\mathcal{B}_1$ и $\mathcal{B}_2$ – булевы алгебры объектов (подобъектов) и множеств свойств, соответственно, а $\mathcal{R}$ – реляционная система с двумя носителями (*carriers*) и отношениями $\Rightarrow_1$ и $\Rightarrow_2$:

$$\mathcal{B}_1 = \langle 2^{U^{(1)}}, \varnothing, U^{(1)}, -, \cap, \cup \rangle,$$
$$\mathcal{B}_2 = \langle 2^{U^{(2)}}, \varnothing, U^{(2)}, -, \cap, \cup \rangle,$$

$\Re^{(p)} = \langle 2^{U^{(1)}}, 2^{U^{(2)}}, \Rightarrow_1^{(p)}, \Rightarrow_2^{(p)} \rangle$ для каждой *БФ(p)*, где $p = 0,1,\ldots,s$.

Таким образом, функция оценки $V[\varphi]$ формул φ языка *JL*, определенная в [16], теперь формулируется для каждой $\Re^{(p)}$, соответствующей *БФ(p)* и обозначается посредством $V^{(p)}[\varphi]$. Следовательно, определимы $Sem^{(p)}$ = {$\mathcal{B}_1$, $\mathcal{B}_2$, $\Re^{(p)}$}, где $0 \le p \le s$, а $\rho^+(s) \ge \overline{\rho}^+, \rho^-(s) \ge \overline{\rho}^-$, $\overline{\rho}^{\sigma}$ – заданные пороги степени абдуктивного объяснения *БФ(p)*, [1, 9, 13, 16].

Для оценки формул *JL* относительно последовательности $БФ(0),\ldots,БФ(s)$ такой, что $БФ(0) \subset \ldots \subset БФ(s)$, необходимо использовать *Sem* – семейств $Sem^{(p)}$ такое, что $Sem = \{Sem^{(p)} \mid 0 \le p \le s\}$. Относительно *Sem* определим предикаты $V \Rightarrow_2 Y$ и $X \Rightarrow_1 Y$ посредством функции оценки $V[\phi]$ следующим образом:

$V[J_{\langle v,n_p \rangle}(C \Rightarrow_1 Q)] = t$,
если для всех *p*,
где $0 \le p \le s$, $V^{(p)}[J_{\langle v,n \rangle}(C \Rightarrow_1 Q)] = t$;
$V[J_{\langle v,n \rangle}(C' \Rightarrow_2 Q)] = t$,
если для всех *p*,
где $0 \le p \le s$, $V^{(p)}[J_{\langle v,n \rangle}(C \Rightarrow_1 Q)] = t$,
где $v \in \{1,-1,0\}$ (аналогично определяется оценка для $J_{(v,n)}$) [16].

Заметим, что в шкале оценки качества гипотез $\overline{SC}_2$ представлены предикаты $\Rightarrow_1$ и $\Rightarrow_2$.

Будем говорить, что
$J_{\langle v,n_s \rangle}(C' \Rightarrow_2 Q)$ и $J_{\langle v,n_s \rangle}(C \Rightarrow_1 Q)$ истинны в *Sem*
и писать
$Sem \vDash J_{\langle v,n_s \rangle}(C' \Rightarrow_2 Q)$ и $Sem \vDash J_{\langle v,n_s \rangle}(C \Rightarrow_2 Q)$,
если для всех *p*,
таких, что $0 \le p \le s$, $V^{(p)}[J_{<v,n_p>}(C' \Rightarrow_2^{(p)} Q)] = t$ и $V^{(p)}[J_{<v,n_p>}(C \Rightarrow_1^{(p)} Q)] = t$,
т. е. $Sem^{(p)} \vDash J_{\langle v,n_p \rangle}(C' \Rightarrow_1^{(p)} Q)$ и
$Sem^{(p)} \vDash J_{\langle v,n_p \rangle}(C \Rightarrow_1^{(p)} Q)$, где $v \in \{1,-1\}$.

$V^{(p)}[\varphi]$ для предикатов $V \Rightarrow_2^{(p)} W$ и $X \Rightarrow_1^{(p)} Y$, ранее были определены следующим образом:

$$V^{(p)}[J_{<v,n_p>}(C' \Rightarrow_2^{(p)} Q)] =$$
$$= \begin{cases} t, \textit{если } J_{<v,n_p>}(C' \Rightarrow_2^{(p)} Q) \in \tilde{\Delta}_{x,y}(p); \\ f, \textit{иначе} \end{cases}$$
$$V^{(p)}[J_{<v,n_p>}(C' \Rightarrow_1^{(p)} Q)] =$$
$$= \begin{cases} t, \textit{если } J_{<v,n_p>}(C' \Rightarrow_1^{(p)} Q) \in \tilde{\Omega}_{x,y}(p) \cdot \\ f, \textit{иначе} \end{cases}$$

В силу Допущений

(2) $\forall p \forall Z(L_1^\sigma(Z,Q,p) \to (<Z,p> \in A_2^\sigma))$ и их усилений для $\hat{L}_1^\sigma(Z,Q,p)$ и $\hat{A}_2^\sigma$ имеет место

Предложение 5-3: $A_2^\sigma = A_1^\sigma$ и его усиление $\hat{A}_2^\sigma = \hat{A}_1^\sigma$, где $\sigma \in \{+,-\}$.

Второе Допущение

(3) $\neg(A_1^\sigma = \varnothing)$ и $\neg(\hat{A}_1^\sigma = \varnothing)$ влечет непустоту A_2^σ и $\hat{A}_2^\sigma$. Следовательно, множество пар $<C',Q>$, реализующих каузальные вынуждения A_9^σ и $\hat{A}_9^\sigma$, в точности соответствуют эмпирическим законам из $EL = EL_{\chi_1} \cup EL_{\chi_2}$, где $\chi_1 = b,d,f,h;\ \chi_2 = a,c,e,g$ [15].

Заметим, что Предложение 5-3 и Допущение (3) делают формальные импликации A_9^σ и $\hat{A}_9^\sigma$ «осмысленными» согласно идее немологических высказываний Г. Рейхенбаха [28].

Так как $\neg(A_1^\sigma = \varnothing)$ и $\neg(A_2^\sigma = \varnothing)$ (аналогично: $\neg(\hat{A}_1^\sigma = \varnothing)$ и $\neg(\hat{A}_2^\sigma = \varnothing)$), то из доказанных A_9^σ и $\hat{A}_9^\sigma$ следует, что $V^{(p)}[J_{<\nu,n_p>}(C \Rightarrow_1^{(p)} Q)] = t$ для всех *p*, где $p = 0,1,...,\overline{s}$, а $\overline{s}$ – константа, $\nu \in \{1,-1\}$.

Рассмотрим, определенный выше в *MJL* предикат $X \Rightarrow_1 Y$, и сделаем Допущение (4) для пар *<C,Q>* таких, что $V^{(p)}[J_{<\nu,n_p>}(C \Rightarrow_1^{(p)} Q)] = t$ для всех $p = 0,1,...,\overline{s}$: $Ver[C \Rightarrow Q] = t$, где *Ver* – оценка высказывания $C \Rightarrow Q$, полученная экспериментально, а, следовательно, **верифицирующая** $C \Rightarrow Q$.

В A_9^σ и $\hat{A}_9^\sigma$ подформулы $L_1^\sigma(Z,W,p)$ и $\hat{L}_1^\sigma(Z,W,p)$ содержат подформулы $J_{<\nu,n_p>}(Z \Rightarrow_1^{(p)} W)$. В силу Допущения (4)

$Ver[J_{<\nu,n_p>}(C \Rightarrow_1^{(p)} Q)] = t$ и $Ver[L_1^\sigma(C,Q,p)] = t$

для всех $p = 0,1,...,\overline{s}$ и соответствующих χ_1 и χ_2.

Для пар $<C',Q>$, где $C' \subset C$ таких, что они образуют реализации A_{9,χ_i}^σ и $\hat{A}_{9,\chi_i}^\sigma$, т. е. $A_{9,\chi_i}^\sigma(C',Q)$ и $\hat{A}_{9,\chi_i}^\sigma(C',Q)$, где *i* = 1,2, каузальные вынуждения порождают истинность $\Box_{\chi_1} A_{9,\chi_1}^\alpha(C',Q)$, где $\chi_1 = b,d,f,h$, и $\Box_{\chi_2} A_{9,\chi_2}^\alpha(C',Q)$, где $\chi_2 = a,c,e,g$.

Таким образом, имеем

$$\Box_{\chi_1} \forall p \forall Z((L_2^+(C',Q,p) \,\&\, (C' \subset Z) \,\&$$
$$\neg\exists V_0((J_{<-1,n_p>}(V_0 \Rightarrow_2^{(p)} Q) \vee J_{<0,n_p>}(V_0 \Rightarrow_2^{(p)} Q)) \,\&$$
$$(V_0 \subset Z))) \to L_1^+(Z,Q,p)).$$

Аналогичные утверждения имеют место для $\Box_{\chi_2}$ и $\hat{L}_2^\sigma(C',Q,p)$ и $\hat{L}_1^\sigma(Z,Q,p)$, где $\sigma \in \{+,-\}$.

[15] Таким образом, рассматриваются A_{9,χ_1}^σ и A_{9,χ_2}^σ; $\hat{A}_{9,\chi_1}^\sigma$ и $\hat{A}_{9,\chi_2}^\sigma$.

