

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
ДОНЕЦКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ**



ИНФОРМАТИКА И КИБЕРНЕТИКА

3 (29)

Донецк – 2022

УДК 004.3+004.9+004.2+51.7+519.6+519.7

**ИНФОРМАТИКА И КИБЕРНЕТИКА, № 3 (29), 2022,
Донецк, ДонНТУ.**

Выпуск подготовлен по материалам IV Международной научно-практической конференции «Программная инженерия: методы и технологии разработки информационно-вычислительных систем» (ПИИВС - 2022), проведенной 29 – 30 ноября 2022 г. Представлены результаты научно-технической деятельности аспирантов, соискателей и научных работников.

Статьи посвящены вопросам приоритетных направлений научно-технического обеспечения в области информатики, кибернетики, вычислительной техники и инженерного образования.

Материалы предназначены для специалистов народного хозяйства, ученых, преподавателей, аспирантов и студентов высших учебных заведений.

Редакционная коллегия

Главный редактор: Павлыш В. Н., д.т.н., проф.

Зам. глав. ред.: Мальчева Р. В., к.т.н., доц.

Ответственный секретарь: Лёвкина А. И.

Члены редакционной коллегии: Аверин Г. В., д.т.н., проф.; Аноприенко А. Я., к.т.н., проф.;

Звягинцева А. В., д.т.н., доц.; Зори С. А., д.т.н., доц.; Карабчевский В. В., к.т.н., доц.;

Привалов М. В., к.т.н., доц.; Скобцов Ю. А., д.т.н., проф.; Федяев О. И., к.т.н., доц.;

Шелепов В. Ю., д.ф-м.н., проф.

Рекомендовано к печати ученым советом ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет» Министерства образования и науки ДНР. Протокол № 7 от 29 ноября 2022 г.

Свидетельство о регистрации СМИ: серия ААА № 000145 от 20.06.2017.

Приказ МОН ДНР № 135 от 01.02.2019 о включении в Перечень рецензируемых научных изданий ВАК ДНР.

Контактный адрес редакции

ДНР, 83001, г. Донецк, ул. Артема, 58, ГОУ ВПО «ДонНТУ»,

4-й учебный корпус, к. 36., ул. Кобозева, 17.

Тел.: +7 (856) 301-07-35, +7 (949) 334-89-11

Эл. почта: infcyb.donntu@yandex.ru

Интернет: <http://infcyb.donntu.ru>

СОДЕРЖАНИЕ

Компьютерные науки

Расширение возможностей логического анализа за счет уточнения интерпретации исчисления предикатов <i>Кулик Б. А.</i>	5
--	---

Информатика и вычислительная техника

Совершенствование автоматизированной системы учета деятельности предприятия на примере сети заведений общественного питания <i>Боднар А. В., Коломойцев В. А.</i>	16
Обзор инструментов разработки диалоговых агентов с базами знаний <i>Воробьев Л. О., Григорьев А. В.</i>	22
Алгоритмическое обеспечение СППР оптимального планирования производственно-логистической деятельности предприятия <i>Дмитрюк Т. Г.</i>	28
Разработка модели и симуляции распространения эпидемии вируса с использованием игрового движка Unity <i>Зори С. А., Бездетный Н. А.</i>	38
Математическое моделирование радиальной фильтрации в угольном пласте с учетом его фрактальной пустотной структуры <i>Павлыш В. Н., Добровольский Ю. Н., Лазебная Л. А., Бельков Д. В.</i>	44
Структура и функционал интеллектуальной системы поддержки принятий решений в водоотведении <i>Штепа В. Н.</i>	51
Практическое использование методов поиска и корректировки аномалий для построения точных прогнозов <i>Рычка О. В.</i>	58
<u>Об авторах</u>	65
<u>Требования к статьям, направляемым в редакцию научного журнала «Информатика и кибернетика»</u>	67

Компьютерные науки

УДК 004.83+510.6

Расширение возможностей логического анализа за счет уточнения интерпретации исчисления предикатов

Б.А. Кулик

Институт Проблем Машиноведения РАН, Санкт-Петербург
ba-kulik@yandex.ru

Аннотация

Одним из вариантов интерпретации исчисления предикатов является представление предикатов и логических формул в виде отношения, в котором областью истинности (*domain*) всех переменных является одно и то же множество. В эту интерпретацию внесены следующие изменения: 1) разным переменным соответствуют разные области их изменения; 2) n -местные отношения представлены не как множества кортежей значений переменных, а как объединения декартовых произведений. Обосновано, что математической моделью измененной интерпретации является алгебра кортежей. Такое изменение интерпретации позволяет существенно расширить аналитические возможности логического анализа, в частности, решить задачу вычисления следствий с заданными свойствами.

Введение

В основе современной логики лежит сформировавшийся на рубеже XIX и XX столетий **аксиоматический подход**, в котором предпочтение отдается формальным языкам и способам преобразования символьных выражений с помощью правил вывода. Часто аксиоматический подход называют **синтаксическим подходом**. В рамках этого подхода в XX веке развивалась современная **теория множеств**, основы которой были заложены исследованиями Г. Кантора, Р. Дедекинда и др. в последней четверти XIX века. Через некоторое время были открыты парадоксы теории множеств (Г. Кантор, Ч. Бурали-Форти, Б. Рассел и др.), а на рубеже XIX и XX столетий стали завоевывать популярность публикации математиков и философов, заложивших основы современного аксиоматического подхода (Г. Фреге, Ч. С. Пирс, Дж. Пеано, Б. Рассел и др.) [1].

На фоне этих событий начала свое развитие математическая логика, в основаниях которой термин «множество» оказался под запретом, в силу обнаруженных парадоксов теории множеств. Хотя даже не специалисту в логике понятно, что термин сам по себе не может быть противоречивым – его противоречивость может зависеть от того, как этот термин определили и как его связали с другими терминами теории.

Впоследствии вместо теории множеств в математике был предложен более простой ее вариант – **алгебра множеств**, законы которой могут быть обоснованы без аксиом на основе лишь определений операций (дополнение,

пересечение, объединение) и отношений (включения и равенства) [2].

Законы алгебры множеств соответствуют законам классической логики, поэтому возможность доказать законы алгебры множеств без аксиом означает, что для обоснования классической логики нет необходимости в аксиомах.

Одним из источников противоречий в теории множеств является то, что в этой теории разрешается множеству быть элементом множества. Такое допущение в некоторых разделах математики присутствует и в настоящее время. Однако в алгебре множеств это допущение можно убрать – законы алгебры множеств от этого не изменятся. Обусловлено это тем, что в алгебре множеств в отличие от теории множеств системообразующим является не отношение принадлежности элемента и множества, а отношение включения множеств, для которого «самоприменимость» ($A \subseteq A$) не инициирует парадоксов. Поэтому запрет термина «множество» в основаниях логики нельзя считать обоснованным.

В данной работе в качестве основного источника знаний по математической логике использована книга Э. Мендельсона [3], выдержавшая с 1964 по 2015 годы 6 переизданий. На русском языке в 1971 году было опубликовано 3-е издание этой книги [4].

В [3] (с. 66, в русском переводе с. 65) есть текст, который достаточно четко характеризует современное состояние логики: «Поскольку семантические понятия носят теоретико-множественный характер, а теория множеств, по причине парадоксов, представляется в известной степени шаткой основой для исследований в

области математической логики, то многие логики считают более надежным синтаксический подход, состоящий в изучении формальных аксиоматических теорий с применением лишь довольно слабых арифметических методов».

Обратите внимание в этой цитате на противопоставление семантического (т.е. теоретико-множественного) и синтаксического (т.е. аксиоматического) подходов. И еще одно интересное наблюдение: «шаткая основа» (теория множеств) подробно изложена в четвертой главе книги Э. Мендельсона.

Уточнение интерпретации исчисления предикатов

В [3] была предложена следующая интерпретация языка первого порядка (этот язык лежит в основе исчисления предикатов первого порядка): в качестве области интерпретации (*domain*) для всех переменных используется одно и то же множество D элементов (констант), а для n -местных предикатов и формул с n свободными переменными областью интерпретации является n -местное отношение, т.е. подмножество n -местных кортежей элементов из декартова произведения (ДП) множеств D^n . При этом множество D не определено.

Предложенная в [3, 4] интерпретация по сути является упрощенным вариантом математического отношения, которое определяется как некоторое подмножество произвольно выбранного ДП. Упрощение выражается в том, что, во-первых, в этой интерпретации разные переменные привязаны только к одной области D , и, во-вторых, в логическом анализе представление отношений только в виде множества кортежей элементов часто приводит к сложностям при обоснованиях закономерностей, а также при формулировании условий задач и их решении. С учетом этого в данную интерпретацию языка первого порядка было предложено внести следующие изменения [5, 6].

Изменение 1. Для разных переменных предлагается использовать не одну какую-то область интерпретации D , а разные области интерпретации, которые соответствуют предметной области рассуждения. В соответствии с этим по аналогии с базами данных предлагается называть *атрибутами* имена разных областей интерпретации для разных переменных, а сами области интерпретации (т.е. множества всех значений атрибутов) *доменами* этих атрибутов. Например, если в качестве атрибута используются «дни недели», то доменом этого атрибута является множество всех названий дней недели.

Изменение 2. Для обоснования закономерностей и решения многих задач логического анализа более удобно рассматривать

n -местное отношение не как множество кортежей элементов, а как ДП или их объединения. Поскольку ДП формируется из множеств, то в качестве значений атрибута используются не элементы его домена, а имена или обозначения (например, A_2 или $\{d, f\}$) всех подмножеств домена. Множества с этими именами или обозначениями названы *компонентами* атрибута. Короче: *компоненты* – это произвольные подмножества домена атрибута.

Исследования показали, что усовершенствованную интерпретацию языка первого порядка можно выразить с помощью алгебры множеств. Но для этого потребовалось разработать и обосновать новую математическую структуру, получившую название *алгебра кортежей* [5, 6]. С алгеброй множеств ее связывает то, что в ней используются те же операции (дополнение, пересечение, объединение), те же отношения (равенства и включения) и те же законы (де Моргана, контрапозиции, транзитивности, непротиворечия и т.д.). Отличие только в том, что в ней используются не обычные множества, а сжатые структуры, которые можно с помощью определенных вычислений представить множествами n -местных кортежей элементов (т.е. традиционными n -местными отношениями). Эти структуры – *объединения ДП множеств*. Как выяснилось в процессе исследований, эти структуры вместе с их дополнениями являются интерпретациями основных типов формул математической логики.

Основные понятия алгебры кортежей

В алгебре кортежей декартово произведение множеств используется в качестве основного понятия. Поэтому целесообразно рассказать о нем более детально. ДП было введено в математику в конце XIX века Г. Кантором [3]. Декартово произведение двух множеств – это множество всех возможных двуместных кортежей (пар) элементов, у которых на первом месте стоит элемент из первого множества, а на втором – элемент из второго множества. Например, если даны множества $X = \{a, c\}$ и $Z = \{a, f, k\}$, то их ДП можно представить в виде множества, содержащего 6 кортежей:

$$X \times Z = \{(a, a), (a, f), (a, k), (c, a), (c, f), (c, k)\}.$$

Аналогично определяются ДП для трех и более множеств. В этих случаях элементы ДП – это кортежи из трех и более элементов. Если в ДП участвуют одинаковые множества, например, $D \times D \times D$, то ДП можно записывать как возведение в степень: $D \times D \times D = D^3$. Рассмотрим пример использования ДП в логическом анализе.

Пример 1 (задача «Поиск клада»). Перед нами три пещеры, в каждой из них может быть

либо клад (K), либо ядовитые змеи ($З$), либо пещера пуста ($П$), при этом змеи присутствуют, по крайней мере, в одной из пещер, а клад – только в одной пещере. Для поиска клада необходимо воспользоваться двумя подсказками, при этом известно, что первая подсказка истинная, а вторая – ложная:

Подсказка 1: Во второй пещере нет змей, а третья пещера не пуста.

Подсказка 2: Первая пещера не пуста, а во второй нет змей.

Требуется определить, в какой пещере находится клад.

Решение задачи будет приведено ниже. Пока же рассмотрим, как можно выразить некоторые условия задачи с помощью ДП. Перечисление всех возможных ситуаций в пещерах без учета ограничений можно получить, вычислив ДП

$$\{K, З, П\} \times \{K, З, П\} \times \{K, З, П\} = \{K, З, П\}^3.$$

В этом случае мы получим 27 разных вариантов (трехместных кортежей). Подсказку 1 можно выразить с помощью ДП

$$\{K, З, П\} \times \{K, П\} \times \{K, З\},$$

т. е. получим 12 вариантов.

Объединение декартовых произведений, рассматриваемое как отдельная структура, ранее в математике не встречалось. Для этой структуры не были известны алгоритмы операций (дополнение, пересечение, объединение), алгоритмы проверок включения одной структуры в другую и т.д. В некоторых учебниках и руководствах по математике содержатся только алгоритмы для двух операций с ДП (пересечения и разности), а также алгоритм проверки включения одного ДП в другое. Оказалось, что формулировку всех свойств декартовых произведений и их обоснования можно существенно упростить, если отказаться от общепринятых обозначений ДП (D^n , $A \times B \times C$, $\prod_{i=1}^n S_i$ и т.д.). Вместо этого

предложено представлять ДП как кортежи компонент, при этом каждая компонента с помощью схемы отношения привязывается к определенному атрибуту.

Алгебра кортежей (АК) – математическая система для моделирования и анализа многоместных отношений, основанная на свойствах ДП. Отношения в АК выражаются с помощью структур, которые называются **АК-объектами**. Их всего четыре: C -кортежи, C -системы, D -кортежи и D -системы.

К именам АК-объектов приписывается **схема отношения** – заключенная в квадратные скобки последовательность атрибутов. Например, $R[KLM]$ означает, что отношение R является подмножеством ДП $K \times L \times M$.

АК-объекты с одинаковыми схемами отношений называются **однотипными**.

Алгоритмы выполнения операций с АК-объектами, проверок включения, преобразований в другие типы и т.д. сформулированы и доказаны в АК в виде теорем. Структуры АК матричные, причем в ячейках матриц записываются не элементы, а обозначения компонент.

Среди всех возможных компонент АК выделяются два типа, названных **фиктивными компонентами**.

Полная компонента (обозначается «*») равна домену соответствующего атрибута.

Пустая компонента (обозначается « \emptyset ») равна пустому множеству.

Перейдем к определению типов АК-объектов.

C -кортеж – это n -местное отношение, равное ДП содержащихся в нем компонент, которые записаны в виде кортежа, ограниченного квадратными скобками.

Например, подсказку 1 в Примере 1 можно выразить как C -кортеж

$$M_1[C_1 C_2 C_3] = [* \{K, П\} \{K, З\}],$$

где C_1, C_2, C_3 – атрибуты (для данного примера – обозначения пещер с соответствующими номерами), а символ * обозначает множество, равное домену атрибута C_1 , т.е. множество возможных вариантов содержимого в данной пещере, в данном случае $\{K, З, П\}$.

Если заданы однотипные C -кортежи, то можно вычислить их пересечение или проверить включение одного C -кортежа в другой. Это можно выполнить, используя следующие теоремы (здесь и далее номера теорем соответствуют номерам в [5, 6]).

Теорема 1 (проверка включения однотипных C -кортежей). Пусть даны два однотипных C -кортежа $P = [P_1 P_2 \dots P_N]$ и $Q = [Q_1 Q_2 \dots Q_N]$. Тогда $P \subseteq Q$, если и только если $P_i \subseteq Q_i$ верно для всех соответствующих пар компонент сравниваемых C -кортежей.

Теорема 2 (пересечение однотипных C -кортежей). Пусть даны два однотипных C -кортежа $P = [P_1 P_2 \dots P_N]$ и $Q = [Q_1 Q_2 \dots Q_N]$. Тогда

$$P \cap Q = [P_1 \cap Q_1 P_2 \cap Q_2 \dots P_N \cap Q_N].$$

Теорема 3 (пустое пересечение однотипных C -кортежей). Пусть даны два однотипных C -кортежа $P = [P_1 P_2 \dots P_N]$ и $Q = [Q_1 Q_2 \dots Q_N]$, и в них имеется, по крайней мере, одна пара P_i и Q_i компонент, для которых $P_i \cap Q_i = \emptyset$. Тогда $P \cap Q = \emptyset$.

Рассмотрим пример использования Теоремы 2. Предположим, что в Примере 1 обе подсказки истинные. Тогда мы можем сократить число возможных вариантов, если вычислим пересечение соответствующих этим подсказкам C -кортежей, при этом необходимо учесть, что для любой компоненты A соблюдается $* \cap A = A$. Подсказку 2 можно выразить как

$M_2[C_1C_2C_3] = [\{K, 3\} \{K, П\} *]$. Тогда в соответствии с Теоремой 2

$$M_1[C_1C_2C_3] \cap M_2[C_1C_2C_3] = [\{K, 3\} \{K, П\} \{K, 3\}].$$

Теоремы 2 и 3 устанавливают, что пересечение C -кортежей, если оно не равно пустому множеству, можно выразить как C -кортеж. Однако объединение C -кортежей равно единственному C -кортежу лишь в исключительных случаях (эти случаи определены в [5, 6]). Поэтому возникает необходимость в определении структуры нового типа.

C -система – это отношение, равное объединению однотипных C -кортежей, которое записывается в виде матрицы, ограниченной квадратными скобками.

Например, $R[XYZ] = \begin{bmatrix} A_1 & * & A_3 \\ B_1 & B_2 & * \end{bmatrix}$ есть

C система, при этом $A_1 \subseteq X$, $A_3 \subseteq Z$ и т.д. Фиктивная компонента в первом C -кортеже соответствует домену атрибута Y , а во втором – домену атрибута Z . Данная C -система преобразуется в обычное отношение с помощью ДП следующим образом:

$$R[XYZ] = (A_1 \times Y \times A_3) \cup (B_1 \times B_2 \times Z).$$

Использование объединений ДП в качестве математической модели позволяет получить ряд преимуществ при моделировании и анализе множественных отношений. Ясно, что для отображения отношений с помощью АК-объектов во многих случаях требуется меньший объем памяти. При этом надо учесть, что компонентами АК-объектов могут быть любые, в том числе и бесконечные множества (например, множества целых чисел с определенными кратностями или системы интервалов на числовых осях).