Если выполняются допущения (2), (3) и (4), то получим следующую схему абдуктивного вывода

$$\frac{\begin{array}{c}\Box_\chi \forall p \forall Z((L_2^+(C',Q,p) \,\&\, (C' \subset Z) \,\& \\ P(Z,Q)) \to L_1^+(Z,Q,p)), \\ \Box_\chi \forall Z((L_2^+(C',Q,\overline{s}) \,\&\, (C' \subset Z) \,\& \\ P(Z,Q)) \to L_1^+(Z,Q,\overline{s})), \\ L_1^+(C,Q,\overline{s})\end{array}}{\Box_\chi L_2^+(C',Q,\overline{s}),}$$

где χ есть χ_1 или χ_2, $\overline{s}$ – константа, являющаяся номером последней *БФ*(*s*) такой, что $\rho^+(s) \geq \overline{\rho}^+$, где $\overline{\rho}^+$ – выбранный порог (например, 0,8); а $Ver[L_1^+(C,Q,\overline{s})] = t$, так как $Ver[C \Rightarrow_1 Q] = t$.

Аналогично формулируется абдуктивный вывод для $\Box_\chi L_2^-(C',Q,\overline{s})$. Этот абдуктивный вывод формализует необходимость причины C' эффекта *Q* [16].

Абдуктивный вывод может быть сформулирован с использованием модальностей $\Diamond$ и ∇, определенных выше.

Замечание 5-3. Сформулированный абдуктивный вывод является абдукцией в ДСМ-исследованиях, формулируемой в *MJL*, тогда как абдукция для ДСМ-рассуждений представима посредством аксиом каузальной полноты и функций степени абдуктивного принятия гипотез $\rho^\sigma(p)$ [1] и выразима в *JL*.

Абдукцию для ДСМ-исследований будем называть **абдукцией второго рода**, а абдукцию для ДСМ-рассуждений – **абдукцией первого рода**.

Заметим также, что ℓ_0 в шкале оценки качества гипотез SC_1 представляет множество **верифицированных** гипотез о предсказаниях исследуемого эффекта и число его элементов (ℓ_0).

Замечание 6-3. Уточним уже определенные отношения *ER*-эквивалентности E_q и E_{q_w}. Будем полагать, что отношения E_q и E_{q_w} имеют место для тех и только тех стратегий $Str_{x,y}$ из $\overline{Str}$, результаты которых верифицированы, а, следовательно, реализуется абдуктивный вывод второго рода, соответствующий необходимым, возможным или подозрительно возможным каузальным вынуждениям.

Для пар $<C',Q>$, порождающих *EL* были определены

$A_1^\sigma = \{<Z,p> | L_1^\sigma(Z,Q,p)\}$ и

$A_2^\sigma = \{<Z,p> | L_2^\sigma(C',Q,p) \& (C' \subset Z) \& P(Z,p)\}$,

где $\sigma \in \{+,-\}$. Аналогично определимы $\hat{A}_1^\sigma$ и $\hat{A}_2^\sigma$ с условием монотонного неубывания $\rho^\sigma(p)$. Замеча-

[16] Р. Фейс высказывал предположение о возможности использования модальностей для анализа причинности [29].

ние 6-3 распространяется и на A_1^σ, A_2^σ: предполагается $Ver(C \Rightarrow_1 Q)$, где C является значением Z в A_1^σ и имеет место результат абдукции второго рода $\Box_\chi L_2^\sigma(C', Q, \bar{s})$.

Рассмотрим теперь следующие априорно возможные случаи *C1*, *C2*, *C3*, *C4*, где $\sigma \in \{+,-\}$.

C1. $A_2^\sigma = \varnothing$, $A_1^\sigma = \varnothing$;

C2. $A_2^\sigma \neq \varnothing$, $A_1^\sigma = \varnothing$;

C3. $A_2^\sigma \neq \varnothing$, $A_1^\sigma \neq \varnothing$;

C4. $A_2^\sigma = \varnothing$, $A_1^\sigma \neq \varnothing$.

C1 представляет неудачное или незавершенное ДСМ-исследование[17].

C2 невозможно в силу условия каузального вынуждения. Если же $L_2^\sigma(C', Q, p)$ истинно, то может возникнуть незавершенное ДСМ-исследование такое, что при расширении посредством новых $Б\Phi(s+1),..., Б\Phi(s+k_0)$ потенциально возможно обнаружение EL (эмпирических законов), а, следовательно, будет $A_1^\sigma \neq \varnothing$.

C3 представляет случай **завершенного** ДСМ-исследования, которым в предпочтительном варианте может быть $\hat{A}_2^\sigma \neq \varnothing$ и $\hat{A}_1^\sigma \neq \varnothing$.

Очевидно, что *C4* невозможно.

Замечание 7-3. Следует иметь ввиду, что каждое ДСМ-исследование осуществляет стратегию $Str_{x,y}$ из множества $\overline{Str}$, а семейство всех возможных ДСМ-исследований характеризуется посредством пары шкал $\langle \overline{SC}_1, \overline{SC}_2 \rangle$, которые могут быть частично упорядочены.

Так как задано множество стратегий ДСМ-рассуждений $\overline{Str}$ такое, что оно частично упорядочено [10, 11], то каждой $Str_{x,y}$, $Str_{x,y} \in \overline{Str}$, соответствуют истории расширяемых возможных миров (HPW_i), представимых базами фактов $Б\Phi^{(i)}(0) \subset ... \subset Б\Phi^{(i)}(s+1)$, где $i = 1,...,(s+1)!$. Таким образом, имеется $\Omega^{(i)}(0) \subset ... \subset \Omega^{(i)}(s+1)$, а каждому $\Omega^{(i)}(p)$ соответствуют результаты ДСМ-рассуждения $\tilde{\Delta}_{x,y}^{(i)}(p), \tilde{\Omega}_{x,y}^{(i)}(p)$, порожденные применением ДСМ-оператора $\bar{O}_{x,y}(\Omega(p))$.

Заметим, что каждой истории возможных миров HPW_i согласно дереву ***T***-классификаций *ER* и Таблице *SCF* каждая пара $< C', Q >$ такая, что она соответствует реализациям возможных каузальных вынуждений $A_{9,\chi_1}^\sigma(C', Q), A_{9,\chi_2}^\sigma(C', Q)$; $A_{10,\chi_3}^\sigma(C', Q), \hat{A}_{10,\chi_4}^\sigma(C', Q)$; $\bar{A}_{10,\chi_5}^\sigma(C', Q), \bar{\bar{A}}_{10,\chi_6}(C', Q)$ соответствуют ветви Br_i дерева ***SH*** (рис. 5) применения $Str_{x,y}$ из $\overline{Str}$ для всех историй возможных миров HPW_i, где $i = 1,...,(s+1)!$.

Паре Br_i^+ и Br_i^- дерева ***SH***, образованной $\overline{Str}$ (корнем), Str_j, HPW_i^+ и Str_j, HPW_i^-, где $1 \leq j \leq q, 1 \leq i \leq (s+1)!$ соответствует множество *ER*, если имеет место случай *C3*: $A_2^\sigma \neq \varnothing$, $A_1^\sigma \neq \varnothing$, где $\sigma \in \{+,-\}$.

Дерево ***SH*** выражает необходимость использования распараллеливания процедур ДСМ-исследования.

Выше были сформулированы пять принципов ДСМ-рассуждений и ДСМ-исследования. Перечислим их:

P1 – принцип сходства;

P2 – принцип аргументации;

P3 – принцип локальных каузальных вынуждений посредством п.п.в.-1 (индукции) и п.п.в.-2 (аналогии) и их частичная упорядоченность для $\overline{Str}$ [10, 11];

P4 – принцип синтеза познавательных процедур, представимый ДСМ-оператором $\bar{O}_{x,y}(\Omega(p))$ и функцией степени абдуктивного принятия гипотез $\rho^\sigma(p)$[18];

P5 – принцип расширения баз фактов *БФ(p)* и распознавания сохранения предикатов $V \Rightarrow_2^{(p)} Y$ и $X \Rightarrow_1^{(p)} Y$, связи которых образуют пролонгированные каузальные вынуждения с возможным распознаванием монотонного неубывания $\rho^\sigma(p)$, представляемые посредством реализаций A_{9,χ_1}^σ, $\hat{A}_{9,\chi_2}^\sigma$; $A_{10,\chi_3}^\sigma, \hat{A}_{10,\chi_4}^\sigma$; $\bar{A}_{10,\chi_5}^\sigma, \bar{\bar{A}}_{10,\chi_6}$.

Сформулируем теперь принципы *P6–P11*, рассмотренные фактически ранее, но неявно.

P6. Квалификация ДСМ-исследования, как порождения множества эмпирических закономерностей $ER = EL \cup ET \cup SET$, осуществляется посредством рассмотрения всех историй возможных миров HPW_i таких, что они образованы перестановками из $A_1, A_1 \cup B_2, ..., A_1 \cup B_2 \cup ... \cup B_{s+1}$, где $A_1 \cap B_i = \varnothing$, $B_i \cap B_j = \varnothing$, если $i \neq j$. Множество *ER* образовано рассмотрением всех историй каузальных вынуждений, которым соответствуют модальные операторы $\Box, \Diamond, \nabla$ типов χ.

P7 – принцип сохранения разбиений $\overline{Str}$ посредством отношений эквивалентности E_q, E_{q_w}.

P8 – принцип оценки качества рассуждений и гипотез посредством двух шкал $\overline{SC}_1$ и $\overline{SC}_2$.

P9 – принцип формализации ДСМ-исследований посредством иерархии языков JL, MJL и MMJL.

---

[17] Однако гипотезы могут быть порождены посредством ДСМ-рассуждений, если $(C' \subset Z) \,\&\, P(Z, p)$ ложно.

[18] $\rho^\sigma(p)$ основана на аксиомах каузальной полноты $(АКП^{(\sigma)})$ или аксиомах $(E^{(\sigma)})$, постулирующих существование $(\pm)$ - причин [10].

[19] *q* – число возможных стратегий ДСМ-рассуждений. В [11] *q* = 36 или *q* = 16, а в [5] *q* = 16.

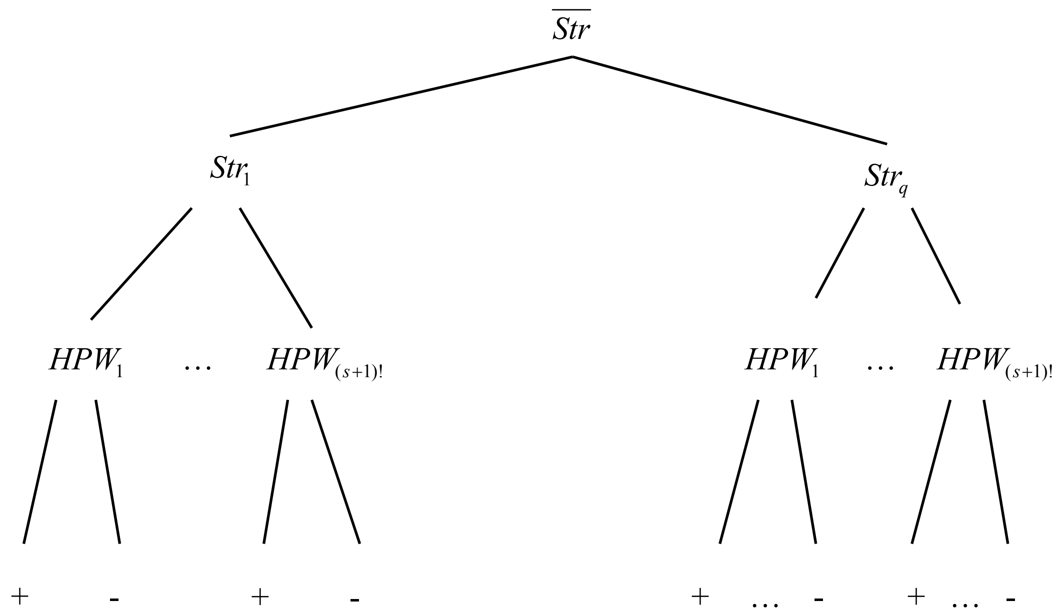

Рис. 5. Дерево ***SH***[19]
(«+» и «–» соответствуют (+)- и (–)-фактам, к которым применимы правила вывода п.п.в.-1 и п.п.в.-2)

P10 – принцип использований двух теорий истины – когерентной (для каузальных вынуждений – локальных и пролонгированных) и корреспондентской для верификации предсказаний $Ver(C \Rightarrow_1 Q)$.

P11 – принцип неубывания и, возможно, роста параметров в шкалах оценки качества ДСМ-рассуждений и порожденных гипотез $\overline{SC}_1$, $\overline{SC}_2$.

Будем рассматривать добавления

$$БФ(s+1) \subset ... \subset БФ(s+k_0)$$

и сравнивать результат ER_1 и новый результат ER_2. Подтвержденными будем считать $ER = ER_1 \cap ER_2$. Дополнительными условиями могут быть выбраны результаты сравнения параметров соответствующих шкал.

ДСМ-метод АПНИ согласно *P11* является аппаратом наблюдения за появлением и сохранением распознаваемых эмпирических закономерностей при последовательном расширении баз фактов интеллектуальных систем типа ДСМ.

Заметим, что если код *Cd* ДСМ-исследования после добавленного расширения последовательности баз фактов является **нерегулярным**, а до этого ДСМ-исследования паре $< C', Q >$ соответствовал элемент *ER*, то не существует сохранения каузальной реализации для $< C', Q >$. Следовательно, результат, полученный до расширения, **опровергается:** $< C', Q >$ не порождает эмпирическую закономерность из *ER*.

<u>Замечание 8-3.</u> Частично упорядоченные множества $\overline{Str}$ и *ER*, содержащиеся в шкалах оценки качества ДСМ-исследований $\overline{SC}_1$ и гипотез $\overline{SC}_2$, соответственно, являются источниками спецификации предикатов $X \Rightarrow_1^{(p)} Y$ и $V \Rightarrow_2^{(p)} Y$, так как соответствующие гипотезы о причинах и предсказаниях порождаются стратегиями ДСМ-рассуждений $Str_{x,y}$ из $\overline{Str}$ посредством локальных каузальных вынуждений, а впоследствии проверяются на сохранении типов их истинностных значений $\nu\,(\nu \in \{1,-1\}$ и τ посредством пролонгированных каузальных вынуждений типа χ, соответствующих эмпирическим закономерностям из *ER*.

Таким образом, корректным обозначением этих предикатов будут $\Rightarrow_{1,<x,y>}$ и $\Rightarrow_{2,<x,y>}$. В случае же реализации пролонгированных каузальных вынуждений корректными обозначениями будут $\Rightarrow^{\chi}_{2,<x,y>}$ и $\Rightarrow^{\chi}_{1,<x,y>}$, где χ - индекс соответствующего элемента из *ER*. Следовательно, получаем семейство семантических структур Sem={$\mathcal{B}_1$, $\mathcal{B}_2$, $\Re$ }, где

$\Re = \left\{ \Re^{\chi}_{x,y} \mid (x \in I^+)\, \&\, (y \in I^-)\, \& \right.$
$\left. (\chi \in \{\chi_1, \chi_2, \chi_3, \chi_4, \chi_5, \chi_6\}) \right\}$,

где I^+, I^- – множество имен M^{σ}-предикатов [11], а χ – имя элемента *ER*; $\Re^{\chi}_{x,y}$ – реляционные системы отношений, представимых предикатами $V \Rightarrow^{\chi\ Y}_{2,\langle x,y\rangle}$ и $X \Rightarrow^{\chi\ Y}_{1,\langle x,y\rangle}$.

Принципы *P1–P11* имеют очевидные Следствия.

Следствие 1. ДСМ-исследование в реальное время может быть осуществлено посредством параллельной организации программирования процедур обнаружения эмпирических закономерностей, что следует из рассмотрения дерева ***SH*** и определений эмпирических закономерностей из $ER = EL \cup ET \cup SET$.

Следствие 2. Обнаружение реальных подмножеств $ER = EL \cup ET \cup SET$ пополняет базу знаний интеллектуальной системы и является как средством порождения *knowledge discovery*, так и средством моделирования предметной области, представленной в последовательности баз фактов *БФ(p)*.

Следствие 3. *P1–P11* являются основанием для эвристики обнаружения эмпирических закономерностей посредством ДСМ-рассуждений, которая является конструктивным аппаратом **качественного** анализа данных, результаты которого могут быть использованы для последующих измерений [30].

Следствие 4. Семейство реляционных систем $\Re$, содержащееся в семантической структуре ДСМ-исследований *Sem*, представляет **моделирование** рассматриваемой предметной области, представленной в исходной (начальной) последовательности баз фактов *БФ(p)* и в (*s*+1)! её потомках (всех историй возможных миров HPW_i).

Сформулируем содержание эвристики порождения множества *ER*.

(1) Началом эвристического поиска эмпирических закономерностей посредством ДСМ-рассуждений является распознавание их применимости с последующим применением всех $Str_{x,y}$ из заданного $\overline{Str}$.

(2) ДСМ-исследование использует истории возможных миров для того, чтобы посредством каузальных вынуждений обнаружить реальные подмножества *ER*, классификация элементов которого представлена деревом ***T***, а генераторы его элементов содержатся в Таблице *SCF*, представляющей спеицификацию каузальных вынуждений.

(3) Оценка качества ДСМ-исследований и гипотез осуществляется посредством пары шкал $\overline{\overline{SC}} = <\overline{SC}_1, \overline{SC}_2>$, содержащих элементы множества $\overline{Str}$ и подмножества *ER*. Сравнение $\overline{\overline{SC}}_i$ и $\overline{\overline{SC}}_j$ для фиксированной стратегии ДСМ-рассуждений $Str_{x,y}$ производится в соответствии с деревом ***SH*** и деревом ***T***. Заметим, что *ER* и $\overline{Str}$, соответственно, частично упорядоченные множества.

(4) При расширении начальной последовательности *БФ(p)* и всех её потомков посредством $(\pm)$-примеров и (τ)-примеров неопределенности добавляется проверка на сравнение и сравнимость и несравнимость разбиения $\overline{Str}$ посредством отношений эквивалентности.

Согласно [23] эвристика есть организованное применение правдоподобных рассуждений (методов и правил) для совершения открытия, т. е. получение нового знания. Результаты эвристики не окончательны, а лишь предварительны для решения рассматриваемой проблемы. В [23] Д. Пойа замечает, что эвристическое рассуждение часто основывается на индукции и аналогии.

ДСМ-исследование является формализованной эвристикой, использующей автоматизированные рассуждения для порождения гипотез и распознавания их **сохранения** как при вариациях последовательностей вложенных баз фактов, так и при расширениях этих поседовательностей.

ДСМ-метод автоматизированной поддержки научных исследований посредством синтеза познавательных процедур индукции, аналогии и абдукции, образующих правдоподобные ДСМ-рассуждения, поддерживает исследование проблемы, порождая гипотезы об эмпирических закономерностях, подтверждаемые согласно принципу *P11* или отвергаемые в случае порождения нерегулярных кодов *Cd* ДСМ-исследований.