Еще одним преимуществом является возможность моделировать и исследовать неопределенности в знаниях, так как компоненту, содержащую более одного элемента, можно представить как множество возможных вариантов значений атрибута.

С помощью C -кортежей и C -систем можно выразить любое множественное отношение, но для вычисления их дополнений требуются новые структуры – D -кортежи и D -системы. Для их определения используется промежуточная структура – диагональная C -система.

Диагональная C -система – это C -система размерности $n \times n$, у которой все недиагональные компоненты – полные.

Например, $Q[XYZ] = \begin{bmatrix} A & * & * \\ * & B & * \\ * & * & C \end{bmatrix}$ –

диагональная C -система.

Доказано, что диагональная C -система есть результат вычисления дополнения

некоторого C -кортежа. При этом надо учесть, что дополнение каждой компоненты вычисляется при условии, что универсумом этой компоненты является домен соответствующего ей атрибута. Например, если задан C -кортеж $R[KLM] = [A B *]$, то дополнение компоненты B (т. е. \overline{B}) вычисляется относительно множества L , принятого в данном случае в качестве универсума, а дополнением компоненты $*$ будет пустое множество (\emptyset) в любом случае.

Теорема 9. Дополнение C -кортежа $P = [P_1 P_2 \dots P_{n-1} P_n]$ вычисляется как

диагональная C -система $\overline{P} = \begin{bmatrix} \overline{P_1} & * & \dots & * \\ * & \overline{P_2} & \dots & * \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ * & * & \dots & \overline{P_n} \end{bmatrix}$

размерности $n \times n$, где каждая диагональная компонента – дополнение соответствующей компоненты C -кортежа P .

Рассмотрим, как можно в Примере 1 преобразовать ложную Подсказку 2 в истинную. Для этого с помощью Теоремы 9 вычислим ее дополнение.

$$\overline{M_2} [C_1C_2C_3] = \begin{bmatrix} \{П\} & * & * \\ * & \{3\} & * \\ * & * & \emptyset \end{bmatrix}.$$

Учитывая, что третий C -кортеж в матрице содержит пустую компоненту и поэтому равен пустому множеству, можно записать окончательный результат:

$$\overline{M_2} [C_1C_2C_3] = \begin{bmatrix} \{П\} & * & * \\ * & \{3\} & * \end{bmatrix}.$$

Чтобы решить Пример 1, потребуется еще одна теорема АК.

Теорема 7 (пересечение C -кортежа и C -системы). Пусть даны однотипные C -кортеж P и C -система Q . Результатом их пересечения будет C -система, содержащая все непустые пересечения C -кортежа P с каждым C -кортежем из Q .

Истинные подсказки Примера 1, также как и посылки во многих логических задачах, являются своеобразными ограничениями. Чтобы учесть все эти ограничения, необходимо вычислить их пересечение. Тогда, используя Теорему 7, получим

$$M_1[C_1C_2C_3] \cap \overline{M_2} [C_1C_2C_3] = [* \{K, П\} \{K, 3\}] \cap \begin{bmatrix} \{П\} & * & * \\ * & \{3\} & * \end{bmatrix} = [\{П\} \{K, П\} \{K, 3\}].$$

Получился один C -кортеж, так как пересечение C -кортежей $[* \{K, П\} \{K, 3\}]$ и $[* \{3\} *]$ в соответствии с Теоремами 2 и 3 равно пустому множеству.

Для решения задачи преобразуем полученный результат в множество обычных

кортежей, вычислив ДП компонент полученного в результате вычислений C -кортежа.

$$\{ \{ \Pi \} \{ K, \Pi \} \{ K, 3 \} \} = \{ \Pi \} \times \{ K, \Pi \} \times \{ K, 3 \} = \{ (\Pi, K, K), (\Pi, K, 3), (\Pi, \Pi, K), (\Pi, \Pi, 3) \}.$$

По условиям задачи первый кортеж не подходит, так в соответствии с ним клад находится в двух пещерах, хотя должен быть только в одной. Кроме того, в этом кортеже ни в одной из пещер нет змей, что тоже не соответствует условиям задачи. Третий кортеж тоже не годится, так как в нем не предусмотрено присутствие змей хотя бы в одной пещере. Четвертый кортеж говорит об отсутствии клада во всех пещерах, что тоже не соответствует условиям задачи. Остается второй кортеж, в соответствии с которым клад находится во второй пещере.

Диагональную C -систему можно выразить более компактно с помощью определения нового типа АК-объекта.

D -кортеж – это отношение, равное диагональной C -системе и записанное как ограниченный перевернутыми квадратными скобками кортеж ее диагональных компонент.

Например, изображенную выше диагональную C -систему можно записать как D -кортеж: $Q[XYZ] =]A B C[$. Дополнение Подсказки 2 из Примера 7 тоже можно выразить как D -кортеж: $\overline{M}_2 [C_1 C_2 C_3] =] \{ \Pi \} \{ 3 \} \emptyset [$.

D -система есть отношение, равное пересечению однотипных D -кортежей и записанное как ограниченная перевернутыми квадратными скобками матрица компонент, в которой строками являются участвующие в операции D -кортежи.

Таким образом, определены все 4 типа АК-объектов. Примеры их использования в логическом анализе приведены в [5, 6].

Помимо операций алгебры множеств в АК определены операции с атрибутами, с помощью которых логические формулы с кванторами преобразуются в удобные для расчетов формулы алгебры кортежей.

Здесь мы рассмотрим две операции: добавление фиктивного атрибута ($+Atr$) и элиминация атрибута ($-Atr$).

Операция **добавление фиктивного атрибута** ($+Atr$) выполняется как включение имени нового атрибута Atr в схему отношения АК-объекта и соответствующего нового столбца с фиктивными компонентами – в матричное представление АК-объекта.

Например, пусть задана C -система $R_k[XZ] = \begin{bmatrix} A_1 & A_3 \\ B_1 & B_3 \end{bmatrix}$. Тогда после добавления

фиктивного атрибута Y в $R_k[XZ]$ получим C -систему $+Y(R_k[XZ]) = R_m[XYZ] = \begin{bmatrix} A_1 & * & A_3 \\ B_1 & * & B_3 \end{bmatrix}$.

При выполнении операции $+Atr$ в C -структуры добавляются фиктивные компоненты «*», а в D -структуры – фиктивные компоненты « \emptyset ».

Операция $+Atr$ соответствует правилу обобщения (Gen) исчисления предикатов, которое выражается как “из \mathcal{B} следует $(\forall x_i)\mathcal{B}$ ” [3], где \mathcal{B} – правильно построенная формула (ППФ) языка первого порядка. При этом в АК фиктивный атрибут добавляется только в том случае, если он отсутствует в схеме отношения данного АК-объекта. В исчислении предикатов это соответствует тому, что формула \mathcal{B} в правиле вывода Gen не содержит свободной переменной x_i , и тем самым исключаются возможные ошибки, если правило Gen используется без ограничений.

Добавление фиктивного атрибута по сути не изменяет содержание отношения: если в АК-объекте $R_k[XZ]$ значение атрибута Y неизвестно, то оно также неизвестно и в

$$AK\text{-объекте } +Y(R_k[XZ]) = \begin{bmatrix} A_1 & * & A_3 \\ B_1 & * & B_3 \end{bmatrix}, \text{ так как в}$$

нем каждому сочетанию значений атрибутов X и Z соответствует множество всех значений атрибута Y . Поэтому вполне правомерно считать отношение с добавленными фиктивными атрибутами равносильным исходному отношению.

С учетом этого в АК вводятся **обобщенные операции** пересечения (\cap_G) и объединения (\cup_G), которые отличаются от обычных операций \cap и \cup тем, что перед их выполнением АК объекты с разными схемами отношений приводятся к одной схеме за счет добавления в соответствующие АК-объекты недостающих фиктивных атрибутов.

Аналогично определяются **обобщенные отношения** $=_G$ и \subseteq_G . Смысл их в том, что при проверке равенства или включения АК-объектов в случае, если у них разные схемы отношения, то они приводятся к одной схеме отношения за счет добавления недостающих фиктивных атрибутов.

В АК предложен и обоснован новый метод **проверки правильности следствия**, выраженный в виде следующей теоремы.

Теорема 35. Пусть заданы посылки A_1, \dots, A_n и предполагаемое следствие B , выраженные структурами АК. Тогда алгоритм проверки правильности следствия B для заданных посылок A_i заключается в вычислении обобщенных пересечений и проверке обобщенного включения:

$$(A_1 \cap_G \dots \cap_G A_n) \subseteq_G B. \quad (1)$$

АК-объект, полученный в результате вычисления левой части этого выражения, называется в АК **минимальным следствием**. Минимальное оно потому, что любое его строгое

подмножество не является следствием.

Рассмотрим еще одну операцию с атрибутами.

Операция *элиминации атрибута* ($-Attr$) выполняется так: из схемы отношения удаляется соответствующий атрибут $Attr$, а из матричного представления АК – столбец соответствующий этому атрибуту.

Например, если задана C -система

$$R[XYZ] = \begin{bmatrix} A_1 & * & A_3 \\ B_1 & B_2 & * \end{bmatrix}, \text{ то}$$

$$-Y(R[XYZ]) = \begin{bmatrix} A_1 & A_3 \\ B_1 & * \end{bmatrix}.$$

Логический смысл этой операции, в отличие от операции $+Attr$, зависит от типа АК-объекта. Пусть задан АК-объект $Q[XYZ]$, и ему соответствует логическая формула $Q(x, y, z)$. Тогда:

- если $Q[XYZ]$ – C -кортеж или C -система, то $-Y(Q[XYZ])$ равносильно $\exists y(Q(x, y, z))$;
- если $Q[XYZ]$ – D -кортеж или D -система, то $-Y(Q[XYZ])$ равносильно $\forall y(Q(x, y, z))$.

Применение операции элиминации атрибута к C -кортежу или C -системе позволяет вычислить *проекцию* АК-объекта. С помощью проекций решается задача, которая до этого не решалась в математической логике, – задача вычисления следствий с заранее заданными свойствами [5, 6] или *интересных следствий*.

Для иллюстрации возможностей АК рассмотрим пример.

Пример 2 [10]. Обосновать правильность следующего рассуждения: «Некоторые пациенты любят всех докторов. Ни один пациент не любит знахарей. Следовательно, ни один доктор не является знахарем».

Оказывается, для анализа этого, на первый взгляд, простого рассуждения требуются далеко не самые простые методы математической логики (формулировка задачи на языке исчисления предикатов, сведение к предваренной нормальной форме, алгоритм унификации и т. д.). Рассмотрим, как это делается в АК.

Обозначим множества P – множество пациентов, D – множество докторов, Q – множество знахарей, P_1 – некоторое непустое подмножество пациентов ($P_1 \subseteq P$), $L[XY]$ – отношение « x любит y », заданное как C -система. Пусть она нам неизвестна, но для анализа данного рассуждения это не имеет значения.

Тогда первую посылку можно выразить как C -кортеж:

$$A_1[XY] = [P_1 \ D]$$

(некоторые пациенты (P_1) любят всех докторов). Данная посылка интерпретируется как часть (т.е. подмножество) отношения $L[XY]$.

Вторая посылка означает, что из

отношения $L[XY]$ надо исключить кортежи, в которых значением атрибута X является пациент, а значением атрибута Y – некий знахарь. Сделать это можно с помощью следующей операции:

$$A_2[XY] = L[XY] \cap [P \ \bar{Q}]$$

(при пересечении образуется C -система, в которой из атрибута X исключены все не пациенты, а из атрибута Y – все знахари).

Используя Теорему 2, вычисляем минимальное следствие:

$$\begin{aligned} A[XY] &= A_1[XY] \cap A_2[XY] = \\ [P_1 \ D] \cap (L[XY] \cap [P \ \bar{Q}]) &= \\ = L[XY] \cap [P_1 \ D \cap \bar{Q}]. \end{aligned}$$

Анализируем заключение. Предположим противное, т.е. что некоторые доктора – знахари, т.е. $D \cap Q = Q_D \neq \emptyset$. Тогда множество Q_D должно присутствовать в атрибуте Y отношения $L[XY]$. Это предположение можно использовать в качестве третьей посылки

$$A_3[XY] = [* \ Q_D].$$

Тогда, используя Теорему 2, получим:

$$\begin{aligned} A[XY] \cap [* \ Q_D] &= (L[XY] \cap [P_1 \ D \cap \bar{Q}]) \cap \\ \cap [* \ Q_D] &= L[XY] \cap [P_1 \ D \cap \bar{Q} \cap Q_D]. \end{aligned}$$

Поскольку $\bar{Q} \cap Q_D = \emptyset$, то $D \cap \bar{Q} \cap Q_D = \emptyset$

и тогда $[P_1 \ D \cap \bar{Q} \cap Q_D] = \emptyset$ (Теорема 3), в силу чего $L[XY] \cap \emptyset = \emptyset$. В алгебре кортежей равенство пересечений посылок рассуждения пустому множеству означает противоречие. Отсюда ясно, что предположение о том, что некоторые доктора знахари, привело к противоречию. Таким образом, подтверждается следствие задачи.

Основные работы по алгебре кортежей имеются в свободном доступе в Интернете¹.

Расширение возможностей логического анализа в АК

Свойства АК позволяют решать такие задачи логического анализа, которые не предусмотрены в исчислении предикатов. К ним, в частности, относятся формулирование и проверка гипотез, анализ неопределенностей, вывод абдуктивных заключений, анализ пресуппозиций и элиминация аномалий противоречия в знаниях и др. [5, 6, 7]. Эти задачи можно встретить в публикациях по искусственному интеллекту, причем для их решения нередко используются неклассические логики. Здесь мы рассмотрим решение задачи вычисления следствий с заранее заданными свойствами. По сравнению с публикациями [5, 6, 8], в которых рассматривается решение этой задачи, здесь добавлены новые результаты исследований.

¹ <http://logic-cor.narod.ru>

Постановка задачи поиска интересных следствий предложена в статье [9]. В математической логике пока что не только не решена задача поиска новых следствий с заранее заданными свойствами, но даже нет ясности в том, какими свойствами должны характеризоваться такие следствия.

Многочисленные примеры задач логического вывода [3, 10, 11] характеризуются тем, что весьма часто проверяемые следствия содержат сравнительно небольшой, по сравнению с исходными данными, состав переменных. В задаче Steamroller [11] при формализации получается всего три логических переменных, но в ней сокращения осуществляется для предикатов, используемых в этой задаче. К этим предикатам относятся «волки», «лисы», «растения», «меньше» и т. д. Следствие этой задачи содержит три предиката, в то время как в посылках приведено 10 разных предикатов.

Таким образом, одно из свойств «интересных» следствий – *сокращенный по сравнению с исходными данными состав переменных или предикатов*.

Второе свойство интересных следствий тесно связано с первым: в некоторых случаях интерес представляют не только следствия с сокращенным составом переменных, но и следствия, в которых предусматривается использование заранее заданных переменных. Отсюда ясно, что вторым свойством «интересных» следствий является *определенный состав переменных или предикатов в сокращенном следствии*.

Еще одно свойство интересных следствий было установлено при исследовании задач с сокращенным составом переменных в следствии. Нередко результатом вычислений становится формула с большим объемом записей (например, S -система с большим числом S -кортежей). Спрашивается, можно ли сократить объем записи следствия, в частности, представить его в виде одного или двух дизъюнктов? Таким образом, третье свойство интересных следствий – *сокращенный объем его записи*.

Для решения задачи поиска интересных следствий, необходимо рассмотреть понятие проекции.

Проекцией АК-объекта называется результат однократного или многократного применения операции элиминации атрибута к АК-объекту, выраженному как S -кортеж или S -система. Если АК-объект выражен другими типами (D -кортеж или D -система), то его надо перед вычислением проекции преобразовать в S -систему с помощью соответствующих алгоритмов [5, 6] (здесь они не приведены).

Если, допустим, задана S -система $R[XYZ]$, то ее проекции обозначаются $Pr_{XY}(R)$, $Pr_Y(R)$ и

т. д. В частности, проекция $Pr_{XZ}(R)$ вычисляется с помощью элиминации атрибута Y :

$$Pr_{XZ}(R) = -Y(R[XYZ]).$$

Рассмотрим весьма важную для вычисления интересных следствий теорему, доказательство которой отсутствует в цитируемых работах по АК.

Теорема о проекциях. Пусть задана S -система $R[\mathbf{W}]$, где \mathbf{W} – множество атрибутов из схемы отношения R , и $\mathbf{V} \subset \mathbf{W}$. Тогда

$$R[\mathbf{W}] \subseteq_G Pr_{\mathbf{V}}(R) \quad (2)$$

Доказательство. Пусть в множестве \mathbf{W} содержится n атрибутов, а в множестве \mathbf{V} – k атрибутов. Не нарушая общности, можно считать, что все атрибуты из \mathbf{V} содержатся в левой части S -системы $R[\mathbf{W}]$ (перестановка столбцов в матричном представлении АК-объектов вместе с соответствующими перестановками имен атрибутов в схеме отношения является эквивалентным преобразованием). Пусть

$$R[\mathbf{W}] = \begin{bmatrix} C_1^1 & \dots & C_1^k & C_1^{k+1} & \dots & C_1^n \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ C_m^1 & \dots & C_m^k & C_m^{k+1} & \dots & C_m^n \end{bmatrix}.$$

$$\text{Тогда } Pr_{\mathbf{V}}(R) = \begin{bmatrix} C_1^1 & \dots & C_1^k \\ \dots & \dots & \dots \\ C_m^1 & \dots & C_m^k \end{bmatrix}. \quad \text{Для}$$

проверки соотношения (2) необходимо добавить в $Pr_{\mathbf{V}}(R)$ недостающие фиктивные атрибуты. Тогда получим S -систему

$$Q[\mathbf{W}] = \begin{bmatrix} C_1^1 & \dots & C_1^k & * & \dots & * \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ C_m^1 & \dots & C_m^k & * & \dots & * \end{bmatrix}, \text{ равносильную}$$

$Pr_{\mathbf{V}}(R)$, у которой правые $n-k$ столбцов содержат только полные компоненты. Если сравнивать S -кортежи C_i из $R[\mathbf{W}]$ и $Q[\mathbf{W}]$, то, используя Теорему 1, можно убедиться, что каждый S -кортеж из $R[\mathbf{W}]$ включен в соответствующий S -кортеж из $Q[\mathbf{W}]$, что доказывает теорему. *Конец доказательства.*

Из (1) и (2) следует, что *любая проекция АК-объекта является его следствием*. Отсюда ясно, что для получения следствия с сокращенным составом атрибутов из заданных посылок A_1, A_2, \dots, A_n необходимо, используя (1), вычислить минимальное следствие, после чего вычислить его проекцию. При этом необходимо учитывать, что не каждая проекция представляет интересное следствие, так как некоторые проекции могут оказаться равными универсуму – в этом случае они не содержат полезной информации.