Обнаружение реальных подмножеств *ER* посредством ДСМ-исследований в интеллектуальных системах пополняет их базы знаний и является усилением критерия демаркации К.Р. Поппера [15]: к возможности фальсификации гипотез добавляется их сохранение посредством пролонгированных каузальных вынуждений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Финн В.К. Эпистемологические основания ДСМ-метода автоматического порождения гипотез. Часть I // Научно-техническая информация. Сер. 2. – 2013. – №9. – С. 1-29; Часть II // Там же. – № 12. – С. 1-26; Finn V.K. Epistemic foundations of the JSM method automatic hypothesis generation // Autom. Doc. Math. Linguist. – 2014. – Vol. 48, № 2 – P. 96-148.
2. Fann K.T. Peirce's Theory of abduction // Martinus Nijhoff. – The Hague, 1970.
3. Пойа Д. Математика и правдоподобные рассуждения. – М.: Наука, 1975; Polya G. Mathematics and Plausible Reasoning. – Princeton, New Jersey: Princeton University Press, 1954.
4. Милль Д.С. Система логики силлогистической и индуктивной. Издание пятое. – М.: ЛЕНАНД, 2011; Mill J.S. A System of Logic Ratiocinative and Inductive, Being a Connected View of the Principles of Evidence and The Methods of Scientific Investigation. – London: Parker, son and Bowin, 1843.
5. Агафонов М.А., Шестерникова О.П., Винокурова Л.В., Панкратова Е.С., Финн В.К. О принципах и логических средствах, реализуемых в интеллектуальной системе для гастроэнтерологии // Научно-техническая информация. Сер.2. – 2017. – №3. – С. 16-39.
6. Финн В.К. Индуктивные методы Д.С. Милля в системах искусственного интеллекта. Часть I // Искусственный интеллект и принятие решений. – 2010. – №3. – С. 3-21; Часть II // Там же. – № 10. – С. 14-48; Finn V.K. J.S. Mill's Inductive Methods in Artificial Intelligence Systems. Part I // Scientific and Technical Information processing. – 2011. – Vol. 38, № 6. – P. 385-402; Finn V.K. J.S. Mill's Inductive Methods in Artificial Intelligence Systems. Part II. Vol. 39, № 5. – P. 241-260.

7. Rosser J.B., Turquette A.R. Many-Valued Logics. – Amsterdam: North-Holland Publishing Company, 1958.
8. Финн В.К. Искусственный интеллект. Гл. 3. Стандартные и нестандартные логики аргументации. – М.: КРАСАНД, 2011. – С. 312-338.
9. Финн В.К. Обнаружение эмпирических закономерностей в последовательностях баз фактов посредством ДСМ-рассуждений // Научно-техническая информация. Сер. 2. – 2015. – № 8. – С. 1-29; Finn V.K. Detecting Empirical Regularities in Bases of Facts Using JSM Reasoning // Automatic Documentation and Mathematical; Linguistics. – 2015. – Vol. 49, №4. – P. 122-151.
10. Финн В.К. О классе ДСМ-рассуждений, использующих изоморфизм правил индуктивного вывода // Искусственный интеллект и принятие решений. – 2016. – №3. – С. 48-61; Finn V.K. On the class of JSM Reasoning That Uses the Isomorphism of inductive inference Rules // Scientific and Technical Information Processing. – 2017. – Vol. 44, № 6. – P. 387-396.
11. Финн В.К. Дистрибутивные решетки индуктивных ДСМ-процедур // Научно-техническая информация. Сер. 2. – 2014. – №11. – С.1-30; Finn V.K. Distributive Lattices of Inductive JSM Procedures // Automatic Document ion and Mathematical Linguistics. – 2014. – Vol. 48, №6. – P. 265-295.
12. Гретцер Г. Общая теория решеток. – М.: Мир, 1982; Grätzer G. General Lattice Theory. – Berlin: Academic – Verlag, 1978.
13. Финн В.К., Шестерникова О.П. О ДСМ-рассуждениях, применимых к объединениям подмножеств баз фактов. Часть I. // Научно-техническая информация. – 2017. – № 10. – С. 11-25; Finn V.K., Shesternikova O.P. On JSM Reasoning Applicable to Unions of Fact base Subsets: Part 1 // Automatic Documentation and Mathematical Linguistics. – 2017. – Vol. 51, № 5. – P. 220-234.
14. Arieli O., Avron A. Reasoning with Logical Bilattices // Journal of Logic, Language, and Information. – 1996. – №5. – P. 25-63.
15. Поппер К.Р. Объективное знание. Эволюционный подход. – М.: Эдиториал УРСС, 2002; Popper K.R. Objective Knowledge: An evolutionary approach. – Oxford: At The Clarendon Press, 1979.
16. Финн В.К., Шестерникова О.П. О ДСМ-рассуждениях, применимых к объединениям подмножеств баз фактов. Часть II. // Научно-техническая информация. Сер. 2. – 2017. – № 12. – С. 10-32; Finn V.K., Shesternikova O.P. On JSM Reasoning Applicable to Unions of Factbase Subsets: Part 2 // Automatic Documentation and Mathematical Linguistics. – 2017. – Vol. 51, № 6. – P. 266 -288.
17. Барвайс Д. Введение в логику первого порядка. Справочная книга по математической логике. Часть I. Теория моделей. – М.: Наука, 1982. – С. 51-52; Handbook of mathematical logic / ed. J. Barwise. – Amsterdam, New York, Oxford: North – Holland Publishing Company, 1977.
18. Скворцов Д.П. О некоторых способах построения логических языков с кванторами по кортежам // Семиотика и информатика. – 1983. – Вып. 20. – С. 102-126.
19. Аншаков О.М., Скворцов Д.П., Финн В.К. О логической конструкции ДСМ-метода автоматического порождения гипотез // Доклады Академии наук СССР. – 1991. – Т. 320, №6. – С. 1331-1336.
20. Anshakov O.M., Finn V. K., Skvortsov D.P. On axiomatization of many-valued logics associated with formalization of plausible reasoning // Studia Logica. – 1989. – Vol. XLVIII, №4. – P. 423-447.
21. Шестерникова О.П., Агафонов М.А., Винокурова Л.В., Панкратова Е.С., Финн В.К. Интеллектуальная система прогнозирования развития сахарного диабета у больных хроническим панкреатитом // Искусственный интеллект и принятие решений. – 2015. – № 4. – С. 12-50; Shesternikova O.P., Agafonov M.A., Vinokurova L.V., Pankratova E.S., Finn V.K. Intelligent System for Diabetes Prediction in Patients with Chronic Pancreatitis // Scientific and Technical Information Processing. – 2016. – Vol. 43, № 5-6. – P. 315-345.
22. Smullyan R.M. First-Order Logic. – NY: Springer – Verlag, 1968.
23. Пойа Д.А. Как решать задачу. – М.: Гос. учеб.-педагогич. изд-во Мин-ва просвещения РСФСР, 1959.
24. Бернайс П. О рациональности // В кн.: Эволюционная эпистемология и логика социальных наук (Карл Попер и его критики). – М.: Эдиториал УРСС, 2000. – С. 154-162; Bernays P. Concerning Rationality // The Philosophy of Karl Popper / ed. by. P.A. Schilpp The Library of living Philosophers, Vol. 14, I. Open Count Publishing Co., La Salle, Illionois, 1974. – P. 597-605.
25. Крипке С.А. Семантический анализ модальной логики. I. Нормальные модальные исчисления высказываний // В кн.: Р. Фейс Модальная логика. – М.: Изд-во «Наука», 1974. – С. 254-303; Kripke S.A. Semantical analysis of modal logic. I. Normal modal propositional Calculi. Zeitschrift für mathematishe Logik und Grundlagen der Mathematik. – 1963. – №9. – P. 67-96.
26. Chellas B.F. Modal logic. – Cambridge: University Press, 1980.
27. Финн В.К. Об определении эмпирических закономерностей посредством ДСМ-метода автоматического порождения гипотез // Искусственный интеллект и принятие решений. – 2010. – №4. – С. 41-48; Finn V.K. On the Definition of Empirical Regularities by the JSM Method for the Automatic Generation of Hypotheses // Scientific and Technical Information Processing. – 2012. – №5. – P. 261-267.
28. Reichenbach H. Nomological Statements and Admissible Operations // north – Holland Publishing Company. – Amsterdam, 1954.

29. Фейс Р. Модальная логика. – М.: Наука, 1974. Feys, Robert. Model logics (edited with some complements by Joseph Dopp). Louvain. E.Nauwelaerts, 1965.
30. Пфанцагль И. Теория измерений. – М.: Мир, 1976; Pfanzagl J. Theory of measurement. – Würzburg – Wien: Physica – Verlag, 1971.
31. Rescher N. The Coherence Theory of Truth. – Oxford: At The Clarendon Press, 1973.
32. Peirce C.S. Collected Papers of Charles Sanders Peirce. – Vol. 5. – Cambridge – Harvard: University Press, 1934. – P. 189.
33. Aliseda A. Abductive Reasoning // Synthese Library. – 2006. – Vol. 330.
34. Abductive Inference: Computation, Philosophy, Technology / eds. J.R. Josephson, S.G. Josephson. – Cambridge: University Press, 1994.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1.

Доказательство Предложения 1-2

Для упрощения записи доказательства методом аналитических таблиц [22] введем следующие обозначения:

$P(V,Y)/ L_2^{\sigma}(V,Y)$, $S(X,Z)/V\subset Z$, $\neg\exists V_0 N(V_0,Y,Z)/$
$\neg\exists V_0((J_{\langle \nu,n\rangle}(V_0\Rightarrow_2 Y)\vee J_{\langle 0,n\rangle}(V_0\Rightarrow_2 Y))\&(V_0\subset Z))$,
$K(Z,Y)/ L_1^{\sigma}(Z,Y)$,

где $\nu=\begin{cases}1, \textit{если } \sigma=+\\ -1, \textit{если } \sigma=-\end{cases}$.

Используя введенные обозначения, представим вывод из двух посылок:

$$\frac{\begin{array}{c}\forall V\forall Z\forall Y((P(V,Y)\&S(V,Z)\&\neg\exists V_0N(V_0,Y,Z))\to K(Z,Y))\\ \exists Y\exists V\forall Z((P(V,Y)\&S(V,Z)\&\neg\exists V_0N(V_0,Y,Z))\end{array}}{\exists Y\forall ZK(Z,Y)}$$

Посредством символа * обозначим замкнутость ветви аналитической таблицы и построим вывод из посылок:

$$\forall V\forall Z\forall Y((P(V,Y)\&S(V,Z)\&\neg\exists V_0N(V_0,Y,Z))\to K(Z,Y))$$
$$\exists Y\exists V\forall Z(P(V,Y)\&S(V,Z)\&\neg\exists V_0N(V_0,Y,Z)$$
$$\neg\exists Y\forall ZK(Z,Y)$$
$$\exists V\forall Z(P(V,a)\&S(V,Z)\&\neg\exists V_0N(V_0,a,Z)$$
$$\neg\forall ZK(Z,a)$$
$$K(b,a)$$
$$P(c,a)\&S(c,b)\&\neg N(d,a,b)$$
$$P(c,a)$$
$$S(c,b)$$
$$\neg N(d,a,b)$$
$$P(c,a)\&S(c,b)\&\neg N(d,a,b)\to K(b,a)$$

$\neg(P(c,a)\&S(c,b)\&\neg N(d,a,b))$			$K(b,a)$
$\neg(P(c,a)\&S(c,b))$		$N(d,a,b)$	*
$\neg P(c,a)$	$\neg S(c,b)$	*	
*	*		

Приложение 2.

Абдукция второго рода и принцип неубывания модальных операторов P12

В этом *Приложении* сформулируем усиление принципов *P5* и *P11*.

Рассмотрим множество историй возможных миров $\overline{HPW}=\left\{HPW^{(1)},...,HPW^{(h)},...,HPW^{(s+1)!}\right\}$,

где $HPW^{(1)}$ – начальная история *PW*, $h = 1,\ldots,(s+1)!$.
$HPW^{(1)}$: $Б\Phi^{(1)}(0)$, $Б\Phi^{(1)}(1)$, ..., $Б\Phi^{(1)}(s+1)$;
…….
$HPW^{(h)}$: $Б\Phi^{(h)}(0)$, $Б\Phi^{(h)}(1)$, ..., $Б\Phi^{(h)}(s+1)$;
……..
$HPW^{(s+1)!}$: $Б\Phi^{(s+1)!}(0)$, $Б\Phi^{(s+1)!}(1)$, ..., $Б\Phi^{(s+1)!}(s+1)$.

Расширим средства семантики **Sem** языков *JL*, *MJL*, *MMJL*, определив $\widetilde{\mathrm{Sem}}=\{\mathrm{Sem}, \overline{HPW}\}$, где $\mathrm{Sem}=\{\mathfrak{B}_1,\mathfrak{B}_2,\mathfrak{R}\}$, а $\mathfrak{R}=\{\mathfrak{R}^{\chi}_{x,y}\mid(x\in\Gamma^{+})\&(y\in\Gamma)\&\chi\in\{\chi_1,\chi_2,\chi_3,\chi_4,\chi_5,\chi_6\}\}$.

Определим функции оценки для реализаций каузальных вынуждений с модальными операторами. Напомним, что χ_1 = b,d,f,h, χ_2 = a,c,e,g, χ_3 = j,l, χ_4 = i,k, χ_5 = n, χ_6 = m.

Рассмотрим условие пролонгированного каузального вынуждения (*PCF*) $\hat{A}_9^{+}$ и его реализацию $\hat{A}_9^{+}(C',Q)$ для пары $\langle C',Q\rangle$, которой соответствует $J_{\langle 1,n_p\rangle}(C'\Rightarrow_2^{(p)}Q)$, где $p=0,1,\ldots,\overline{s}$, порожденная приложением фиксированной стратегией ДСМ-рассуждений $Str_{x,y}$, $Str_{x,y}\in\overline{Str}$ [16].

В [16] функции оценки $V^{(p)}[\varphi]$ определены следующим образом:

$$V^{(p)}[J_{\langle 1,n_p\rangle}(C'\Rightarrow_2^{(p)}Q)]=t,$$

если $J_{\langle 1,n_p\rangle}(C'\Rightarrow_2^{(p)}Q)\in\tilde{\Delta}^{+}_{x,y}(p)$,

где $(I)^{+}_{x,y}(\Omega(p))=\tilde{\Delta}^{+}_{x,y}(p)$,

что равносильно

$\langle C',Q\rangle\in\{\langle V,Y\rangle\mid M^{+}_{x,n_p}(V,Y)\&\neg M^{-}_{y,n_p}(V,Y)\}$,

т. е. реализации **локальных вынуждающих условий** посредством п.п.в.-1 (правил индукционного вывода);

$$V^{(p)}[J_{\langle 1,n_p\rangle}(C\Rightarrow_1^{(p)}Q)]=t,$$

если $J_{\langle 1,n_p\rangle}(C\Rightarrow_1^{(p)}Q)\in\tilde{\Omega}^{+}_{x,y}(p)$, где $(\mathit{\Pi})^{+}_{x,y}(\Omega(p)) = \tilde{\Omega}^{+}_{x,y}(p)$,

что равносильно $\langle C,Q\rangle \in \{\langle X,Y\rangle \mid \Pi^{+}_{n_p}(X,Y)\}$,

т. е. реализации **локальных каузальных вынуждающих условий** посредством п.п.в.-2 (правил вывода по аналогии).

Таким образом, определим

$$Sem^{(p)} \vDash J_{\langle 1,n_p\rangle}(C' \Rightarrow^{(p)}_{2} Q) \text{ и}$$

$$Sem^{(p)} \vDash J_{\langle 1,n_p\rangle}(C \Rightarrow^{(p)}_{1} Q).$$

Итак, **пролонгированные каузальные вынуждающие условия** (*PCF*-условия) $\hat{A}^{+}_{9}$, порождающие наибольший эмпирический закон, обозначаемый посредством *a* есть:

$\forall V \forall Y \forall p \forall Z((\hat{L}^{+}_{2}(V,Y,P) \& (V \subset Z) \& P(Z,p)) \rightarrow \hat{L}^{+}_{1}(Z,Y,P))$, где $\hat{L}^{+}_{2}(V,Y,P)$ и $\hat{L}^{+}_{1}(Z,Y,P)$ – генераторы гипотез о (+)-причинах и (+)-предсказаний, соответственно, выведенные посредством *Df.*18–3 и *Df.*19–3.

В силу этих определений получим $\hat{L}^{+}_{2}(V,Y,\overline{s})$, $\hat{L}^{+}_{1}(Z,Y,\overline{s})$, где константа $\overline{s}$ есть значение переменной *p*, соответствующее номеру заключительной БФ($\overline{s}$).

Для пары $\langle C',Q\rangle$ получим реализацию $\hat{A}^{+}_{9}$, обозначаемую посредством $\hat{A}^{+}_{9}(C',Q)$:

$\forall p \forall Z((\hat{L}^{+}_{2}(C',Q,p) \& (C' \subset Z) \& P(Z,p)) \rightarrow \hat{L}^{+}_{1}(Z,Q,p))$.

Используя $\hat{L}^{+}_{2}(V,Y,\overline{s})$ и $\hat{L}^{+}_{1}(Z,Y,\overline{s})$ получим:

$$(*)\forall Z((\hat{L}^{+}_{2}(C',Q,\overline{s}) \& (C' \subset Z) \& P(Z,p)) \rightarrow \hat{L}^{+}_{1}(Z,Q,\overline{s})).$$

Так как A^{σ}_{9}, $\hat{A}^{\sigma}_{9}$ доказуемы в *MJL* [16],

то $V[A^{\sigma}_{9}]$=t, $V[\hat{A}^{\sigma}_{9}]$=t, а, следовательно,

$V[A^{\sigma}_{9}(C',Q)]$=t и $V[\hat{A}^{\sigma}_{9}(C',Q)]$=t, где $\sigma \in \{+,-\}$.

Так как истинность $A^{\sigma}_{9}(C',Q)$, $\hat{A}^{\sigma}_{9}(C',Q)$ – реализаций условия пролонгированного каузального вынуждения (*PCF*-условия) – определяется относительно фиксированной истории возможных миров $HPW^{(h)}$, где $h = 1,\ldots,(\overline{s}+1)!$, то оценку $V_{HPW^{(h)}}$ для указанных формул обозначим как: $HPW^{(h)} \vDash A^{\sigma}_{9}(C',Q)$ и $HPW^{(h)} \vDash \hat{A}^{\sigma}_{9}(C',Q)$.

Для случая $\hat{A}^{+}_{9}(C',Q)$ в качестве начального *PCF*-условия определим модальность необходимости $\Box_a$, где $a \in EL$, следующим образом.

$$\Box_a \hat{A}^{+}_{9}(C',Q),$$

если и только если выполняются условия (1)-(3):

(1) $HPW^{(1)} \vDash \hat{A}^{+}_{9}(C',Q)$, где $HPW^{(1)}$ – начальная история возможных миров;

(2) $\exists h\, ((h>1) \,\&\, HPW^{(h)} \vDash \hat{A}^{+}(C',Q))$;

(3) $\forall j\, ((j>1) \rightarrow ((HPW^{(h)} \vDash \hat{A}^{+}_{9}(C',Q)) \vee (HPW^{(j)} \vDash \hat{A}^{+}_{9}(C',Q)))$.

Истинность $\Box_a\, \hat{A}^{+}_{9}(C',Q)$ относительно $\widetilde{\mathrm{Sem}}$ для фиксированной стратегии ДСМ-рассуждений обозначим посредством $\widetilde{\mathrm{Sem}}_{x,y} \vDash \Box_a\, \hat{A}^{+}_{9}(C',Q)$.

В соответствии с Деревом ***T*** и Таблицей *SCF* относительно $\widetilde{\mathrm{Sem}}_{x,y}$ определим $\Box_b$, $\Box_c$, $\Box_d$, $\Box_e$, $\Box_f$, $\Box_g$, $\Box_h$, а также модальности возможности из *ET* и модальности подозрительной возможности из *SET* □ $\Diamond_i$, $\Diamond_j$, $\Diamond_k$, $\Diamond_l$ и ∇_m, ∇_n, соответственно.