Рассмотрим задачу поиска следствий с заданным составом атрибутов. Эта задача решается также с помощью вычисления и анализа соответствующих проекций

минимального следствия.

Пример 3. Пусть посылки заданы в виде следующих дизъюнктов:

$$\begin{aligned} A_1 &= \neg P \vee Q \vee R; & A_2 &= \neg P \vee \neg Q \vee \neg S; \\ A_3 &= \neg P \vee Q \vee \neg R \vee S; & A_4 &= P \vee \neg R; \\ A_5 &= P \vee R \vee S. \end{aligned}$$

Требуется выяснить, может ли следствием данной задачи быть формула, содержащая только пропозициональные переменные P и Q (другой вариант: Q и S)?

В АК все задачи и формулы исчисления высказываний можно выразить АК-объектами, у которых атрибутами являются имена пропозициональных переменных, а в качестве их доменов используются множества $\{0,1\}$. При этом литералу X соответствует компонента $\{1\}$, а литералу $\neg X$ – компонента $\{0\}$. Тогда конъюнкт, например, $P \wedge \neg R \wedge S$ можно выразить как C -кортеж $[\{1\} \{0\} \{1\}]$, а дизъюнкт

$$A_2 = \neg P \vee \neg Q \vee \neg S$$

из условий Примера 3 – как D -кортеж

$$A_2[PQS] = [\{0\} \{0\} \{0\}].$$

Выразим посылки задачи в виде D -кортежей и, применяя операцию $+Attr$ для их приведения к одной схеме отношения, построим D -систему:

$$\begin{aligned} A[PQRS] &= A_1[PQR] \cap_G A_2[PQS] \cap_G A_3[PQRS] \cap_G \\ &\cap_G A_4[PR] \cap_G A_5[PRS] = \begin{bmatrix} \{0\} & \{1\} & \{1\} & \emptyset \\ \{0\} & \{0\} & \emptyset & \{0\} \\ \{0\} & \{1\} & \{0\} & \{1\} \\ \{1\} & \emptyset & \{0\} & \emptyset \\ \{1\} & \emptyset & \{1\} & \{1\} \end{bmatrix}. \end{aligned}$$

Чтобы вычислять проекции D -системы, необходимо преобразовать ее в C -систему. Алгоритм такого преобразования содержится в [5, 6]. После вычислений получим минимальное следствие

$$A[PQRS] = \begin{bmatrix} \{0\} & * & \{0\} & \{1\} \\ \{1\} & \{1\} & * & \{0\} \\ \{1\} & \{0\} & \{1\} & \{1\} \end{bmatrix}.$$

Для решения задачи рассмотрим сначала

проекцию $Pr_{PQ}(A) = \begin{bmatrix} \{0\} & * \\ \{1\} & \{1\} \\ \{1\} & \{0\} \end{bmatrix}$. Эта проекция

содержит 4 разных элементарных кортежа, что говорит о том, что она равна универсуму и не годится для следствия (универсум является следствием для любых посылок).

Для вычисления следствия с переменными

Q и S рассмотрим проекцию $Pr_{QS}(A) = \begin{bmatrix} * & \{1\} \\ \{1\} & \{0\} \\ \{0\} & \{1\} \end{bmatrix}$.

Она содержит три элементарных кортежа: $[\{0\} \{1\}]$, $[\{1\} \{0\}]$ и $[\{1\} \{1\}]$. По таблице истинности им соответствует формула $Q \vee S$.

Следовательно, эта формула есть одно из возможных следствий задачи.

Рассмотрим задачу сокращения объемов записи в следствиях. При вычислении следствий могут получаться C -системы, содержащие значительное число C -кортежей. Сами C -системы во многих случаях трудно преобразовать так, чтобы в них содержалось меньшее число C -кортежей, однако объем записи минимального следствия или его неполных проекций можно существенно уменьшить.

Вкратце идея заключается в следующем. Пусть известно следствие A , выраженное как C -система с большим объемом записи. Тогда можно вычислить его дополнение \bar{A} и выделить его часть $A_j \subseteq \bar{A}$ с малым объемом записи. При вычислении его дополнения методами АК также получится АК-объект \bar{A}_j с малым объемом записи, и при этом в силу закона контрапозиции будет соблюдаться соотношение $A \subseteq \bar{A}_j$, что позволяет выбрать \bar{A}_j в качестве искомого следствия. Рассмотрим пример.

Пример 4. Пусть следствием задачи, заданной в универсуме $\{a, b, c, d\}^3$ является

$$C\text{-система } A[KLM] = \begin{bmatrix} \{a,b\} & \{d\} & * \\ \{c\} & * & \{c\} \\ \{d\} & \{d\} & \{c\} \end{bmatrix}. \text{ Требуется}$$

вычислить следствие с сокращенным объемом записи.

Для решения задачи сначала вычислим дополнение $A[KLM]$. В соответствии с Теоремой 11 из [5, 6] дополнением C -системы является D -система той же размерности, у которой каждая компонента равна дополнению соответствующей компоненты исходной C -системы. С учетом

$$\text{этого } \bar{A}[KLM] = \begin{bmatrix} \{c,d\} & \{a,b,c\} & \emptyset \\ \{a,b,d\} & \emptyset & \{a,b,d\} \\ \{a,b,c\} & \{a,b,c\} & \{a,b,d\} \end{bmatrix}.$$

Преобразуем полученную D -систему в C -систему с помощью соответствующего алгоритма из [5, 6]. В результате получим

$$\bar{A}[KLM] = \begin{bmatrix} \{d\} & \{a,b,c\} & * \\ \{d\} & \{d\} & \{a,b,d\} \\ \{c\} & * & \{a,b,d\} \\ \{a,b\} & \{a,b,c\} & * \end{bmatrix}.$$

Выберем из этой C -системы какой-либо C -кортеж, например, $A_j[KLM] = [\{d\} \{a,b,c\} *]$ и вычислим его дополнение

$$\bar{A}_j[KLM] = [\{a,b,c\} \{d\} \emptyset].$$

В полученном D -кортеже можно удалить фиктивный атрибут. Тогда получим следующий результат: D -кортеж $\bar{A}_j[KL] = [\{a,b,c\} \{d\}]$ является следствием нашей задачи.

Полученный результат легко проверяется.

Для этого достаточно проверить соотношение

$$A[KLM] \subseteq \overline{A}_j [KLM].$$

Для проверки можно воспользоваться следующей теоремой из [5, 6].

Терма 20. (проверка включения C -кортежа в D -кортеж). Пусть даны однотипные C -кортеж $P = [P_1 P_2 \dots P_N]$ и D -кортеж $Q = [Q_1 Q_2 \dots Q_N]$. Тогда $P \subseteq Q$, если хотя бы для одной пары компонент (P_j, Q_j) соблюдается $P_j \subseteq Q_j$.

Используя эту теорему, нетрудно убедиться, что каждый C -кортеж из $A[KLM]$ включен в D -кортеж $\overline{A}_j [KLM]$.

Таким образом, одним из возможных методов сокращения объема записи следствия A является следующий порядок действий:

- 1) вычислить дополнение A и преобразовать его в C -систему;
- 2) если в полученной C -системе много C -кортежей, то удалить некоторые из них;
- 3) вычислить дополнение структуры, полученной на предыдущем шаге.

Нерешенные проблемы

Важно отметить, что исследования по алгебре кортежей не являются завершенными, так как многие результаты математической логики пока что не представлены в ней. К ним, в частности, относятся следующие.

1. Задача Steamroller (номер 47 в [11]), которая выражается на языке исчисления предикатов, является иллюстрацией сложности логического вывода. Предполагается, что ее формулировка на языке алгебры кортежей позволит упростить ее решение. Однако до настоящего времени такая формулировка не найдена. Также отсутствует обоснование того, что этого нельзя сделать.

2. Не рассмотрена интерпретация и область ее применения для функциональных символов.

3. Не исследована возможность интерпретации исчисления предикатов второго порядка.

4. Не исследована возможность замены универсума Эрбрана [10] более простым вариантом на основе алгебры кортежей.

5. Не исследована возможность интерпретации теоремы Геделя о неполноте [3].

Список можно продолжить.

Заключение

С помощью средств математической логики трудно, а иногда просто невозможно применять многие необходимые в естественных рассуждениях методы логического анализа, такие как формулирование и проверка гипотез, анализ неопределенностей, распознавание и

анализ ошибок и некорректностей в рассуждениях, вывод абдуктивных заключений, анализ пресуппозиций и т.д. В то же время эти задачи решаются с помощью алгебры кортежей [5, 6, 7].

Средствами исчисления предикатов можно решать лишь часть задач дедуктивного анализа, т.е. поиск доказательств теорем, в случае если их формулировки известны. Однако задача поиска следствий с заранее заданными свойствами в этой системе не решается, что стало возможным с помощью алгебры кортежей [5, 6, 8].

Нерешенные проблемы лишь показывает, что данная система находится в стадии развития.

Благодарности

Данная работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема № 121112500304-4).

Литература

1. Бурбаки, Н. Теория множеств. – М.: Мир, 1965. – 455 с.
2. Курант, Р., Роббинс, Г. Что такое математика? 3-е изд., испр. и доп. – М.: МЦНМО, 2001. – 568 с.
3. Mendelson, E. Introduction to Mathematical Logic. – Boca Raton, London, New York: Taylor & Francis Group, 2015 (6th ed.). – 499 pp.
4. Мендельсон, Э. Введение в математическую логику. – М.: Наука, 1971. – 320 с.
5. Кулик, Б. А. Логика и математика: просто о сложных методах логического анализа. – СПб.: Политехника, 2020. – 141 с.
6. Kulik, B., Fridman, A. Complicated Methods of Logical Analysis Based on Simple Mathematics. – Newcastle upon Tyne: Cambridge Scholars Publishing, 2022. – 195 p.
7. Кулик, Б. А. Исследование противоречий в естественных рассуждениях на примерах метафор и пресуппозиций // Труды Семнадцатой Национальной конференции по искусственному интеллекту с международным участием. КИИ-2019 (21–25 октября 2019 г., г. Ульяновск, Россия). – Ульяновск: УлГТУ, 2019. Т. 2. – С. 192–200.
8. Кулик, Б. А. Вывод следствий с предварительно заданными свойствами // Системный анализ в проектировании и управлении. Материалы XXV Международной научной и учебно-практической конференции, 13–14 октября 2021 г. – СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2021. Часть 2. – С. 89–97.
9. Шалак, В. И. Анализ vs дедукция // Логические исследования. – 2018. т. 24, № 1. – С.

26-45.

10. Чень, Ч., Ли, Р. Математическая логика и автоматическое доказательство теорем. – М.: Наука. 1983. – 360 с.

11. Pelletier, F. Seventy-Five Problems for Testing Automatic Theorem Provers // Journal of

Automated Reasoning. – 1984. vol. 2. – Pp. 191–216.

12. Кулик, Б. А. Алгебраический подход к интеллектуальной обработке данных и знаний / Б. А. Кулик, А. А. Зуенко, А. Я. Фридман. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2010. – 235 с.

Кулик Б.А. Расширение возможностей логического анализа за счет уточнения интерпретации исчисления предикатов. Одним из вариантов интерпретации исчисления предикатов является представление предикатов и логических формул в виде отношения, в котором областью истинности (*domain*) всех переменных является одно и то же множество. В эту интерпретацию внесены следующие изменения: 1) разным переменным соответствуют разные области их изменения; 2) *n*-местные отношения представлены не как множества кортежей значений переменных, а как объединения декартовых произведений. Обосновано, что математической моделью измененной интерпретации является алгебра кортежей. Такое изменение интерпретации позволяет существенно расширить аналитические возможности логического анализа, в частности, решить задачу вычисления следствий с заданными свойствами.

Ключевые слова: интерпретация, логический анализ, аксиоматический подход, математическая логика, теория множеств, алгебра множеств, алгебра кортежей.

Kulik B. A. Expanding the possibilities of logical analysis by clarifying the interpretation of predicate calculus. One of the variants of interpretation of predicate calculus is the representation of predicates and logical formulas in the form of a relation in which the domain of all variables is the same set. The following changes have been made to this interpretation: 1) different variables correspond to different their domains; 2) *n*-place relations are represented not as sets of tuples of variable values, but as unions of Cartesian products. It is proved that the mathematical model of the modified interpretation is the *n*-tuple algebra. Such a change in interpretation makes it possible to significantly expand the analytical capabilities of logical analysis, in particular, to solve the problem of calculating consequences with specified properties.

Key words: interpretation, logical analysis, axiomatic approach, mathematical logic, set theory, algebra of sets, *n*-tuple algebra

Статья поступила в редакцию 25.11.2022
Рекомендуется к публикации профессором Зори С. В.

Информатика и вычислительная техника

УДК № 004.42

ОБЪЕКТНЫЙ АНАЛИЗ И МОДЕЛИРОВАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УЧЕТА ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЯ

А. В. Боднар, В. А. Коломойцев
Донецкий национальный технический университет,
linabykova13@ya.ru, lion-6v@mail.ru

Аннотация

В работе рассматривается возможность применения технологий программного модуля для подсистемы «Дисконтные карты» в конфигурации «ИС.Предприятие. ИБЦКАФЕ». Реализовано предоставление удобного функционала, выявление преимуществ и создание базы данных клиентов. Построены необходимые диаграммы, рассмотрена схема взаимодействия OLE Automation сервера с базой данных ИС: Предприятие для дальнейшего анализа и разработки процедур обмена данными между приложением. Проведено сравнение результатов работы программы лояльности в структуре сети заведений общественного питания «Путеводная звезда».

Введение

Широкое развитие современных телекоммуникационных и информационных технологий привело к становлению нового общества – информационного.

Компьютерная информационная система будущего - это распределенная по виртуальной сети, интегрированная с системой Internet система, которая функционирует на основе стандартных интерфейсов, которые соединяют как программные продукты для бизнеса, так и их отдельные компоненты, которые предназначены для автономной работы без связи с глобальной сетью. В условиях, когда на рынке предлагается множество однотипных продуктов, услуг, сервисов, практически по одинаковым ценам и приблизительно с одинаковым качеством, наличие программы лояльности является одним из главных аргументов в конкурентной борьбе. Внедрение программы лояльности актуально практически для всех компаний, независимо от сфер деятельности, объема продаж и стадии развития. Все большее распространение среди предприятий торговли, общественного питания и сервиса получают различные программы лояльности, построенные как на банковских, так и небанковских картах, в том числе программы подарочных карт. Все они направлены в первую очередь на формирование постоянных и привлечение новых клиентов.

Для формирования постоянных клиентов используют дисконтные, дисконтно-накопительные программы и программы лояльности, предлагающие клиентам большой дисконт или дополнительный сервис при постоянном пользовании услугами предприятия. Для привлечения новых клиентов используют различные маркетинговые программы с

использованием подарочных карт. Таким образом, программы лояльности - это инструменты маркетинга, направленные на создание долгосрочных отношений с клиентом.

Целью этих программ является увеличение прибыли, путем привлечения клиентов как постоянных потребителей. Данная статья актуальна, так как для сети заведений общественного питания лояльность клиентов занимает одно из первых мест. Стратегия внедрения дисконтных карт должна быть тесно связана со стратегией предоставления услуг предприятия.

Самым важным фактором среди составляющих процесса организации, оснащения, функционирования и развития предприятия являются: тесное взаимодействие с бизнесом, связь с потребителем услуг, удовлетворение требований бизнеса и достижение целей [1]. Так как дисконтные системы являются специфической и стремительно меняющейся областью деятельности, то к ним применяются организационные подходы, соответствующие их специфике.

Целью данной статьи является рассмотрение алгоритмов, модели предметной области, а так же описание структуры программного комплекса.

Алгоритмы достижения цели

Алгоритм - это точное описание упорядоченной последовательности действий, приводящей за конечное число шагов к необходимому результату. Свойства алгоритмов: понятность однозначность дискретность (пошаговость) массовость (универсальность) результативность конечность безошибочность.

Способы представления алгоритма: словесный; табличный; графический; программа на алгоритмическом языке.

Для словесного представления алгоритма используется естественный язык (пример - любые инструкции, рецепты и т. п.).

Диаграммы деятельности сочетают в себе идеи различных методов: диаграмм событий Джима Оделла, диаграмм состояний SDL и сетей Петри. Эти диаграммы особенно полезны в сочетании с потоками работ, а также в описании поведения, которое включает параллельные процессы. Основным элементом диаграммы деятельности является деятельность. Причем диаграммы деятельности, как и диаграммы

классов, могут строиться с трех различных точек зрения: с концептуальной, с точки зрения спецификации и с точки зрения реализации. В соответствии с точкой зрения деятельность рассматривается по-разному [2]. На концептуальной диаграмме деятельность – это некоторая задача, которую необходимо автоматизировать или выполнить вручную. На диаграмме, построенной с точки зрения спецификации или реализации, деятельность – это некоторый метод над классом.

Ниже представлена диаграмма деятельности подсистемы «Дисконтные карты» (рис. 1).

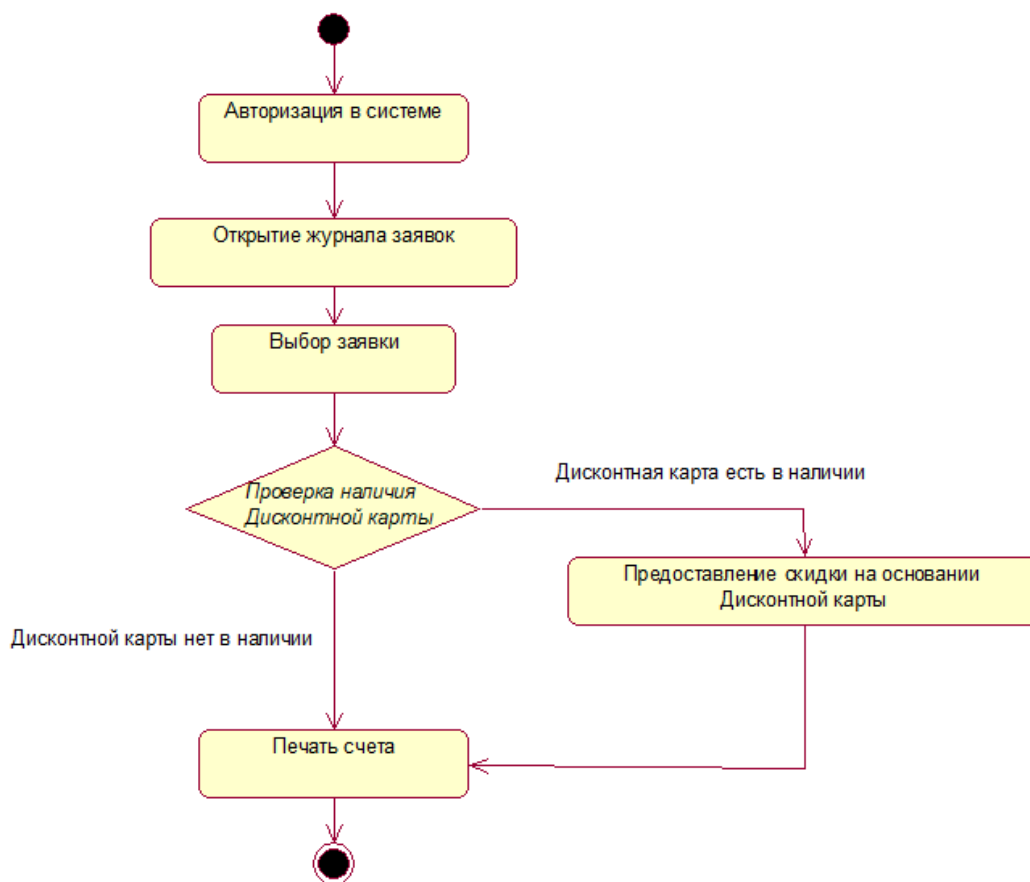


Рисунок 1 - Диаграмма деятельности актера Кассир по печати чека

Моделирование предметной области

Моделирование предметной области является одним из наиболее важных этапов работ при проектировании программных систем масштаба предприятия. В настоящее время для целей моделирования предметной области на рынке программных продуктов представлен широкий спектр CASE-средств.[3] Наиболее популярными в нашей стране CASE-средствами являются Rational Rose, CA VPwin, Silverrun, Sybase PowerDesigner. Моделирование

предметной области в этих средствах имеет больше сходств, чем различий. Однако немаловажным, с нашей точки зрения, является комплексность подхода и использование единой унифицированной нотации не только на этапе моделирования предметной области, но и на последующих этапах разработки программной системы, как это имеет место в Rational Rose.

Используя средства Rational Rose построим диаграмму модулей для подсистемы «Дисконтные карты» (рис. 2.).

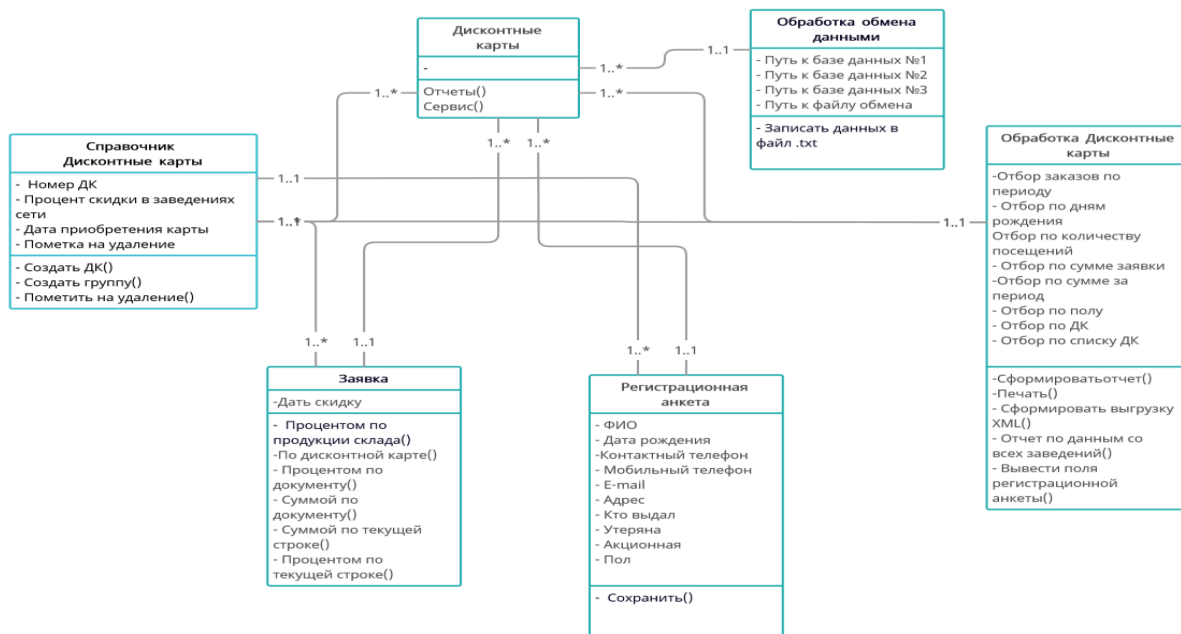


Рисунок 2 – Диаграмма модулей Информационной подсистемы «Дисконтные карты»

Диаграмма модулей подсистемы «Дисконтные карты» (рис. 2) показывает модули, интерфейсы, объекты и кооперации, а также их отношения. Это статические снимки экземпляров сущностей, показанных на диаграммах модулей.

Диаграмма модулей подсистемы «Дисконтные карты», которая включает активные модули, соответствует статическому виду системы с точки зрения процессов. Диаграмма модулей подсистемы «Дисконтные карты» определяет типы модулей системы и различного рода статические связи, которые существуют между ними. На диаграмме модулей подсистемы «Дисконтные карты» изображены также атрибуты модуля, операции и ограничения, которые накладываются на связи между объектами. На данной диаграмме не указывается информация о временных аспектах функционирования системы. Следует заметить, что диаграмма модулей может также содержать отдельные экземпляры, такие как объекты и связи. Модули подсистемы «Дисконтные карты»: Справочник Дисконтные карты, документ Заявка, Регистрационная анкета, обработка Дисконтные карты. Основные операции подсистемы «Предприятие»: Создать, Сохранить, Печать, Сформировать.

Подсистема Дисконтные карты.

Данная подсистема представляет полный учет использования системы лояльности в заведениях сети общественного питания.

Для работы с постоянной и условно постоянной информацией с некоторым множеством значений в системе используются объекты типа «Справочник». Механизм

поддержки справочников позволяет спроектировать и поддерживать самые различные справочники. На этапе конфигурирования можно описать, какими свойствами обладает каждый конкретный справочник. К настраиваемым свойствам относятся, например, длина и тип кода, количество уровней, поддержка уникальности кодов, набор реквизитов справочника.

Помимо кода и наименования, механизм работы со справочниками позволяет создавать набор реквизитов для хранения любой дополнительной информации об элементе справочника. Для реквизитов справочника возможно указание типа «Периодический» для отслеживания истории изменения значений реквизитов.

Для каждого справочника может быть задано несколько форм просмотра и редактирования. Справочник «Дисконтные карты» (рис. 3) предназначен для хранения информации о посетителях, получивших дисконтную карту.

Диаграмма вариантов использования.

Поведение системы (т.е. функциональность, которую она обеспечивает) описывают с помощью функциональной модели, которая отображает системные прецеденты (use cases, случаи использования), системное окружение (действующих лиц, актеров, actors) и связи между ними (use cases diagrams) [4].

Диаграмма вариантов использования (диаграмма прецедентов, use case diagram) – это диаграмма, на которой изображаются отношения между актерами и вариантами использования.

Основное назначение диаграммы:

- определяет пользователей и границы системы;
- определяет системный интерфейс;
- удобна для общения пользователей с разработчиками;
- используется для написания тестов;
- является основой для написания пользовательской документации;

– хорошо вписывается в любые методы проектирования (как объектно-ориентированные, так и структурные).

На диаграмме показаны два актера программы (кассир, администратор), а также варианты использования подсистемы.

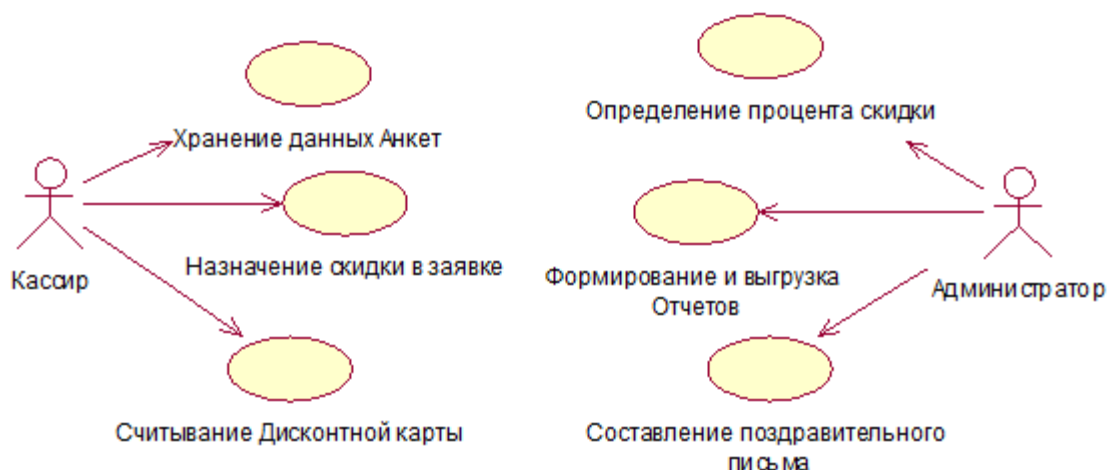


Рисунок 3 – Диаграмма вариантов использования подсистемы «Дисконтные карты»

Разработка структуры программного комплекса

Работа системы 1С:Предприятие в качестве OLE Automation сервера

Система 1С:Предприятие может быть запущена внешним приложением в качестве OLE Automation сервера и предоставляет доступ ко всем атрибутам и методам своего глобального контекста. Кроме того, OLE-сервер 1С:Предприятие имеет дополнительные методы, с помощью которых можно выполнить последовательность операторов или вычислить выражение, заданное на встроенном языке 1С:Предприятие.[8]

Для запуска системы 1С:Предприятие в качестве OLE Automation сервера из внешнего приложения, выполняется следующая последовательность действий:

1) создается объект с OLE идентификатором:

- VICEEnterprise.Application — версия независимый ключ;
- V77.Application — версия зависимый ключ;
- V77S.Application — версия зависимый ключ, SQL версия;
- V77L.Application – версия зависимый ключ, локальная версия;
- V77M.Application — версия зависимый ключ, сетевая версия.

2) выполняется инициализация системы 1С:Предприятие методом Initialize.

3) вызываются атрибуты и методы системы 1С:Предприятие как OLE Automation сервера

Поскольку программа 1С:Предприятие является одновременно OLE Automation сервером и OLE Automation клиентом, то возможно из 1С:Предприятие обращаться к другой копии 1С:Предприятие (например, к другой конфигурации) для обмена данными. В основном все современные программные продукты поддерживают механизм OLE Automation, это касается в частности MS Office, MS FoxPro и приложений на них написанных, DAO и т. п., поэтому программа 1С:Предприятие может полностью интегрироваться с ними (рис.4). Не локализованные версии внешних программ, обращающихся к программе 1С:Предприятие посредством OLE Automation, могут неправильно интерпретировать русские идентификаторы объектов агрегатных типов данных, например, реквизитов справочников. Данное замечание не относится к продуктам MS Office и к программам, использующим в качестве языка обращения к OLE объектам Microsoft Visual Basic. Рекомендуется использовать локализованные версии программных продуктов, либо в конфигурации использовать идентификаторы без символов кириллицы.



Рисунок 4 – Схема взаимодействия OLE Automation сервера с базой данных 1С:Предприятие

Для обращения к атрибутам и методам агрегатных типов данных системы 1С:Предприятие из внешних приложений рекомендуется использовать их англоязычные синонимы [5].

Все созданные объекты OLE Automation существуют до тех пор, пока существует переменная, которая содержит значение данного объекта. Следовательно, сама программа 1С:Предприятие, выступающая в качестве объекта OLE Automation в другой программе, будет находиться в памяти компьютера до удаления или изменения значения переменной, содержащей ее в качестве объекта.

В проекте определены требования к дополнительным модулям по накоплению и анализу обобщенной информации, рассмотрена технология связывания и внедрения объектов в другие документы и объекты (OLE), учитывая рекомендации авторов работ [6-10]. Описана работа системы 1С:Предприятие в качестве OLE Automation сервера, рассмотрены атрибуты и методы для работы с OLE Automation сервером.

Стратегия внедрения дисконтных карт должна быть тесно связана со стратегией предоставления услуг предприятия.

Самым важным фактором среди составляющих процесса организации, оснащения, функционирования и развития предприятия являются: тесное взаимодействие с бизнесом, связь с потребителем услуг, удовлетворение требований бизнеса и достижение целей.

Так как дисконтные системы является специфической и стремительно меняющейся областью деятельности, то к ним применяются организационные подходы, соответствующие их специфике.

Важным моментом является своевременный обмен информацией о держателях дисконтных карт между заведениями сети для предоставления услуг дисконтирования.

Заключение

Таким образом, в статье проведен анализ функционала в системе управления предприятием, выявлены особенности подсистемы учета для предприятия общественного питания, рассмотрены технологии разработки программного обеспечения для системы управления предприятием.

При разработке проекта построены диаграммы Вариантов использования, диаграмма модулей Информационной подсистемы «Дисконтные карты», которые позволяют рассматривать программный продукт с учетом заданных требований, проектировать и реализовывать программный комплекс с учетом выявленных особенностей. Также рассмотрена схема взаимодействия OLE Automation сервера с базой данных 1С: Предприятие для дальнейшего анализа и разработки процедур обмена данными между приложением.

Направлением дальнейших исследований является доработка подсистемы, которая заключается в создании обработки автоматического обмена информацией о дисконтных картах между базами данных сети заведений общественного питания используя технологию OLE.

Литература

1. Rzevski, G. Managing Complexity / G. Rzevski, P. Skobelev - WIT Press, 2014.
2. Li, W. Stability analysis of swarm with general topology // IEEE Trans. Syst. Man. Cybern. B, 2008. - Vol. 38, No. 4. - P. 1084–1097.
3. Tanner, H. G. Flocking in fixed and switching networks / H. G. Tanner, A. Jadbabaie, G. J. Pappas // IEEE Trans. Autom. Contr., 2007. - Vol. 52., No. 5. - P. 863–868.
4. Бендерская, Е. Н. Мультиагентный подход в вычислительных технологиях: новые грани параллелизма и суперкомпьютинг /

Е. Н. Бендерская, О. Н. Граничин, В. И. Кияев // Сборник научных статей 8-й Международной научной конференции «Информационные технологии в бизнесе». - СПб, издво «Инфо-да»: 7–13, 2013.

5. Beni, G. Swarm Intelligence / G. Beni, J. Wang // in Cellular Robotic Systems, Proceed. NATO Advanced Workshop on Robots and Biological Systems, Tuscany, Italy, 1989.- P. 26–30.

6. Huang, M. Stochastic approximation for consensus: a new approach via ergodic backward products // IEEE Transactions on Automatic Control, 2012. – No. 57(12). - 2994—3008.

7. Ивлев, В. А. ABC/ABM/ABV. Методы и системы / В. А. Ивлев, Т. В. Попова. - Москва: ИЛ, 2020. - 208 с.

8. Попов, С. Delphi и 1С:Предприятие. Программирование информационного обмена / С. Попов. - М.: БХВ-Петербург, 2020. - 819 с.

9. Бардаков, А. А. Внедрение двухзвенной архитектуры отдела закупок в рамках реинжиниринга бизнес-процессов организации / А. А. Бардаков, Д. А. Корнилов // Вестник самарского государственного экономического университета, 2019. – № 9 (179). – С. 49-57.

10. Особенности ведения бухгалтерского и налогового учета на малых предприятиях: (тезисы доклада научной конференции) / Российские регионы в фокусе перемен: Сборник докладов молодых ученых XIII Международной конференции. Екатеринбург, 2019. - С. 318-323.

Боднар А. В., Коломойцев В. А. Совершенствование автоматизированной системы учета деятельности предприятия на примере сети заведений общественного питания. В работе рассматривается возможность применения технологий программного модуля для подсистемы «Дисконтные карты» в конфигурации «1С.Предприятие. ИБЦКАФЕ». Реализовано предоставление удобного функционала, выявление преимуществ и создание базы данных клиентов. Построены необходимые диаграммы, рассмотрена схема взаимодействия OLE Automation сервера с базой данных 1С: Предприятие для дальнейшего анализа и разработки процедур обмена данными между приложением. Проведено сравнение результатов работы программы лояльности в структуре сети заведений общественного питания «Путеводная звезда».

Ключевые слова: дисконтные карты, информация, OLE Automation сервер, Oracle, Borland.

Bodnar A. V., Kolomoitsev V. A. Improving the automated system for accounting for the activities of an enterprise on the example of a network of catering establishments. The paper considers the possibility of using the technologies of the software module for the subsystem "Discount cards" in the configuration "1С.Company. IBTSKAFE". The provision of convenient functionality, the identification of advantages and the creation of a customer database has been implemented. The necessary diagrams are constructed, the scheme of interaction of the OLE Automation server with the 1С: Enterprise database is considered for further analysis and development of data exchange procedures between the application. A comparison of the results of the loyalty program in the structure of the network of public catering establishments "Guiding Star" was carried out.

Keywords: discount cards, information, OLE Automation server, Oracle, Borland.

Статья поступила в редакцию 21.11.2022
Рекомендуется к публикации профессором Мальчевой Р. В.

УДК 004.4'242

Обзор инструментов разработки диалоговых агентов с базами знаний

Л. О. Воробьёв, А. В. Григорьев

Донецкий национальный технический университет, г. Донецк

lev.vorobyov@rambler.ru, grigorievalv1@gmail.com

Аннотация

Обзор современного состояния разработок в области автоматизации программирования с помощью баз знаний на примере создания диалоговых агентов. Диалоговые агенты -- это программы для ЭВМ, которые общаются с пользователем на естественном языке. Проанализированы современные разработки в области синтеза диалоговых агентов, найдено несколько патентов посвящённых созданию программ с помощью баз знаний. Составлена таблица оценки найденных патентов и программ для ЭВМ. Результаты обзора позволят применить синтез программ с помощью баз знаний для создания диалоговых агентов.