Очевидно, что имеют место дуальные определения модальностей для позитивных и негативных эмпирических закономерностей из $EL = EL^{+} \cup EL^{-}$, $ET = ET^{+} \cup ET^{-}$, $SET = SET^{+} \cup SET^{-}$ такие, что они формируются для каждой стратегии ДСМ-рассуждений $Str_{x,y}$. Таким образом, информативным обозначением модальных операторов будут $\Box^{(x,y)}_{\chi_1}$, $\Box^{(x,y)}_{\chi_2}$, $\Diamond^{(x,y)}_{\chi_3}$, $\Diamond^{(x,y)}_{\chi_4}$, $\nabla^{(x,y)}_{\chi_5}$, $\nabla^{(x,y)}_{\chi_6}$, где χ_1=b, d, f, h; χ_2=a, c, e, g; χ_3=j, l; χ_4=i, k; χ_5=n; χ_6=m.

Так как *ER* – частично упорядоченное множество, то естественно распространить отношение частичного порядка для эмпирических закономерностей на соответствующие модальности: $M_\alpha \sqsupseteq M_\beta \rightleftharpoons \alpha \sqsupseteq \beta$, где $\alpha, \beta \in ER$, а M_α, M_β – соответствующие модальные операторы, например, $\Box_a \sqsupseteq \Box_b$, $\Box_a \sqsupseteq \Diamond_i$, $\Diamond_i \sqsupseteq \Diamond_j$, $\Diamond_j \sqsupseteq \Diamond_h$, где *a, b, i, j, n* ∈ *ER*. Очевидно, что $\Box_a \sqsupseteq M_\alpha$ и $M_\alpha \sqsupseteq \nabla_n$ для всех M_α, так, как *a* и *n* – наибольший и наименьший элемент *ER*, соответственно.

Уточним теперь введенный в §3 абдуктивный вывод, использующий посылку (*), полученную из $\Box_a\, \hat{A}^{+}_{9}(C',Q)$ (необходимость реализации $CF\,\hat{A}^{+}_{9}$) и посылку $\forall Z((C' \subset Z) \rightarrow Ver[L^{+}_{1}(Z,Q,\overline{s})] = t)$, где $\overline{s}$ – константа, а обе посылки выражены в *MJL*.

Таким образом, получим

$$\frac{\begin{array}{c}\forall Z((\hat{L}^{+}_{2}(C',Q,\overline{s}) \& (C' \subset Z) \& P(Z,p)) \rightarrow \hat{L}^{+}_{1}(Z,Q,\overline{s}))\\ \forall Z((C' \subset Z) \rightarrow Ver[\hat{L}^{+}_{1}(Z,Q,\overline{s})] = t)\end{array}}{\Box_a \hat{L}^{+}_{2}(C',Q,\overline{s})}$$

Для фиксированной $Str_{x,y}$ имеем

$$\widetilde{\mathrm{Sem}}_{x,y} \vDash \Box_a \hat{L}^{+}_{2}(C',Q,\overline{s}).$$

В связи с примером абдуктивного вывода, порожденным условием каузального вынуждения (*CF*-условия) $\hat{A}^{+}_{9}$, сделаем следующие замечания.

1. Аналогичные схемы абдуктивного вывода могут быть сформулированы для других типов *CF*-условий: A^{σ}_{9}, A^{σ}_{10}, $\hat{A}^{\sigma}_{10}$, $\overline{A}_{10}$, $\hat{\overline{A}}^{\sigma}_{10}$, где $\sigma \in \{+,-\}$, и соответствующим им модальностям вида χ_1, χ_2, χ_3, χ_4, χ_5, χ_6, согласно Таблице *SCF*.

2. Абдуктивный вывод второго рода в ДСМ-исследовании выразим в *MJL* и использует функцию оценки *Ver*[φ], которая контролирует вывод (это характерно для **рассуждений**). *Ver*[φ] есть оценивание высказывания φ согласно **корреспондентской** (**ари-**

стотелевской) теории истины [15], тогда как оценивание (*), являющегося первой посылкой вывода и представляющей реализацию условия $CF\ \ A_9^+$, есть средство **когерентной** теории истины [15, 31].

3. Рассмотренный абдуктивный вывод является вариантом формализации идеи абдукции в известной формулировке Ч.С. Пирса (C.S. Peirce): The surprising fact, C, is obsered. But if A were true, C would be a matter of course. Hence, there is reason to suspect that A is true [32–34].

4. Предложенная в настоящей статье формализация абдукции образована двумя **конструктивными** абдуктивными процедурами – первого и второго рода. Абдукция первого рода использует взаимодейстие индукции и аналогии и основана на аксиоме каузальной полноты [1, Часть II; 10]; абдукция второго рода использует (s+1)! ДСМ-исследований для историй возможных миров. Обе абдукции применимы для всех стратегий ДСМ-рассуждений, а их результаты сравнимы посредством двух шкал оценки качества рассуждений и гипотез $\langle \overline{SC}_1, \overline{SC}_2 \rangle$.

Напомним, что ДСМ-исследования управляемы принципом *P11*, который контролирует неубывание параметров в паре шкал $\langle \overline{SC}_1, \overline{SC}_2 \rangle$ оценки качества рассуждений и гипотез. Существенно отметить, что $\overline{Str}$ и *ER*, входящие в эти шкалы частично упорядочены. Неубывание параметров в $\langle \overline{SC}_1, \overline{SC}_2 \rangle$ контролируется в процессе расширения последовательности баз фактов *БФ(p)*, где $p = 0,1,\ldots, s$.

P11 может быть усилен требованием **неуменьшения модальных операторов**, применяемых к результатам абдуктивного вывода второго рода, при расширении последовательности *БФ(p)*.

P12. Пусть M_α – модальный оператор следствия абдуктивного вывода, то есть получено $M_\alpha L_2^\sigma(C', Q, \overline{s})$ для последовательности *БФ*(0), *БФ*(1), …, *БФ*(*s*), тогда *БФ*(0), *БФ*(1), …, *БФ*(s), *БФ*(*s*+1) в результате абдуктивнорного вывода 2-го рода порождает следствие $M_\beta L_2^\sigma(C', Q, \overline{s})$ такое, что $M_\beta \sqsupseteq M_\alpha$.

Будем говорить, что ДСМ-исследование **m надежно**, если $M_{\beta 1} \sqsupseteq M_\alpha, \ldots, M_{\beta m} \sqsupseteq M_\alpha$, $M_{\beta i} \sqsupseteq M_{\beta j}$ для $i > j$, где M_α – модальный оператор результата (следствия), принадлежащего расширяемой последовательности БФ(p), p = 0,1,…,s; а $M_{\beta i}$ – модальные операторы, принадлежащие следствиям абдуктивных выводов для m расширений.

Последовательность $M_\alpha, M_{\beta 1}, \ldots, M_{\beta m}$ будем называть **модальным следом** расширений последовательности баз фактов.

<u>*Приложение 3.*</u>
Об условиях применимости ДСМ-исследований

Рассмотрим случай *C3* с $\neg(A_2^\sigma = \varnothing)$ и $\neg(A_1^\sigma = \varnothing)$, где $\sigma \in \{+, -\}$. Имеются две возможности:

(1) нет подтверждения $L_1^\sigma(Z, Q, \overline{s})$, т. е. не реализуется *Ver* (корреспондентская истина),

(2) $\neg Ver[L_1^\sigma(Z, Q, \overline{s})]$.

В случае (1) порождены возможные гипотезы о *ER*. В случае (2) получено опровержение гипотез о *ER*.

Если же установлено, что $Ver[L_1^\sigma(Z, Q, \overline{s})]$ = t, то выводимо следствие $M_\alpha\ L_2^\sigma(C', Q, \overline{s})$, где M_α – модальный оператор типа □, ◊ или ∇, а $\sigma \in \{+, -\}$.

Проверка принципа *P12* завершает эвристику ДСМ-исследований.

<u>*Приложение 4.*</u>
Усиление предиката причинности

Предикат причинности $V \Rightarrow_2 Y$ может быть усилен посредством ДСМ-исследований:

(1) $C^\sigma_{aus_{\chi 1}}(V,Y) \leftrightharpoons \Box_{\chi 1}\ A_9^\sigma(V,Y)$,

(2) $C^\sigma_{aus_{\chi 2}}(V,Y) \leftrightharpoons \Box_{\chi 2}\ \hat{A}_9^\sigma(V,Y)$,

(3) $C^\sigma_{aus_{\chi 3}}(V,Y) \leftrightharpoons \Diamond_{\chi 3}\ A_{10}^\sigma(V,Y)$,

(4) $C^\sigma_{aus_{\chi 4}}(V,Y) \leftrightharpoons \Diamond_{\chi 4}\ \hat{A}_{10}^\sigma(V,Y)$,

(5) $C^\sigma_{aus_{\chi 5}}(V,Y) \leftrightharpoons \nabla_{\chi 5}\ \overline{A}_{10}^\sigma(V,Y)$

(6) $C^\sigma_{aus_{\chi 6}}(V,Y) \leftrightharpoons \nabla_{\chi 6}\ \overline{\hat{A}}_{10}^\sigma(V,Y)$,

где $\sigma \in \{+, -\}$, $A_9^\sigma(V,Y)$, $\hat{A}_9^\sigma(V,Y)$ и т.д. есть формулы, выражающие условия *CF* с устраненными ∀V и ∀Y; χ_1=b,d,f,h; χ_2=a,c,e,g; χ_3=j,l; χ_4=i,k; χ_5=n; χ_6=m. Определения предикатов $Caus_\chi(V,Y)$, выразимых в языке *MJL*, подтверждают идею Р. Фейса о связи модальности и причинности [29].