Введение

Для предприятий в сфере услуг важным вопросом является увеличение количества клиентов и снижение затрат на их обслуживание. Поскольку расширение кадрового состава несёт дополнительные издержки, в крупных организациях применяют автоматизацию общения с клиентами с помощью ЭВМ. Диалоговые агенты -- это программа для ЭВМ, предназначенная для общения с пользователем на естественном языке [1]. Обычно для формирования ответов в диалоговых агентах применяют сценарии взаимодействия и логический вывод по базе знаний. Базы знаний --- это перечень высказываний на языке представления знаний, служащие для логического вывода высказываний, которых нет в базе [2].

Синтез диалоговых агентов -- это ещё один шаг в автоматизации работы крупных предприятий. Поскольку диалоговые системы ведут к снижению затрат на содержание персонала, занятого неквалифицированным трудом, увеличивает пропускную способность колл-центров, это обуславливает актуальность рассматриваемого вопроса.

Цель работы: сформировать обзор современного состояния разработок в области автоматизации разработки программного обеспечения (ПО) с помощью баз знаний (БЗ) на примере синтеза диалоговых агентов.

Для достижения этой цели были поставлены задачи:

1. сформировать перечень запросов для поиска патентов и ПО;
2. отобрать из поисковой выдачи результаты, относящиеся к сфере автоматизации разработки и тестирования ПО;
3. сформулировать критерии для оценки найденных решений;

4. оценить найденные решения по сформулированным критериям;

5. найти сильные и слабые стороны найденных решений, и пути их улучшения.

Научная новизна заключается в использовании баз знаний для синтеза диалоговых агентов, а не только в работе самого диалогового агента.

Исследование

Произведён поиск патентов и программ для ЭВМ для автоматизации разработки диалоговых агентов с базами знаний. Перечень составленных запросов и количество найденных результатов представлено в табл. 1.

Таблица 1 – Отчёт о поиске охранных документов

№	Запрос	Кол-во рез-тов
1	база знаний	1468
1.1	база знаний автоматизация	159
1.1.1	база знаний автоматизация программирования	5
1.1.2	база знаний автоматизация разработки	14
1.1.3	база знаний автоматизация тестирования	18
1.2	база знаний агентов	19

По данным запросам было найдено и отобрано 17 охранных документов, из которых 4 изобретения (патенты РФ № 2213365 С2, 2364930 С2, 2676405 С2, 2704533 С1), 1 база данных № 2021620931, 12 программ для ЭВМ, которые в той или иной степени соответствуют поставленным запросам. Названия найденных документов содержится в таблице 2.

Таблица 2 – Описание найденных охранных документов

№	Название	Правообладатель
1	Репозиторий для геномов интеллектуальных агентов [3]	ФГБНУ «ФНЦ «КБНЦ РАН»
2	Программа приобретения и пополнения знаний [4]	ФГАОУ «СПб ГУАП»
3	Дримтим [5]	ООО «Вертер»
4	Программная платформа дизайна диалоговых агентов (ассистентов) с использованием машинного обучения - Платформа W11 [6]	ООО «Экспасофт»
5	Платформа для создания голосовых помощников и чат-ботов SOVA Platform [7]	ООО «Виртуальные Ассистенты»
6	UDepartments [8]	ФГБОУ ВО «ВГУ»
7	Программа для автоматизации построения экспертных систем на основе динамически обновляемых баз знаний [9]	ФГАОУ ВО КФУ
8	ClearSQL [10]	ООО «Конквест Девелопмент Рус»
9	Способ распараллеливания программ в среде агентно-ориентированного программирования в вычислительной системе [11]	ОАО «Информационные технологии и коммуникационные системы»
10	Программная платформа дизайна диалоговых агентов (ассистентов) с использованием машинного обучения – фабрика диалоговых агентов [12]	ООО «Экспасофт»
11	Программная платформа CraftTalk версии 3.0 [13]	ООО «Крафт-Толк»
12	Анализатор баз знаний интеллектуальных систем на основе правил [14]	ФГБОУ ВО «СГТУ имени Гагарина Ю.А.»
13	Система автоматизированного тестирования схем нечёткого логического вывода [15]	Пеньков Ю.А.
14	Web-ориентированный редактор производственных правил [16]	ФГБУН ИДСТУ СО РАН
15	Способ генерации баз знаний для систем верификации программного обеспечения распределенных вычислительных комплексов и устройство для его реализации [17]	Пучков Ф.М., Шапченко К.А.
16	Система автоматизации [18]	Зергель Г., Хаймке Т., Грамцов О.
17	Способ автоматизированного проектирования производства и эксплуатации прикладного программного обеспечения и система для его осуществления [19]	ФГАОУ ВО «СПб ГУАП»

Для ранжирования полученных результатов применяются следующие критерии релевантности (латинскими буквами критерии обозначены для сокращения):

1. Соответствие выбранной тематике (51 балл)
 - a. Функциональное назначение: автоматизация программирования (21 балл)
 - i. Генерация программного кода (11 баллов) A
 - ii. Автоматическое тестирование программ (10 баллов) B
 - b. Удовлетворение конечных потребностей: создание агентов (30 баллов)
 - i. Создание интеллектуальных агентов (10 баллов) C
 - ii. Создание отдельных агентов (9 баллов) D
 - iii. Создание многоагентных систем (11 баллов) E
2. Функционирование баз знаний (52 балла)
 - a. Создание баз знаний (17 баллов)

- i. Автоматическая генерация баз знаний (9 баллов) F
- ii. Диалоговое решение для создания баз знаний (8 баллов) G
- b. Хранение баз знаний (13 баллов)
 - i. Оптимизация баз знаний (6 баллов) H
 - ii. Выборка из базы знаний (7 баллов) I
- c. Использование баз знаний (22 балла)
 - i. Для автоматизации программирования (9 баллов) J
 - ii. Для автоматизации тестирования (8 баллов) K
 - iii. Для других целей (5 баллов) L

Для анализа полученных результатов составлена матрица смежности (табл. 3). В предпоследнем столбце приведена сумма оценок, а в последнем — ранг в порядке убывания суммы оценок. В заголовках колонок таблицы содержатся сокращения критериев оценки в виде латинских букв (приведено в перечне критериев).

Таблица 3 – Оценка релевантности полученных результатов

№	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	Σ	Ранг
1	0	0	10	9	11	0	8	0	7	9	0	0	54	2
2	0	0	0	0	0	9	8	6	0	0	0	0	23	10
3	11	0	0	9	0	0	8	0	0	0	0	5	33	8
4	11	10	10	9	0	0	0	0	0	0	0	0	40	6
5	11	0	10	9	0	0	8	0	7	0	0	5	50	3
6	0	0	0	0	0	9	0	6	0	0	0	5	20	11
7	11	0	0	0	0	9	8	0	7	9	0	5	49	4
8	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	15
9	0	0	0	0	11	9	0	0	0	0	0	0	20	11
10	11	0	10	9	0	0	0	0	0	0	0	0	30	9
11	11	0	10	9	11	9	0	0	0	0	0	5	55	1
12	0	10	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	16	14
13	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	6	16
14	11	0	0	0	0	0	8	0	0	0	0	0	19	13
15	0	10	0	0	0	9	8	0	0	9	8	0	44	5
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	5	17
17	11	0	0	0	0	9	0	0	7	9	0	0	36	7

Соотношение полученных результатов поиска и исходно поставленным запросам представлена в виде диаграммы Венна (рис. 1).

Закруглённые прямоугольники на рис. 1 обозначают множества результатов поиска по заданному запросу.

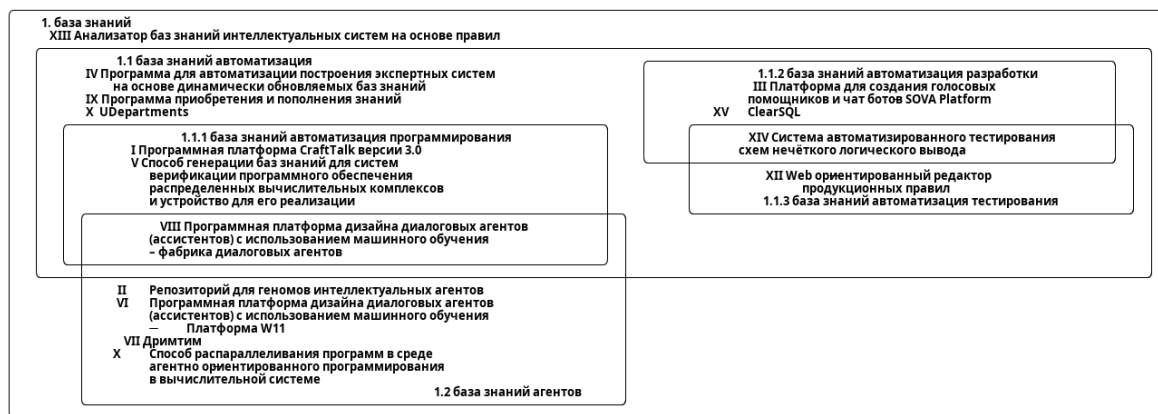


Рисунок 1 – Диаграмма Венна для результатов поиска

Как видно из рисунка 1, наиболее релевантные результаты не обязательно соответствуют самому длинному запросу. Поэтому поиск целесообразно проводить небольшими итерациями, постепенно добавляя в запрос новые ключевые слова.

Программные платформы для разработки и синтеза диалоговых агентов

Наиболее релевантной оказалась программная платформа CraftTalk версии 3.0 [13], разработка одноимённой фирмы, которая на данный момент уже выпустила новую версию этой программы. Отличительной особенностью программной платформы является то, что она позволяет создавать чат-боты без программирования (критерий A,D), обучать их (критерий C), подключать

встроенных и внешних чат-ботов (критерий E), накапливает знания (критерий F) и использует базы знаний «для работы бота и оператора» (критерий L). Стоимость системы диалоговой облачной версии для малого и среднего бизнеса составляет 5000 руб в месяц со скидкой, и 7500 руб одновременно за установку [20] (имеет микросервисную архитектуру).

Второй по релевантности оказался репозиторий геномов интеллектуальных агентов [3], разработанный в 2021 году в КБНЦ РАН. Данный репозиторий использует документ-ориентированную СУБД MongoDB для «хранения баз знаний интеллектуальных агентов» (критерий C, D), «входящих в состав мультиагентной когнитивной архитектуры» (критерий E). Позволяет редактировать базы знаний (критерий G), «проводить поиск по базам знаний» (критерий I), и «предоставляет

интерфейс для интеграции в САПР мультиагентных когнитивных архитектур», что позволяет использовать данную базу данных «для конструирования и моделирования функциональных систем на основе мультиагентных когнитивных архитектур» (критерий J).

Учёные из КФУ успешно применили базы знаний для автоматизации построения экспертных систем [9]. Разработанная на языке Prolog интегрированная среда разработки позволяет создавать экспертные системы для медицины и образования. База знаний построенная на основе реляционной СУБД обеспечивает работу интегрированной среды разработки экспертных систем [21]. База знаний наполняется фактами и правилами посредством пользовательского интерфейса [21]. Следует отметить подверженность создаваемых прототипов экспертных систем XSS атакам (стр. 10 автореферата), поскольку правила из СУБД напрямую транслируются и вставляются в HTML текст ответа сервера, что приводит к возможности исполнения вредоносного кода на стороне клиента.

Платформа для разработки диалоговых агентов SOVA Platform [7] также позволяет создавать интеллектуальных диалоговых агентов без ввода кода (критерий A, C, D). SOVA IDE предоставляет пользовательский интерфейс для наполнения базы знания (критерий G) диалогового агента. Диалоговой процессор SOVA использует эту базу знаний для «формирования ответов на текстовые запросы пользователей» (критерий L) путём бинарного поиска по скомпилированной базе знаний (критерий I). SOVA представляет собой облачную платформу с тарификацией по мере использования.

Платформа W11 [6] позволяет создавать диалоговых агентов (критерий C, D) и вводить сценарий их работы посредством графического веб-интерфейса, генерировать код виджета для вставки на сайт (критерий A), тестировать диалоговых агентов (критерий B). Предыдущая версия платформы — фабрика диалоговых агентов [12] позволяла создавать диалоговых агентов (критерий C, D) в режиме визуального редактирования алгоритмов их работы (критерий A).

Программа Дримтим [5] «предназначена для визуального создания текстовых диалоговых агентов» (критерий A, D). Также программа позволяет редактировать базы знаний большого объёма (критерий G), которые хранят правила коммуникации с пользователями (критерий L).

В целом, существующие платформы разработки диалоговых агентов предоставляют достаточно удобный интерфейс для наполнения

базы знаний диалогового агента для формирования ответов пользователя на естественном языке. Существуют даже базы знаний для формирования экспертных систем [9], которые можно взять за основу для создания экспертной системы по формированию диалоговых агентов.

Программы для работы с базами знаний продукционного типа

Программа UDepartments [8] из ВГУ позволяет накапливать (критерий F) и оптимизировать (критерий H) знания для автоматизации деятельности кафедры ВУЗа (критерий L).

Редактор продукционных правил [16] предоставляет интерфейс для «визуального конструирования правил» (критерий G), генерирует код базы знаний на языках Jess и Clips (критерий A).

Анализатор баз знаний продукционного типа [14] выявляет структурные ошибки в И/ИЛИ графах продукционных баз знаний (критерий B), и предлагает способы их устранения (критерий H).

Тестирование схем нечёткого логического вывода [15] предполагает оптимизацию восходящего логического вывода «при различных способах фаззификации/дефаззификации» (критерий H).

ClearSQL [10] предназначен для тестирования кода на языке PL/SQL (критерий B). Язык PL/SQL может быть использован для автоматического сбора данных в базе знаний (Data Mining).

Вышеперечисленные программы позволяют генерировать, редактировать, тестировать и оптимизировать базы знаний продукционного типа, что может быть полезно при разработке экспертной системы генерации диалоговых агентов.

Патенты в области разработки программ с помощью баз знаний

Патент РФ №2364930 С2 [17] описывает способ генерации баз знаний для систем верификации (критерий B) распределённых программ. Участки и точки уязвимостей из текста программы сначала преобразуются во внутреннее представление и помещаются в базу знаний (критерий F, G). Затем эта база знаний используется для синтаксической подсветки на экране участков уязвимости в других программах (критерий J, K) «используя граф операторов исходного кода ПО».

Патент РФ № 2676405 С2 [19] описывает изобретение, автоматизирующее производство и эксплуатацию программного обеспечения для мониторинга и управления (критерий A). Для

создания ПО сначала знания об объекте мониторинга накапливаются в базу знаний (критерий F), а затем создаётся исполняемый модуль ПО путём преобразования полученной базы знаний (критерий I, J). Программа приобретения и пополнения знаний [4], разработанная тоже в «ФГАОУ ВО СПб ГУАП», автоматизирует наполнение базы знаний экспертом (критерий F, G) и адаптирует полученную базу знаний (критерий H) «к условиям её функционирования к конкретной предметной области».

Патент РФ № 2704533 С1 [11] описывает способ распараллеливания интеллектуального анализа данных для генерации баз знаний (критерий F) путём конвейерной преобразования исходных данных в модели знаний в виде дерева решений с помощью цепочки программных агентов (критерий E), реализующих отдельные шаги алгоритма анализа.

Патент РФ № 2213365 С2 [18] описывает изобретение, которое применяет базы знаний для автоматизации производства основных материалов (критерий L).

Таким образом, известны способы генерации баз знаний, а также применения их для автоматизации разработки, тестирования ПО, и в промышленности. Патент РФ № 2676405 С2 можно взять за основу для реализации системы синтеза диалоговых агентов с помощью баз знаний.

Нейросетевые инструменты синтеза программ

Кроме того, существуют системы, использующие рекуррентные нейросети с памятью терминов (long-short term memory) для перевода описания программы непосредственно в программный код [22]. Используя их система GitHub Copilot позволяет «отгадывать» намерения программиста и с вероятностью около 24% генерирует правильный код. Но эта система использует примеры исходного кода из открытых источников, и не синтезирует новые алгоритмы.

Выводы

В процессе обзора было выяснено, что наиболее релевантные результаты поиска не всегда находятся в поисковой выдаче по самому длинному поисковому запросу в системе поиска научных публикаций РИНЦ.

Рассмотрены такие платформы для разработки диалоговых агентов, как CraftTalk, платформа W11, SOVA Platform, Дримтим. Сходства между ними состоят в том, что они предоставляют интерфейс для визуального

редактирования логики работы диалогового агента. Различия состоят в:

- технологиях реализации диалоговых агентов, что влияет на их функциональные возможности, например произнесение ответов вслух (есть в SOVA Platform), автоматическое обучение агентов (нету только в Дримтим);
- возможности тестировать работу диалоговых агентов (есть у платформы W11);
- возможность взаимодействия с другими диалоговыми агентами (есть в CraftTalk);
- наличие визуального редактора базы знаний (есть в Дримтим и SOVA Platform).

Предложено создать экспертную систему с базой знаний для синтеза диалоговых агентов, которая позволит создавать обучаемых диалоговых агентов, взаимодействующих между собой (систему диалоговых агентов) для произвольного назначения.

Перечислены программы для редактирования и верификации баз знаний производственного типа, которые могут быть полезны при создании экспертной системы разработки диалоговых агентов.

Получено общее представление о существующих патентах, которые описывают способы автоматизации разработки и тестирования ПО с помощью баз знаний.

Рассмотрена и протестирована системы автоматического дополнения программного кода, которая синтезирует решения исходя их существующих примеров находящихся в открытом доступе, используя нейронные сети.

В дальнейшем планируется оценить возможность использования баз знаний не только для формирования ответов в диалоговых агентах, но и для синтеза самих агентов по техническому заданию.

Литература

1. Римовна Б. Д. Нейросетевые модели и диалоговая система для ведения разговора на общие темы // дисс. на соискание уч. степени к.т.н., ФГАОУ ВО МФТИ, 2021.
2. С. Рассел, П. Норвиг, Искусственный интеллект: современный подход, 2-е изд. – М. Издательский дом «Вильямс», 2007 – 1408 с.
3. Нагоев З. В., Сундуков З. А., Нагоева О. В., Пшенокова И. А., Канкулов С. А. Репозиторий для геномов интеллектуальных агентов // May 06, 2021.
4. Рабин А. В., Дзюбаненко А. А. Программа приобретения и пополнения знаний // Oct. 14, 2021.
5. Тертычный И. С. Дримтим // Nov. 08, 2021.
6. ООО «Экспасофт» Программная платформа дизайна диалоговых агентов (ассистентов) с использованием машинного обучения - Платформа W11 // Nov. 15, 2021.

7. Аргунов А. В., Ашманов С. И., Зоркий Ф. К., Зубарев Е. С., Сухачев П. С. Платформа для создания голосовых помощников и чат-ботов SOVA Platform // Dec. 27, 2021.
8. Махортов С. Д. UDepartments // Nov. 23, 2020.
9. Бурнашев Р. А., Еникеев А. И., Курасов И. С. Программа для автоматизации построения экспертных систем на основе динамически обновляемых баз знаний // Jul. 03, 2019.
10. Крылов А. В. ClearSQL // Jul. 18, 2019.
11. Малов А. В. Способ распараллеливания программ в среде агентно-ориентированного программирования в вычислительной системе // Oct. 29, 2019.
12. ООО «Экспасофт» Программная платформа дизайнера диалоговых агентов (ассистентов) с использованием машинного обучения – фабрика диалоговых агентов // Oct. 29, 2019.
13. ООО «Крафт-Толк» Программная платформа CraftTalk версии 3.0 // Nov. 06, 2019.
14. Сучкова Н. К., Долинина О. Н. Анализатор баз знаний интеллектуальных систем на основе правил // Feb. 16, 2018.
15. Пеньков Ю. А. Система автоматизированного тестирования схем нечёткого логического вывода // Jul. 29, 2016.
16. Павлов А. И., Николайчук О. А., Столбов А. Б. Web-ориентированный редактор производственных правил // Dec. 13, 2016.
17. Пучков Ф. М., Шапченко К. А. Способ генерации баз знаний для систем верификации программного обеспечения распределенных вычислительных комплексов и устройство для его реализации // Aug. 20, 2009.
18. Г. Зергель, Т. Хаймке, О. Грамцов Система автоматизации // Sep. 27, 2003.
19. Способ автоматизированного проектирования производства и эксплуатации прикладного программного обеспечения и система для его осуществления / Заозенский С.А. [и др] // 28.12.2018.
20. CraftTalk - цены. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://crafttalk.ru/price> (дата обращения – 11 февраля 2022 г.).
21. Бурнашев Р. А. Программные инструменты для автоматизации построения экспертных систем на основе динамически обновляемых баз знаний // диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук по ВАК РФ 05.13.11, ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», 2020.
22. N. Jaitly, Le Q. V., O. Vinyals, I. Sutskever, D. Sussillo, S. Bengio An online sequence-to-sequence model using partial conditioning // Advances in Neural Information Processing Systems, Том 29, 2016. – С. 5067–5075.

Воробьёв Л.О., Григорьев А.В. Обзор инструментов разработки диалоговых агентов с базами знаний Обзор современного состояния разработок в области автоматизации программирования с помощью баз знаний на примере создания диалоговых агентов. Диалоговые агенты -- это программы для ЭВМ, которые общаются с пользователем на естественном языке. Проанализированы современные разработки в области синтеза диалоговых агентов, найдено несколько патентов посвящённых созданию программ с помощью баз знаний. Составлена таблица оценки найденных патентов и программ для ЭВМ. Результаты обзора позволят применить синтез программ с помощью баз знаний для создания диалоговых агентов.

Ключевые слова: патент, платформа, база знаний, диалоговый агент, автоматизация.

Vorobyov L.O., Grigoriev A.V. Overview of tools for developing dialog agents with knowledge bases Review of the current state of developments in the field of programming automation using knowledge bases on the example of creating dialog agents. Dialog agents are computer programs that communicate with the user in natural language. Modern developments in the field of synthesis of dialog agents are analyzed, several patents dedicated to the creation of programs using knowledge bases are found. A table of evaluation of found patents and computer programs has been compiled. The results of the review will allow you to apply the synthesis of programs using knowledge bases to create dialog agents.

Keywords: patent, platform, knowledge base, agent, automation.

Статья поступила в редакцию 26.11.2022
Рекомендуется к публикации профессором Зори С. А.

Алгоритмическое обеспечение СППР оптимального планирования производственно-логистической деятельности предприятия

Т. Г. Дмитрюк

ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк

tnauka@lenta.ru

Аннотация

В статье осуществлена разработка структурной модели системы оптимального планирования СППР и на её основе — алгоритмов, позволяющих определять оптимальные значения корректировок показателей производственной и логистической деятельности предприятия. Разработанная функциональная структура системы управления производственно-логистической деятельностью ООО «Донецкий пивоваренный завод», согласно методике структурного синтеза, представляет собой составную часть технического проекта на создание СППР предприятия и может быть использована при создании системы управления предприятиями аналогичной структуры.

Введение

Приоритетной задачей управления современным предприятием, осуществляющим производственную и торговую деятельность, является повышение эффективности функционирования его логистической системы за счёт движения сырья (и вспомогательных материалов) и произведенной продукции. В потреблении ресурсов предприятия, как одного из объектов множества промышленных предприятий третьего уровня производственной иерархии, руководствуются объемами продукции, заказываемой через дистрибьютора потребителями. Применение алгоритма системы поддержки принятия решений (СППР) при планировании производства и логистики распределения продукции ведёт к сокращению ненормативных объёмов складированных запасов, что позволяет избежать дефицита оборотных средств при полном удовлетворении заказов на продукцию.

Постановка проблемы. В связи с тем, что для планирования хозяйственно-экономической деятельности торгово-промышленного предприятия третьего уровня производственной иерархии требуется использование информационного обеспечения СППР оптимального управления предприятием, адаптированного к решению конкретных производственных задач и учитывающего специфику исследуемой предметной области, существует объективная необходимость разработки технического проекта на создание и внедрение указанного выше информационного обеспечения. Разработка функциональной структуры СППР, как базовой компоненты технического проекта, позволит повысить эффективность управления производством и движением сырья и продукции в логистической

системе предприятия.

Цель исследования – выполнить разработку функциональной структуры (как части информационного обеспечения) СППР оптимального планирования производственно-логистической деятельности предприятия.

Постановка задачи исследования

В связи с изложенной проблемой и поставленной целью исследования, в настоящей работе представляется возможным поставить и решить следующую **задачу**: выполнить разработку алгоритмического обеспечения СППР для задач расчёта оптимальных плановых значений деятельности предприятия, используемых для принятия решений при осуществлении его производственной и логистической деятельности, как основы информационного обеспечения декомпозированной СППР.

Основное содержание и результаты работы

Согласно обобщённым сведениям результатов системного анализа управления производственно-логистическими процессами на торгово-промышленном предприятии, а именно:

– полученным в работах [1-4] аналитическим и логико-формальным моделям (разработанным на основе положений методик разработки математических моделей в системах управления производствами и технологическими процессами [5, 6]), характеризующим системные связи между заказчиками, производителем и потребителями, с учётом особенностей технико-экономических характеристик деятельности предприятия;

– поставленной и формализованной задаче

определения оптимальных решений при планировании производственно-логистической деятельности предприятия [7, 8, 9]; в соответствии с методикой проведения структурного синтеза представляется возможным графически формализовать структурные модели представления системы управления бизнес-процессами на предприятии [10]. Такие модели регламентируют деятельность исследуемого объекта управления посредством

инструментария программного обеспечения «Ramus Educational 1.1.1» [11] в соответствии с правилами синтаксиса методологии IDEF0. Укрупнённая структурная модель системного представления этапов разработки СППР оптимального управления процессами предприятия на примере ООО «Донецкий пивоваренный завод» (ООО «ДПЗ») представлена на рис. 1.

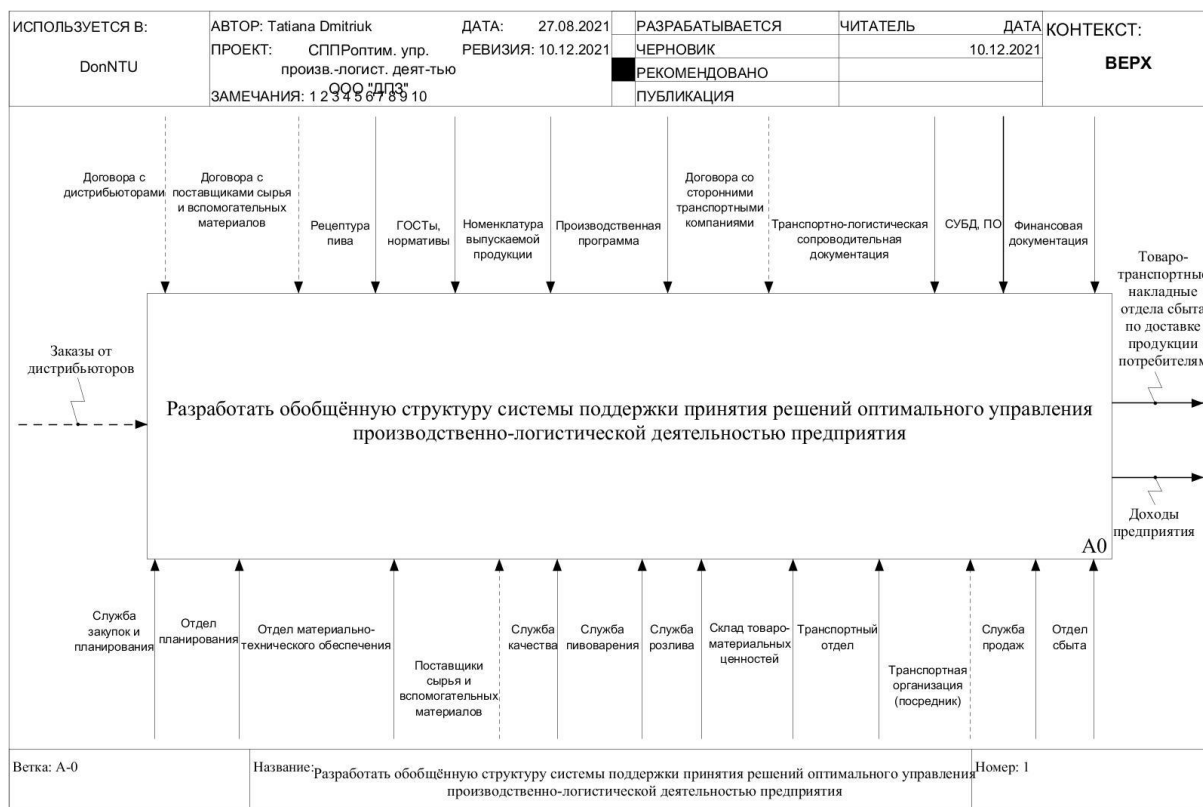


Рисунок 1 — Структура прикладных системных исследований и закономерностей функционирования объектов управления третьего уровня производственной иерархии

Представленная диаграмма отражает типичную схему взаимодействия торгово-промышленного предприятия, занимающегося производством и распределением продукции, с контрагентами (дистрибьюторами, поставщиками сырья и вспомогательных материалов, транспортными компаниями) и потребителями. Основная экономическая деятельность предприятий данного класса осуществляется в тесном сотрудничестве с дистрибьюторами, представляющими на рынке продукцию производителя и занимающимися распространением продукции по ценам производителя.

Согласно договорам дистрибьюторы ежемесячно согласовывают и оплачивают заказы на производство продукции в объёмах, соответствующих планируемым объёмам потребления, и осуществляют оптовую закупку готовой к сбыту продукции. Таким образом, все

механизмы взаимодействий в схеме отображены следующими элементами: функциональный блок исследуемого процесса, вход системы управления процессом, управляющие (преобразующие) воздействия, механизмы, выходы системы. Так как функциональная диаграмма является составной частью технического проекта, в том числе при проведении опытно-промышленных испытаний, то в дальнейшем для удобства восприятия на рисунках будут отображены только непосредственно схемы диаграмм без текста проектов.

Системный анализ задач оптимального планирования хозяйственно-экономической деятельности предприятия позволил выделить и формализовать оптимизационные подзадачи планирования производства и логистики. Принципы функционирования объекта управления (представленные на рис. 1) дают

возможность декомпозировать обобщённую модель на блоки решения задач четырёх этапов и блоки принятия оптимальных решений.

Развёрнутая структурная модель этапов декомпозиции задач представлена функциональной диаграммой (рис. 2).

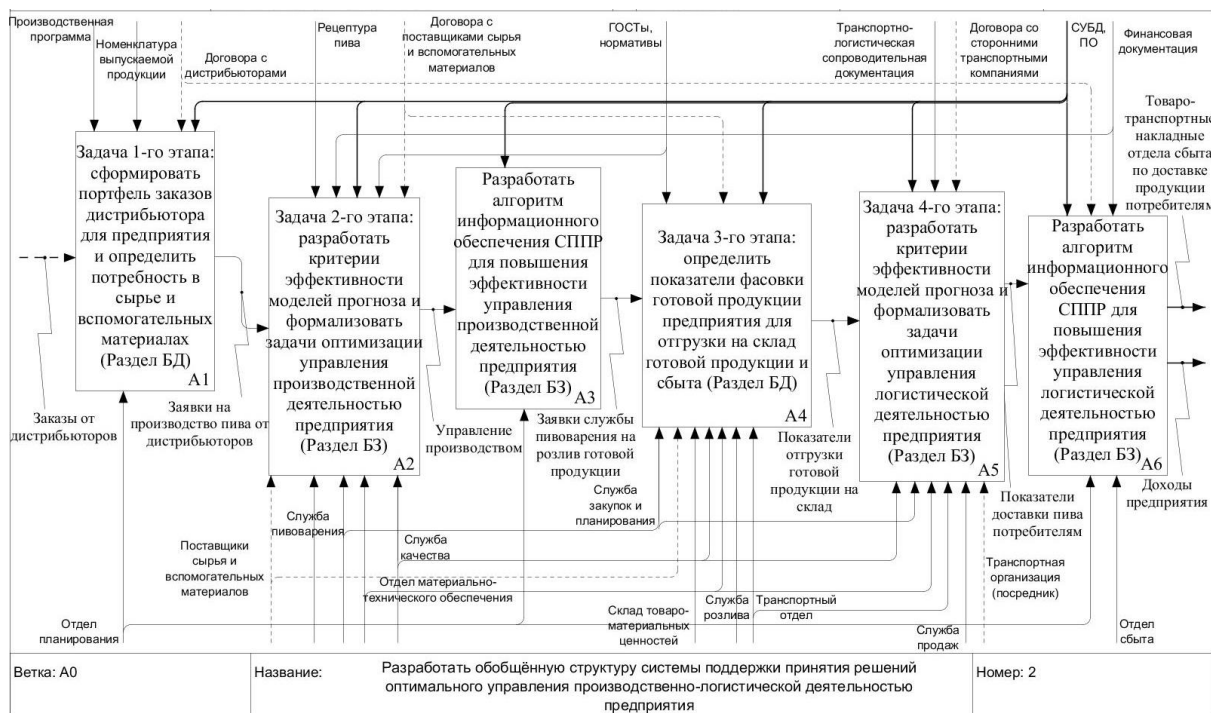


Рисунок 2 — Разработка структурной модели решения декомпозированных оптимизационных задач планирования

Диаграмма включает в себя следующие блоки:

– **A1**: согласно методике системного анализа в решении задачи 1-го этапа на предприятии предполагается обработка информации по формированию портфеля заказов дистрибьюторов на производство продукции (в котором заказы сгруппированы по сортам продукции и детализированы по позициям номенклатуры), оформлению договоров для формирования производственной программы и их согласование с отделом планирования. В соответствии с объёмами производства продукции обсуждается потребность в сырье и упаковочно-укупорочных материалах.

– **A2**: из блока A1 на вход поступают заявки от дистрибьюторов на производство продукции. Решение задачи 2-го этапа сводится к разработке критериев эффективности моделей прогноза, выполняется постановка и формализация оптимизационной задачи управления производственной деятельностью предприятия. В данном блоке определяется, какой объём продукции каждого вида необходимо произвести и какие для этого будут затрачены ресурсы, а также какой доход получит предприятие в результате выполнения производственной программы. Разработанное специальное математическое обеспечение прогнозирования выпуска продукции позволяет

осуществить планирование и/или перепланирование объёмов производства на будущий период квантования (месяц).

– **A3**: менеджеры отдела планирования принимают оптимальные решения для эффективного управления доходами от производственной деятельности предприятия по разработанному алгоритму и функционалу цели, представленному формулой (1):

$$J_1^1 = f_j \left(\sum_{j=1}^5 D(\Pi_j) \right) \rightarrow \max_{D(\Pi_j)}, \quad (1)$$

где J_1^1 — функционал цели задачи оптимального планирования производственной программы предприятия; $D(\Pi_j)$ — доход от производства укрупнённых видов продукции Π_j .

На базе информационного обеспечения СППР с учётом адаптивной подстройки параметров моделей предлагаются на выбор ЛПР альтернативные решения. После принятия решений и обработки соответствующей информации службой пивоварения передаются заявки на фасовку готовой продукции.

– **A4**: решение задачи 3-го этапа заключается в определении объёмов и осуществлении фасовки произведённой

продукции в подготовленную тару для отгрузки на склад готовой продукции с целью дальнейшего её сбыта. В данном блоке также посредством разработанного специального математического обеспечения может быть составлен прогноз фасовки на будущий период квантования (месяц). Это позволит определить обеспеченность производственных линий соответствующими материалами и своевременно осуществлять контроль и управление запасами сырья, материалов и готовой продукции на складе товаро-материальных ценностей.

– **A5**: после фасовки и складирования готовой продукции от службы продаж в транспортный отдел поступают заявки на погрузку фасованной продукции. Решение задачи 4-го этапа сводится к разработке критериев эффективности моделей прогноза, выполняется постановка и формализация оптимизационной задачи управления логистической деятельностью предприятия. В данном блоке подразумевается выполнение обязательств предприятия перед дистрибьюторами по обслуживанию конечных потребителей, а именно доставки продукции собственными и наёмными транспортными средствами (согласно их техническим характеристикам) по определённым маршрутам в точки сбыта. Служба логистики может использовать разработанное специальное математическое обеспечение при планировании и/или перепланировании грузоперевозок предприятия на будущий период квантования

(месяц).