<u>*Приложение 5.*</u>
О терминологии ДСМ-метода

(σ)-сходство есть результат $V = \bigcap_{i=1}^{k} X_i$, где X_i – объект (σ)-примера ($\sigma \in \{+, -\}$).

Булевы комбинации M^σ-предикатов и их ¬ (4 комбинации) образуют локальные вынуждения полугипотез +, –, 0, τ-причин, вызванных посредством $V \Rightarrow_2 Y\ \Pi_n^\sigma(X,Y)$ – условие каузального вынуждения (σ)-полугипотез о предсказаниях, выразимых посредством $X \Rightarrow_1 Y$. A_9^σ, $\hat{A}_9^\sigma$, A_{10}^σ, $\hat{A}_{10}^\sigma$, $\overline{A}_{10}^\sigma$, $\overline{\hat{A}}_{10}^\sigma$ – условия пролонгированного каузального вынуждения.

Реализации L_2^σ(V,Y,p) есть (σ)-гипотезы о причинах.

Реализации L_1^σ(V,Y,p) есть (σ)-гипотезы о предсказаниях.

Реализации условий *CF* являются **эмпирическими закономерностями типа χ** (конкретизация определения содержится в Таблице *SCF*).

Приложение 6.

Способ приближенного порождения эмпирических закономерностей

Рассмотрим частный случай порождения с использованием *PCF* A_9^+. Пусть $A_9^+(C',Q)$ – реализация A_9^+, а $L_1^+(Z,Q,p)$ и $L_2^+(C',Q,p)$ – подформулы $A_9^+(C',Q)$. Пусть, далее, $\overline{s}$ – значение p такое, что $\rho^+(\overline{s}) \geq \overline{\rho}^+$. Тогда $L_1^+(C,Q,\overline{s})$ и $L_2^+(C',Q,\overline{s})$, где $C' \subset C$, соответствуют $J_{<1,n_{\overline{s}}>}(C' \Rightarrow_2^{(\overline{s})} Q)$ и $J_{<1,n_{\overline{s}}+1>}(C \Rightarrow_1^{(\overline{s})} Q)$.

Пусть $A_9^+(C',Q)$ – реализация CF A_9^+ для истории возможных миров HPW_1, тогда можно породить истории всех возможных миров $\overline{HPW}$, где HPW_1 – **действительный** мир и $HPW_1 \in \overline{HPW}$,

а $|\overline{HPW}| = (\overline{s}+1)!$,

если $HPW_1 = \{Б\Phi_1(0), Б\Phi_1(1), ..., Б\Phi_1(s)\}$.

Рассмотрим $\Omega(i,p)$,

где $i = 1,...,(\overline{s}+1)!, p = 0,1,...,\overline{s}$, а $\Omega(i,p)$ представление $Б\Phi_i(p)$ посредством *J*-формул вида $J_{<\nu,0>}(C \Rightarrow_1^{(p)} Q), J_{(\tau,0)}(C \Rightarrow_1^{(p)} Q)$, где $\nu \in \{1,-1,0\}$.

Применение п.п.в.-1 (правил индуктивного вывода) к $\Omega(i,p)$ порождает множество гипотез о причинах $\tilde{\Delta}(i,p)$, представимых *J*-формулами вида $J_{<\nu,n_p>}(C' \Rightarrow_2^{(p)} Q)$ и $J_{(\tau,n_p)}(C' \Rightarrow_2^{(p)} Q)$. Применение же п.п.в.-2 (правил вывода по аналогии) к $\Omega(i,p)$ порождает множество гипотез о предсказаниях $\tilde{\Omega}(i,p)$, представимых *J*-формулами вида $J_{<\nu,n_p+1>}(C \Rightarrow_1^{(p)} Q)$ и $J_{(\tau,n_p+1)}(C \Rightarrow_1^{(p)} Q)$.

В *MJL* определим метапредикат непротиворечивости *Consis J*-формул (гипотез о причинах и гипотез о предсказаниях), принадлежащих $\tilde{\Delta}(1,\overline{s})$ и $\tilde{\Omega}(1,\overline{s})$ для HPW_1; и множеств порожденных гипотез для HPW_j, $j = 2,...,(\overline{s}+1)!$ и $p = 0,1,...,\overline{s}$:

$$Consis\ (J_{<1,n_{\overline{s}}>}(C' \Rightarrow_2^{(\overline{s})} Q), \tilde{\Delta}^-(j,p) \cup \tilde{\Delta}^0(j,p)) \rightleftharpoons$$
$$\neg((J_{<-1,n_{\overline{s}}>}(C' \Rightarrow_2^{(\overline{s})} Q) \in \tilde{\Delta}^-(j,p)) \vee$$
$$(J_{<0,n_{\overline{s}}>}(C' \Rightarrow_2^{(\overline{s})} Q) \in \tilde{\Delta}^0(j,p))),$$

аналогично *Consis* определяется для $J_{<-1,n_{\overline{s}}>}(C' \Rightarrow_2^{(\overline{s})} Q)$ и $\tilde{\Delta}^+(j,p) \cup \tilde{\Delta}^0(j,p)$;

$$Consis\ (J_{<1,n_{\overline{s}}+1>}(C \Rightarrow_1^{(\overline{s})} Q), \tilde{\Omega}^-(j,p) \cup \tilde{\Omega}^0(j,p) \rightleftharpoons$$
$$\neg((J_{<-1,n_{j_p}>}(C \Rightarrow_1^{(\overline{s})} Q) \in \tilde{\Omega}^-(j,p)) \vee$$
$$(J_{<0,n_{j_p}>}(C \Rightarrow_1^{(p)} Q) \in \tilde{\Omega}^0(j,p))),$$

аналогично Consis определяется для $J_{<-1,n_{\overline{s}}+1>}(C \Rightarrow_1^{(\overline{s})} Q)$ и $\tilde{\Omega}^+(j,p) \cup \tilde{\Omega}^0(j,p)$.

Напомним, что $\tilde{\Delta}^\sigma(j,p)$ и $\tilde{\Omega}^\sigma(j,p)$ – множества гипотез, порожденных п.п.в.-1 и п.п.в.-2, соответственно, где $\sigma \in \{+,-,0\}$.

Сформулируем теперь принципы **приближенного** порождения эмпирических закономерностей типа A_9^+ $P_{r_9,1}^+$ и $P_{r_9,2}^+$:

$P_{r_9,1}^+$ $\forall Z \forall j \forall p(((2 \leq j \leq (\overline{s}+1)!) \,\&\, (0 \leq p \leq \overline{s}) \,\&$
$L_1^+(Z,Q,\overline{s})) \to Consis\ (J_{<1,n_{\overline{s}}+1>}(Z \Rightarrow_1^{(\overline{s})} Q),$
$\tilde{\Omega}^-(j,p) \cup \tilde{\Omega}^0(j,p)))),$

$P_{r_9,2}^+$ $\forall j \forall p(((2 \leq j \leq (\overline{s}+1)!) \,\&\, (0 \leq p \leq \overline{s}) \,\&$
$L_2^+(C',Q,\overline{s}) \to Consis\ (J_{<1,n_{\overline{s}}>}(C' \Rightarrow_2^{(\overline{s})} Q),$
$\tilde{\Delta}^-(j,p) \cup \tilde{\Delta}^0(j,p)))).$

Аналогично формулируются $P_{r_9,1}^-$ и $P_{r_9,2}^-$ для A_9^-, а также $\hat{P}_{r_9,1}^\sigma, \hat{P}_{r_9,2}^\sigma$ для $\hat{A}_9^\sigma$, где $\sigma \in \{+,-,0\}$.

Если для HPW_1 имеет место $A_9^\sigma(\hat{A}_9^\sigma)$ и выполняются $P_{r_9,1}^\sigma, P_{r_9,2}^\sigma(\hat{P}_{r_9,1}^\sigma, \hat{P}_{r_9,2}^\sigma)$, то будем говорить, что порождены **слабые эмпирические законы (*WEL*)** типов aw^σ и $\hat{a}w^\sigma$, соответственно, где $\sigma \in \{+,-,0\}$.

Определимы также и **слабые эмпирические тенденции (*WET*)** и **слабые подозрительные эмпирические тенденции** (***WSET***) для $A_{10}^\sigma, \hat{A}_{10}^\sigma$ и $\overline{A}_{10}^\sigma, \hat{\overline{A}}_{10}^\sigma$, соответственно, типы которых обозначим посредством $iw^\sigma, \hat{i}w^\sigma$ и $mw^\sigma, \hat{m}w^\sigma$, соответственно.

Очевидно, что $|WEL| = 4 \cdot 16$,

аналогично, $|WET| = 4 \cdot 16$ и $|WSET| = 4 \cdot 16$,

где $|\overline{Str}| = 16$ [3, 9 – 11].

Приложение 7.

Применение эвристики для существующей ИС-ДСМ

Предложенная в настоящей статье эвристика была применена к ИС-ДСМ, описанной в работах [9] и [7], в которых рассматривался массив гастроэнтерологических данных и два его расширения. Размер исходного массива $Б\Phi_0$ равнялся 81 примеру (21(+)-примера, 60(–)-примеров), размер первого расширения – 42 примера (13(+)-примеров, 29(–)-примеров), размер второго расширения – 30 примеров (5(+)-примеров, 25(–)-примеров). В каждом исследовании к исходным данным добавлялись одни и те же 10 примеров для предсказания.

Эвристика рассматривалась на примере двух выбранных стратегий (из 16-ти возможных [9]): $Str_{\text{ab,ab}}$ (сходство с запретом на контрпример для положительных и отрицательных примеров), и $Str_{\text{a,a}}$ (простое сходство для положительных и отрицательных примеров). Стратегия $Str_{\text{ab,ab}}$ была выбрана как пример наилучшей стратегии при оценке ошибок предсказаний [10], $Str_{\text{a,a}}$ – как пример наихудшей.