– **A6**: менеджеры транспортного отдела и службы продаж принимают оптимальные решения для эффективного управления доходами предприятия от логистических операций по разработанному алгоритму и функционалу цели, представленному формулой (2):

$$J_1^2 = f_k^* \left(\sum_{k=1}^{15} f_k(V_k, M_k) \right) \rightarrow \max_{V_k, M_k}, \quad (2)$$

где J_1^2 — функционал цели задачи оптимального планирования программы доставки грузов предприятия; V_k — общий объём доставки всех видов продукции по каждому из составленных маршрутов $M_k, k = \overline{1,15}$.

На базе информационного обеспечения СППР с учётом адаптивной подстройки параметров моделей предлагаются на выбор ЛПР альтернативные решения. Отделом сбыта принимаются решения и выполняется обработка информации при формировании базы товарно-транспортных накладных по доставке продукции потребителям. Эффективность управления производственно-логистической системой предприятия оценивается величиной его совокупного дохода.

Элементы структурной модели задачи 1-го этапа планирования представлены на рис. 3.

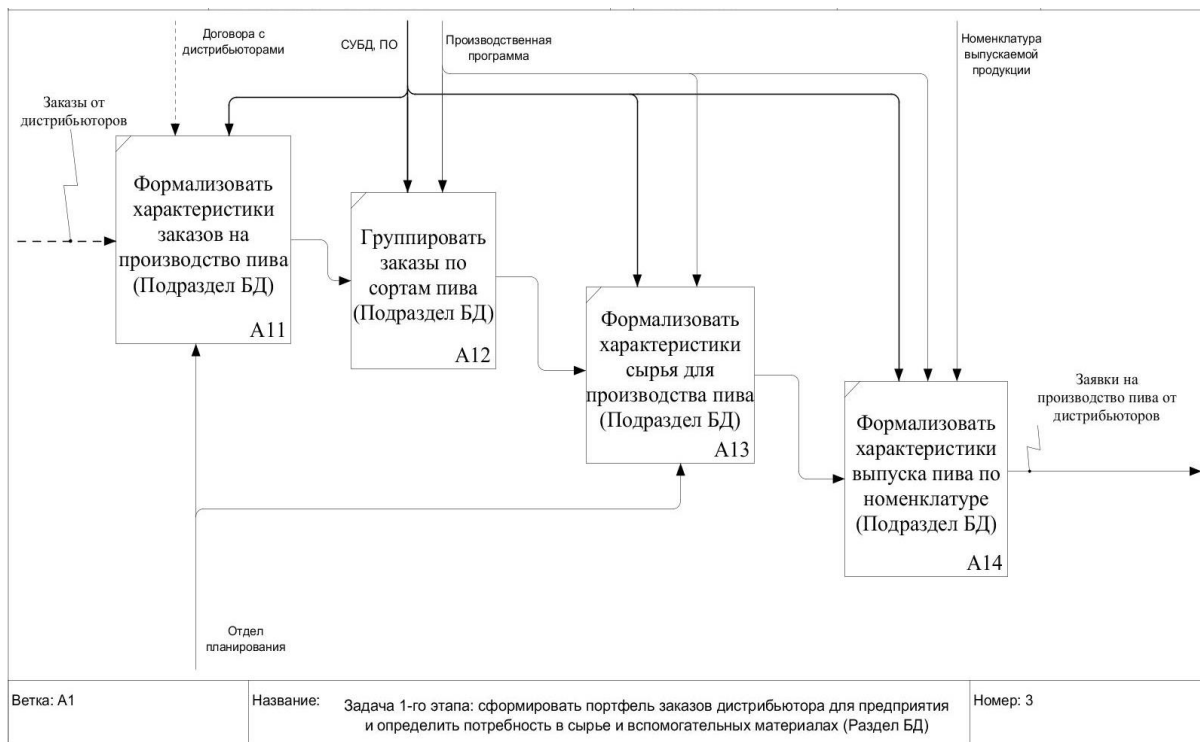


Рисунок 3 — Структурная модель решения задачи 1-го этапа планирования

Диаграмма включает в себя следующую последовательность блоков:

- **A11**: формализовать характеристики заказов Or_j^p на производство продукции.
- **A12**: группировать заказы по видам продукции P_j .
- **A13**: формализовать характеристики сырья для производства продукции.
- **A14**: формализовать характеристики выпуска продукции по номенклатуре.

Выполнение процессов алгоритма модели блока A1 производится после того, как на предприятие поступают заказы на выпуск продукции от дистрибьютора. Результатом исполнения алгоритма являются сформированные отделом планирования заявки на производство продукции от дистрибьюторов.

Элементы структурной модели задачи 2-го этапа планирования представлены на рис. 4.

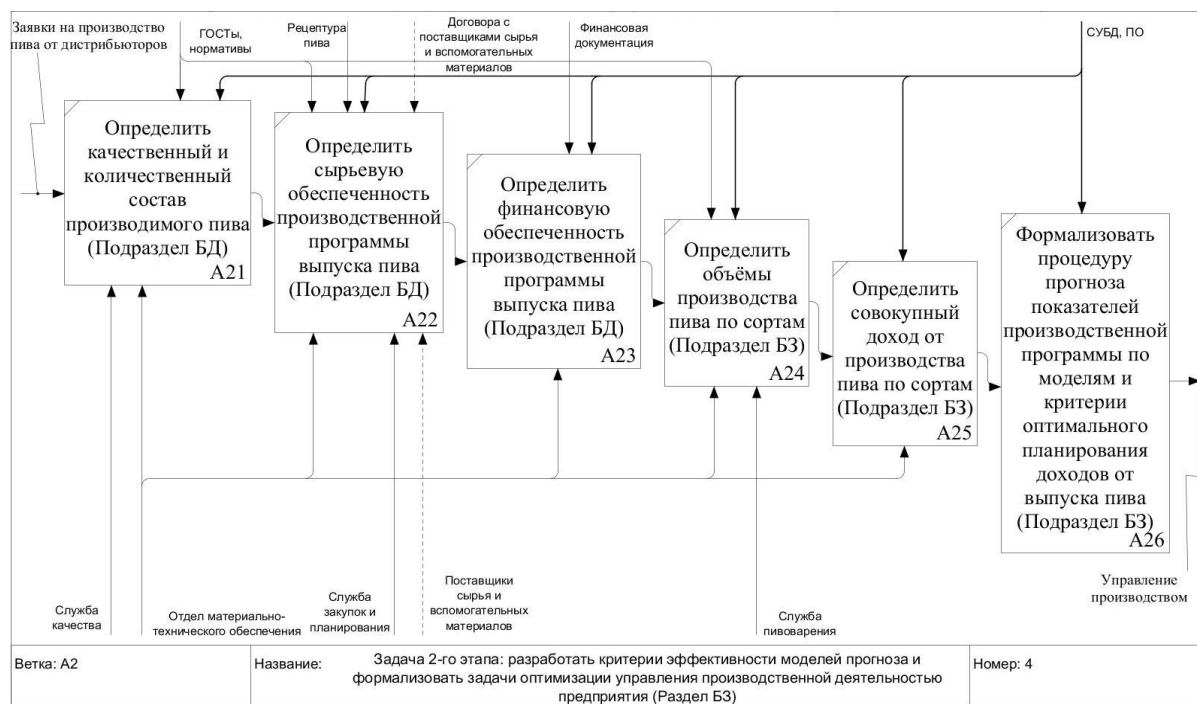


Рисунок 4 — Структурная модель решения задачи 2-го этапа планирования

Диаграмма включает в себя следующую последовательность блоков:

- **A21**: определить качественный и количественный состав производимой продукции.
- **A22**: определить сырьевую обеспеченность производственной программы выпуска продукции.
- **A23**: определить финансовую обеспеченность производственной программы выпуска продукции.
- **A24**: определить объёмы производства продукции $V(P_j)$ на основании расчётов объёмов произведенной продукции каждого вида j , которое будет расфасовано в тару объёма i .
- **A25**: определить совокупный доход Dp_j от производства продукции по видам, рассчитываемый как сумма произведений цен договорной закупки C_j^i производимой продукции вида j , фасованной в тару i , и объёмов готовой продукции каждого из видов X_j^i номенклатуры предприятия.

- **A26**: формализовать процедуру прогноза показателей производственной программы по моделям в соответствии с функционалом цели J_1^1 и соответствующими критериями максимизации доходов от выпуска продукции.

Принятие управленческого решения по алгоритму модели блока A2 производится в блоке A3 в соответствии со сформулированными заявками на выпуск продукции от дистрибьютора. В результате исполнения алгоритма системой управления производственным процессом на предприятии в блоке A3 принимаются оптимальные для блока A26 решения. Совокупность взаимосвязанных элементов структурных моделей A1, A2 и методы идентификации систем управления на основе ретроспективной и текущей информации позволяют разработать алгоритм информационного обеспечения СППР для повышения эффективности управления производственной деятельностью предприятия (представлен схематично на рис. 5).

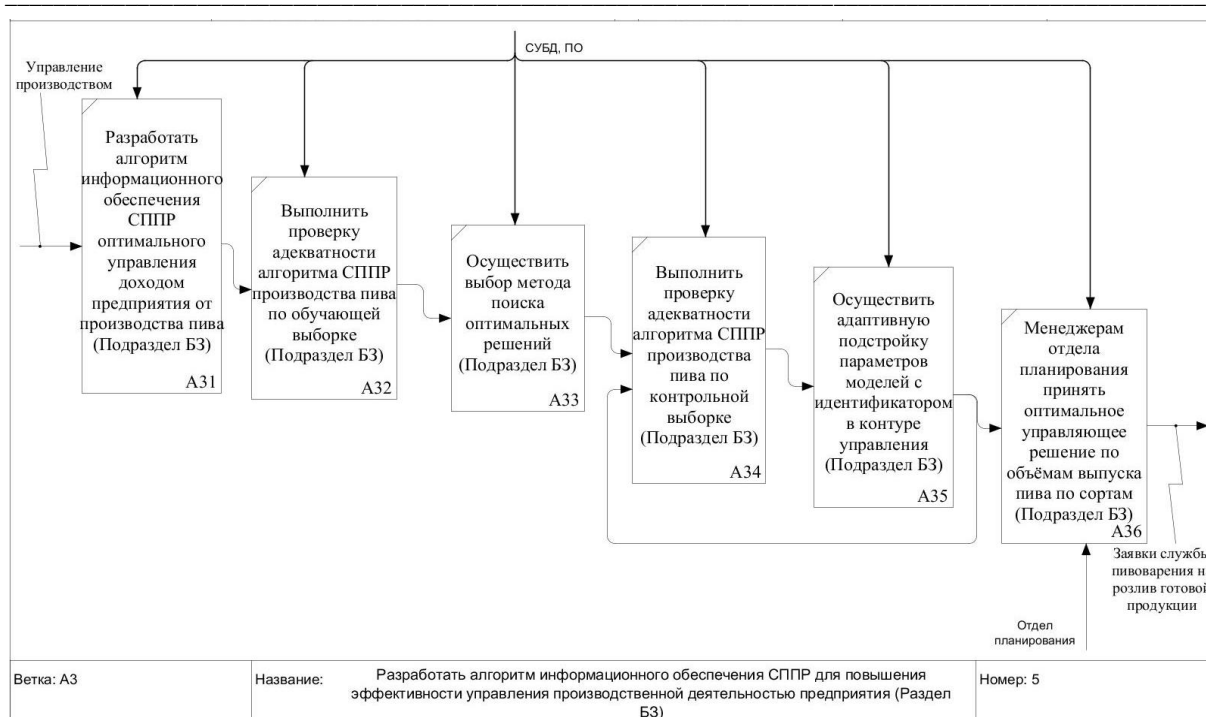


Рисунок 5 — Структурная модель СППР оптимального управления производственной деятельностью

Диаграмма включает в себя решение следующих блоков подзадач:

– **A31**: разработать алгоритм информационного обеспечения СППР оптимального управления доходом предприятия от производства пива.

– **A32**: выполнить проверку адекватности алгоритма СППР производства пива по обучающей выборке, в результате которой оценка моделей по дисперсии остаточной масштабированной не должна превышать 5%.

– **A33**: осуществить выбор метода поиска оптимальных решений и рассчитать по моделям прогнозные показатели доходов предприятия от производства продукции.

– **A34**: выполнить проверку адекватности алгоритма СППР производства пива по контрольной выборке, в результате которой оценка моделей по дисперсии остаточной масштабированной также не должна превышать 5%.

– **A35**: осуществить адаптивную подстройку параметров моделей с идентификатором в контуре управления. Производственный процесс и осуществляемое менеджерами управляющее воздействие в совокупности представляют собой замкнутую систему с обратной связью, т.е. систему, в которой аппарат управления получает информацию о состоянии процесса по каналу обратной связи.

Таким образом, подзадачи блоков A34 и A35 представляют собой некую систему с идентификатором в контуре управления, в котором (в зависимости от возмущений во

внешней среде: сезонность спроса, изменение ценовой политики и пр.) осуществляется подстройка параметров моделей. Поэтому при необходимости следует повторно перейти к выполнению подзадач блоков A34 и A35.

– **A36**: менеджерам отдела планирования принять оптимальное управляющее решение по объемам выпуска продукции по видам на следующий период квантования (месяц).

После исполнения блока A36 предприятие осуществляет выполнение производственной программы выпуска продукции в требуемых объемах. Службой пивоварения, в соответствии с объемами производимой продукции, передаются заявки на фасовку готовой продукции, укупорку и упаковку. Элементы структурной модели задачи 3-го этапа планирования представлены на рис. 6. Диаграмма включает в себя следующую последовательность блоков:

– **A41**: определить количественные характеристики произведенной продукции.

– **A42**: определить обеспеченность укупорочными и упаковочными материалами для фасовки готовой продукции.

– **A43**: формализовать процедуру прогноза показателей фасовки продукции Y_q^i по моделям, т.е. определения необходимого количества тары для фасовки продукции наименования q в тару i -й емкости.

– **A44**: определить объемы фасовки продукции по видам тары T^i на основании расчетов количества требуемой для фасовки продукции наименования q тары объемом i .

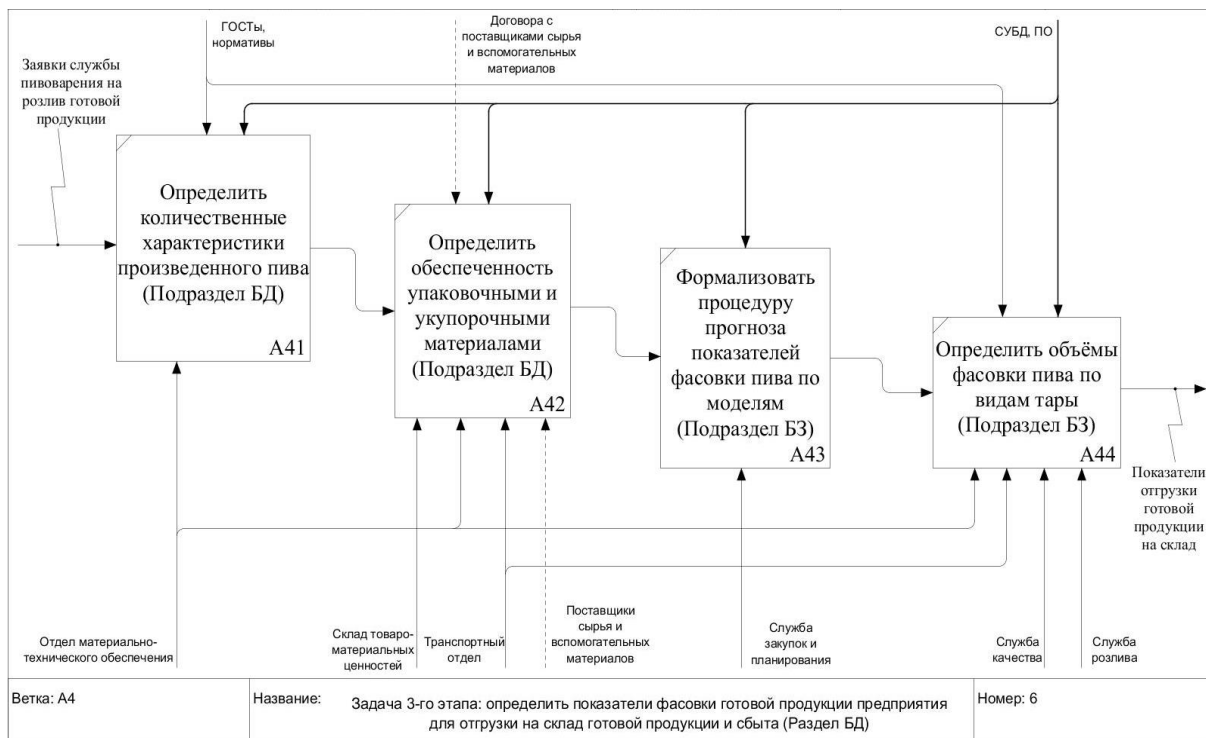


Рисунок 6 — Структурная модель решения задачи 3-го этапа планирования

Фасовка готовой продукции по разработанной модели блока А4 производится в соответствии со сформулированными заявками службы пивоварения. В результате выполнения процесса фасовки на предприятии в блоке А4 формируются показатели отгрузки готовой продукции, которые передаются на склад товароматериальных ценностей и в транспортный отдел, осуществляющий доставку продукции потребителям.

Элементы структурной модели задачи 4-го этапа планирования представлены на рис. 7.

Диаграмма включает в себя следующую последовательность блоков:

– **А51:** определить характеристики произведенной продукции (количество, виды, фасовка) для доставки потребителям точек продаж со склада товароматериальных ценностей.

– **А52:** определить географию точек сбыта продукции a_i ($i=1..28$) и составить маршруты M_k ($k=1..15$) её доставки потребителям.

– **А53:** в соответствии с объемами Z_{jk} и маршрутами M_k перевозок пива определить транспортные характеристики доставки продукции потребителям (количество автомобилей и их грузоподъемность, тип транспорта (собственный или наёмный), а также горюче-смазочные характеристики).

– **А54:** формализовать процедуру прогноза показателей доставки продукции по

маршрутам M_k по разработанным моделям в соответствии с функционалом J_1^2 и соответствующими критериями максимизации доходов от сбыта продукции.