Для выбранных стратегий

1) были порождены множества *ER* ($ER_{ab,ab}$ и $ER_{a,a}$) и произведена типизация закономерностей согласно *Приложению 1*;

2) для порожденных в предыдущих исследованиях *ER* (*ER* из начальной истории HPW_1) был проверен метапредикат непротиворечивости из *Приложения 2*.

Результаты представлены ниже.

1. Для $Str_{ab,ab}$

1.1. Получены две ER^{-} типа **b** (приведены в табл. 1).

1.2. Для всех гипотез, соотвествующих *ER* для HPW_1, выполняется метапредикат *Consis* из *Приложения 2* (показано в табл. 2).

Заметим, что в приближенном методе может появляться **нерегулярный код** (Пример, EL_5, EL_{11} в HPW_4)

2. Для $Str_{a,a}$

2.1. Получена одна ER^{-} типа **b** (приведены в табл. 3).

2.2. Для всех гипотез, соответствующих *ER* для HPW_1, выполняется метапредикат *Consis* из *Приложения 2* (показано в табл. 4).

Таблица 1

Номер ER	*ID* 2036199		*ID* 3161644	
Гипотеза о причине, соответствующая *ER*	*Признак*	Значение	*Признак*	Значение
	26- Гликемический профиль ммоль/л	4,5-6,5	*26- Гликемический профиль ммоль/л*	4,5-6,5
			36- SETR	нет

Таблица 2

Идентификатор *EL*		Оценки *EL* (из HPW_1) в *HPW*																**	***
№ п/п	*	HPW_1	HPW_2			HPW_3			HPW_4			HPW_5			HPW_6				
			$БФ_2$ (0)	$БФ_2$ (1)	$БФ_2$ (2)	$БФ_3$ (0)	$БФ_3$ (1)	$БФ_3$ (2)	$БФ_4$ (0)	$БФ_4$ (1)	$БФ_4$ (2)	$БФ_5$ (0)	$БФ_5$ (1)	$БФ_5$ (2)	$БФ_6$ (0)	$БФ_6$ (1)	$БФ_6$ (2)		
*EL*1	694862	+1	+1	+1	+1	t	+1	+1	t	t	+1	t	t	+1	t	+1	+1	Да	
	1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1		
*EL*2	100807	-1	-1	-1	-1	t	-1	-1	t	t	-1	t	t	-1	t	-1	-1	Да	
	2	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1		
*EL*3	539344	-1	-1	-1	-1	t	-1	-1	t	t	-1	t	t	-1	t	-1	-1	Да	
	2	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1		
*EL*4	564151	-1	-1	-1	-1	t	-1	-1	t	t	-1	t	t	-1	t	-1	-1	Да	
	2	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1		
*EL*5	1549329	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	t	-1	t	t	-1	t	-1	-1	Да	
	2	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1		
*EL*6	2036199	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	t	-1	-1	t	-1	-1	Да	Да
	2	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1		
*EL*7	2161369	-1	-1	-1	-1	t	-1	-1	t	t	-1	t	t	-1	t	-1	-1	Да	
	2	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1		
*EL*8	2258245	-1	-1	-1	-1	t	-1	-1	t	t	-1	t	t	-1	t	-1	-1	Да	
	2	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1		
*EL*9	2272340	-1	-1	-1	-1	t	-1	-1	t	t	-1	t	t	-1	t	-1	-1	Да	
	2	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1		
*EL*10	2282419	-1	-1	-1	-1	t	-1	-1	t	t	-1	t	t	-1	t	-1	-1	Да	
	2	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1		
*EL*11	2365792	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	t	-1	t	t	-1	t	-1	-1	Да	
	2	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1		
*EL*12	3161644	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	t	-1	-1	t	-1	-1	Да	Да
	2	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1		
*EL*13	6674224	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	t	-1	t	t	-1	t	-1	-1	Да	
	2,6	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	□1	-1	-1		
*EL*14	22980952	-1	-1	-1	-1	t	-1	-1	t	t	-1	t	t	-1	t	-1	-1	Да	
	2	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1		
*EL*15	23388089	-1	-1	-1	-1	t	-1	-1	t	t	-1	t	t	-1	t	-1	-1	Да	
	2	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1		

Примечание: *EL* представлена как пара «гипотеза о причине + гипотеза о предсказании». Оценки гипотез о причине и соответсвующие им оценки гипотез о предсказании (образуют код закономерности) расположены в две строки друг под другом. Для каждой гипотезы выведен идентификатор.

**Сохранимость *EL* при применении приближенного метода.

***Сохранимость *EL* при применении неприближенного метода (соответствует *ER* из п.1.1)

Таблица 3

Номер *ER*	*ID* 4023	
Гипотеза о причине, входящая в состав ER	*Признак*	Значение
	36- SETR	нет

Таблица 4

Иденти-фикатор *EL*		Оценки *EL* (из HPW_1) в *HPW*																**	***
№ п/п	*	HPW_1	HPW_2			HPW_3			HPW_4			HPW_5			HPW_6				
			$БФ_2$ (0)	$БФ_2$ (1)	$БФ_2$ (2)	$БФ_3$ (0)	$БФ_3$ (1)	$БФ_3$ (2)	$БФ_4$ (0)	$БФ_4$ (1)	$БФ_4$ (2)	$БФ_5$ (0)	$БФ_5$ (1)	$БФ_5$ (2)	$БФ_6$ (0)	$БФ_6$ (1)	$БФ_6$ (2)		
*EL*1	1040	-1	-1	-1	-1	t	t	-1	t	t	-1	t	t	-1	t	t	-1	Да	
	10	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	t	-1	-1	t	-1	-1		
*EL*2	4023	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	t	-1	-1	t	-1	-1	Да	Да
	10	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	t	-1	-1	t	-1	-1		

Примечание: * *EL* представлена как пара «гипотеза о причине + гипотеза о предсказании». Оценки гипотез о причине и соответсвующие им оценки гипотез о предсказании (образуют код закономерности) расположены в две строки друг под другом. Для каждой гипотезы выведен идентификатор.
**Сохранимость *EL* при применении приближенного метода,
***Сохранимость *EL* при применении неприближенного метода (соответствует *ER* из п.2.1)

Материал поступил в редакцию 03.07.18.

Сведения об авторах

ФИНН Виктор Константинович – доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, главный научный сотрудник Федерального исследовательского центра «Информации и управления» РАН (ФИЦ ИУ РАН); руководитель Отделения интеллектуальных систем в гуманитарной сфере Российского государственного гуманитарного университета, Москва.
e-mail: ira.finn@gmail.com

ШЕСТЕРНИКОВА Ольга Павловна – научный сотрудник ФИЦ ИУ РАН; начальник отдела разработки ООО «Прогтек», Москва.
e-mail: oshesternikova@gmail.com

ВНИМАНИЮ ПОДПИСЧИКОВ!

С 2018 года возобновляется издание информационного бюллетеня «Иностранная печать об экономическом, научно-техническом и военном потенциале государств-участников СНГ и технических средствах его выявления» серии «Экономический и научно-технический потенциал» (56741) взамен информационного бюллетеня «Экономика и управление»

Периодичность выхода – 12 номеров в год. Объем 48 уч.-изд. л. в год.

В бюллетене освещаются материалы иностранной печати по широкому спектру вопросов, касающихся сфер экономического и научно-технического развития России и стран СНГ: общие вопросы, финансы, промышленность, рынки, сельское хозяйство, космос, транспорт и связь, природные ресурсы, трудовые ресурсы, внешние торгово-экономические и научные связи

Оформить подписку на информационный бюллетень, начиная с любого номера, можно в ВИНИТИ РАН по адресу: 125190, Россия, Москва, ул. Усиевича, 20,

Телефоны: (499) 151-78-61; (499) 155-42-85

Факс: (499) 943-00-60;

E-mail: contact@viniti.ru; sales@viniti.ru

Центр (Отдел) научно-информационного обслуживания (ЦНИО) ВИНИТИ РАН

Информационные услуги, предоставляемые ЦНИО ВИНИТИ РАН:

– проведение тематического поиска и консультации поисковых экспертов;
– подготовка списков научной литературы;
– подбор, копирование полнотекстовых материалов из первоисточников на бумажном носителе и в электронном виде;
– библиометрическая оценка публикационной активности исследователей и научных организаций с использованием российских и зарубежных баз данных;
– информационное обеспечение информационно-аналитической деятельности по подготовке и предоставлению аналитических обзоров и других научных материалов.

ВИНИТИ РАН располагает следующими информационными ресурсами:

– фондом НТЛ, включающим более 2,5 млн. отечественных и иностранных журналов, книг, депонированных рукописей, авторефератов диссертаций и другой научной литературы, ретроспектива – с 1991 года;
– базами данных и Интернет-ресурсами: БД ВИНИТИ (разработка ВИНИТИ), БД SCOPUS, БД Questel (патенты) и другими реферативными ресурсами;
– полнотекстовыми электронными ресурсами (статьи, патенты, материалы конференций).

Ознакомиться с информацией о доступных полнотекстовых и реферативных ресурсах можно на сайте ВИНИТИ www.viniti.ru

К услугам пользователей – **Электронный Каталог ВИНИТИ http://catalog.viniti.ru** и **служба электронной доставки документов.**

Осуществляется платное информационное обслуживание по разовым заказам и на договорной основе с предоставлением всех необходимых финансовых документов.

Проводится индивидуальное обслуживание пользователей в читальном зале ЦНИО ВИНИТИ.

Обращаться в ЦНИО ВИНИТИ:

- адрес: 125190, Россия, г. Москва, ул. Усиевича, 20;
- телефоны: 8(499) 155 -42 -43, 8(499) 155 -42 -17;
- эл. почта cnio@viniti.ru, fdk@viniti.ru;
- факс 8(499) 930 -60 -00 (для ЦНИО).