– **А55:** определить совокупный доход Dp_k от сбыта продукции по маршрутам, рассчитываемый как сумма произведений цен договорной реализации C_{jk} продукции вида j , перевозимого по маршруту k , и объемов доставляемой продукции Z_{jk} по каждому из маршрутов.

А56: рассчитать объемы доставки продукции потребителям a_i ($i=1..28$). Принятие управленческого решения по алгоритму модели блока А5 производится в блоке А6 в соответствии со сформулированными заявками на доставку готовой фасованной продукции конечным потребителям, согласно договорам с дистрибьюторами. В результате исполнения алгоритма системой управления логистическими процессами на предприятии в блоке А6 принимаются оптимальные для блоков А55 и А56 решения.

Совокупность взаимосвязанных элементов структурных моделей А4, А5 и методы идентификации систем управления на основе ретроспективной и текущей информации позволяют разработать алгоритм информационного обеспечения СППР для повышения эффективности управления логистической деятельностью предприятия (представлен на рис. 8).

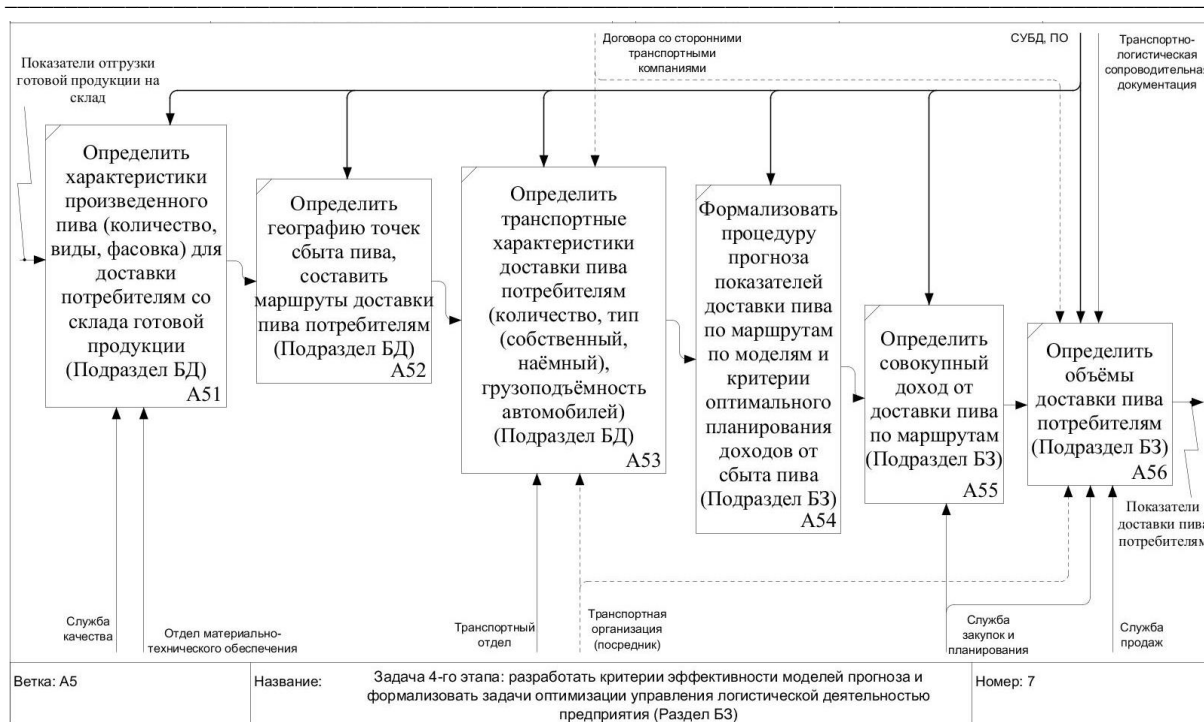


Рисунок 7 — Структурная модель решения задачи 4-го этапа планирования

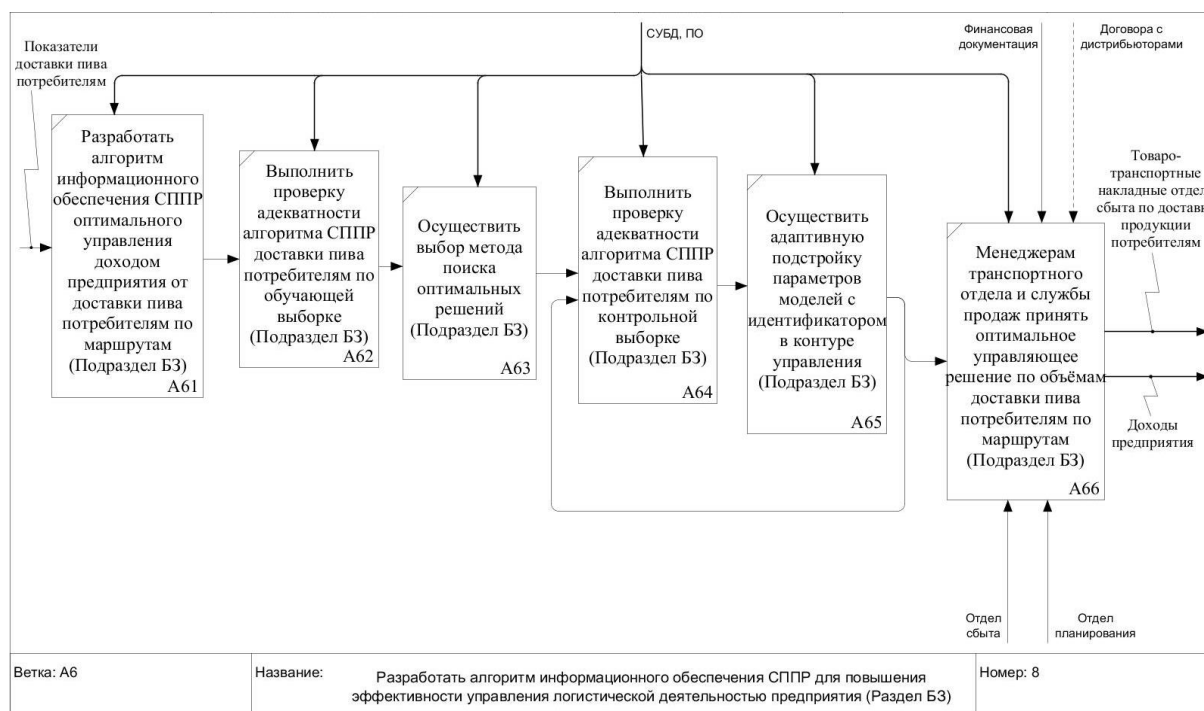


Рисунок 8 — Структурная модель СППР оптимального управления логистической деятельностью

Диаграмма включает в себя решение следующих блоков подзадач:

- **A61**: разработать алгоритм информационного обеспечения СППР оптимального управления доходом предприятия от доставки продукции потребителям по маршрутам M_k .
- **A62**: выполнить проверку адекватности

алгоритма СППР доставки продукции потребителям по обучающей выборке, в результате которой оценка моделей по дисперсии остаточной масштабированной не должна превышать 5%.

- **A63**: осуществить выбор метода поиска оптимальных решений и рассчитать по моделям прогнозные показатели доходов предприятия от

сбыта продукции.

– **A64**: выполнить проверку адекватности алгоритма СППР доставки продукции потребителям по контрольной выборке, в результате которой оценка моделей по дисперсии остаточной масштабированной также не должна превышать 5%.

– **A65**: осуществить адаптивную подстройку параметров моделей с идентификатором в контуре управления (аналогично блоку A35). При необходимости повторно перейти к выполнению подзадач блоков A64 и A65.

– **A66**: менеджерам транспортного отдела в соответствии с товаро-транспортными накладными от перевозчиков принять оптимальное управляющее решение по объемам доставки пива потребителям по маршрутам на следующий период квантования (месяц). Менеджерам службы продаж принять оптимальное управляющее решение по определению совокупного дохода предприятия, который будет получен при сбыте произведенной продукции.

После исполнения блока A66 предприятие осуществляет выполнение логистической деятельности по сбыту продукции потребителям в заказанных объемах. Службой продаж, в соответствии с объемами отгруженной продукции, заключаются соответствующие договоры с дистрибьюторами о выполнении перед ними обязательств предприятия. Финансово-экономическая служба предприятия осуществляет выполнение финансовых операций.

Таким образом, разработанная функциональная структура СППР оптимального планирования производственно-логистической деятельности предприятия (в диаграммах, изображенных на рис. 1–8) может быть реализована на практике как составная часть технического проекта на создание информационного обеспечения СППР оптимального управления предприятием. Ее использование допускает некоторые дополнения, отражающие специфику предприятия. Внедрение разработки возможно при создании системы управления процессами на предприятиях аналогичной структуры.

Выводы

По выполненным в работе исследованиям можно сформулировать следующие выводы.

Научная новизна статьи заключается в разработке алгоритмического обеспечения СППР оптимального планирования производственной деятельности и логистики на торгово-промышленных предприятиях.

Практическая значимость состоит в том, что представленная функциональная структура

СППР оптимального планирования хозяйственно-экономической деятельности ООО «Донецкий пивоваренный завод» позволит выполнить технический проект при создании информационного обеспечения СППР. В дальнейшем возможна разработка специального информационного обеспечения СППР, как основного инструментария осуществления планирования, с учётом возникающей необходимости перепланирования производственных процессов и логистических операций (при условии, что задание производственной программы и логистики будет выполнено с предложенными корректировками).

Литература

1. Дмитриук, Т. Г., Зори, С. А. Анализ структуры производственной деятельности предприятия как объекта управления / Т. Г. Дмитриук, С. А. Зори // Проблемы искусственного интеллекта. – Донецк: ГУ ИПИИ. – 2020. – №1 (16). – С. 37–52.
2. Дмитриук, Т. Г., Зори, С. А. Анализ характеристик транспортно-логистической системы предприятия / Т. Г. Дмитриук, С. А. Зори // Программная инженерия: методы и технологии разработки информационно-вычислительных систем (ПНИВС-2020): сборник научных трудов III Международной научно-практической конференции студенческая секция), Том. 2. 25-26 ноября 2020 г. – Донецк, ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет», 2020. – С. 93–100.
3. Дмитриук, Т. Г. Математическая модель планирования производственной программы предприятия / Т. Г. Дмитриук // Проблемы искусственного интеллекта. – Донецк: ГУ ИПИИ. – 2020. – № 2 (17). – С. 23–38.
4. Дмитриук, Т. Г. Проблемы прогноза и управления планированием производственной программы предприятия / Т. Г. Дмитриук // Искусственный интеллект: теоретические аспекты и практическое применение: материалы Донецкого международного круглого стола. – Донецк: ГУ ИПИИ, 2020. – С. 16–21.
5. Фёдоров, В. П. Прикладные методы теории надежности технических объектов и технологических систем : учебное пособие / В. П. Фёдоров, М. Н. Нагоркин. — Москва, Вологда : Инфра-Инженерия, 2022. — 288 с. — ISBN 978-5-9729-0918-6. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/123814.html> (дата обращения: 14.09.2022). — Режим доступа: для авторизир. пользователей.
6. Томашевский, В. М. Моделирование систем / В. М. Томашевский. — К.: Издательская группа BHV, 2005. — 352 с.

7. Дмитриук, Т. Г. Постановка задач планирования производственно-логистической деятельности предприятия // Информационное пространство Донбасса: проблемы и перспективы: материалы IV Респ. с междунар. участием науч.-практ. конф., 28 окт. 2019 г. / М-во связи Донец. Нар. Респ., М-во образования и науки Донец. Нар. Респ., Гос. орг. высш. проф. образования «Донец. нац. ун-т экономики и торговли им. М. Туган-Барановского», Гос. образоват. учреждение высш. проф. образования «Донец. нац. техн. ун-т»; [коллектив авт.; редкол.: Дрожжина С. В. и др.]. – Донецк: ГО ВПО «ДонНУЭТ», 2021. – С. 171-175.

8. Дмитриук, Т. Г., Зори, С. А. Задачи планирования производственно-логистической

деятельности предприятия / Т. Г. Дмитриук, С. А. Зори // Научный журнал «Информатика и кибернетика». – Донецк: ДонНТУ, 2021. – № 4 (26). – С. 33-44.

9. Згуровский, М. З. Системный анализ: проблемы, методология, приложения / М. З. Згуровский, Н. Д. Панкратова. – К.: Наук. думка, 2005. – 744 с.

10. Фельдбаум, А. А. Основы теории оптимальных автоматических систем / А. А. Фельдбаум. – М.: Наука, 1966. – 624 с.

11. Ramus Educational download. Accesses, modifies and manages diagrams. [Electronic resource] // URL: <https://ramus-educational.software.informer.com/download/> (Дата обращения 02.01.2022).

Дмитриук Т. Г. Алгоритмическое обеспечение СППР оптимального планирования производственно-логистической деятельности предприятия. В статье осуществлена разработка структурной модели системы оптимального планирования СППР и на её основе — алгоритмов, позволяющих определять оптимальные значения корректировок показателей производственной и логистической деятельности предприятия. Разработанная функциональная структура системы управления производственно-логистической деятельностью ООО «Донецкий пивоваренный завод», согласно методике структурного синтеза, представляет собой составную часть технического проекта на создание СППР предприятия и может быть использована при создании системы управления предприятиями аналогичной структуры.

Ключевые слова: алгоритмическое обеспечение, информационное обеспечение, СППР, функциональная структура, планирование.

Dmitriuk T. Algorithmic support of the DSS for the enterprise production and logistics activities optimal planning. The article develops the optimal planning system structural model of the DSS and, based on it, algorithms that allow determining the optimal values of adjustments to the enterprise production and logistics activities indicators. The developed functional structure of the production and logistics activities management system of Donetsk Brewery LLC, according to the structural synthesis methodology, is an integral part of the technical project for the enterprise's DSS creation and can be used to create an enterprise management system of a similar structure.

Keywords: algorithmic support, information support, DSS, functional structure, planning.

Статья поступила в редакцию 22.11.2022
Рекомендуется к публикации профессором Зори С. А.

Разработка модели и симуляции распространения эпидемии вируса с использованием игрового движка Unity

С. А. Зори, Н. А. Бездетный

Донецкий национальный технический университет,
ik.ivt.rec@mail.ru, nekoolay@mail.ru

Аннотация

В статье выполнен анализ существующих методов и технологий, средств для компьютерного моделирования и симуляций распространения эпидемии вируса. Представлена реализация модифицированной модели симуляции распространения эпидемии вируса, отличающейся большей точностью, простой и гибкой регуляцией настроек для повышения эффективности процесса моделирования, и применение современных средств трёхмерной компьютерной графики для повышения наглядности процесса симуляции и визуализации его результатов.

Введение

Моделирование и симуляция процессов составляет неотъемлемую часть человеческой деятельности — от имитации простой музыки до комплексных систем запуска спутников в космос. Даже история науки и техники — это история формирования и развития моделируемых явлений, процессов и объектов.

Использование объектных моделей позволяет проводить активные эксперименты, которые невозможны с самим объектом. Необходимость моделирования возникает из-за дорогостоящих и/или невозможных испытаний на реальном объекте, а также из-за длительной продолжительности проведения эксперимента. Поэтому, актуальность моделирования со временем будет только возрастать.

На сегодняшний день проблема вирусной заболеваемости и возникновение эпидемий требует оперативного решения и активно исследуется во всем мире, в том числе - и с использованием математического аппарата. Математическое компьютерное моделирование и симуляция заболеваний – мощный и точный инструмент для исследования механизмов распространения болезни. Такие модели предназначены для прогнозирования и оценки динамики передачи заболеваний. Это позволит анализировать и контролировать ситуацию, связанную с распространением вируса, а также предугадывать серьёзные последствия и принимать соответствующие меры по их устранению [1].

Таким образом, тема данной работы, связанная с разработкой компьютерной симуляции и изучением современных технологий ее реализации, является актуальной.

Анализ методов и технологий для моделирования и симуляции распространения эпидемии вируса

В процессе анализа технологий и средств для моделирования и симуляции распространения эпидемии вируса были описаны и проанализированы различные методы моделирования с применением математического (SIR, SIER и т. п. модели [2]), и компьютерного (агентные, поведенческие и т.п. симуляции) аппаратов (рис. 1).

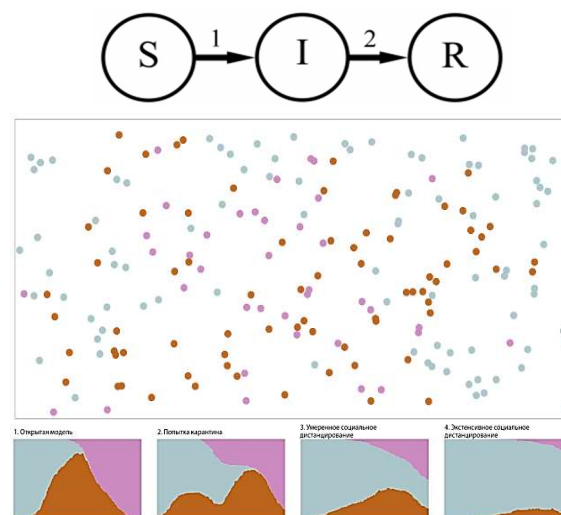


Рисунок 1 – Примеры различных методов моделирования

Проведен заключительный анализ, выделены достоинства и недостатки актуальных моделей и способов моделирования.

Независимо от сложности и реализации моделей, в качестве основных достоинств всех рассмотренных методик, следует выделить следующие - получение набора данных, который впоследствии можно обработать и проанализировать, например, спроецировать на графиках или спрогнозировать поведение ситуации для выработки методов её решения, а также получение достаточно точных данных за довольно короткий промежуток времени, по сравнению с реальными ситуациями.

Однако, как указывалось ранее [3], рассмотренные модели не идеальны и имеют свои недостатки. Основные из них - низкая или вообще отсутствующая наглядная реализация результатов моделирования и визуальной симуляции «реальной жизни», сложность первоначальной настройки модели, так как от этого будет зависеть точность и правильность результатов.

Цели и задачи исследований и разработок

В связи с этим, были определены цели и задачи исследований и разработок:

1. Анализ моделей распространения эпидемии вируса.

2. Анализ реальных факторов для повышения адекватности модели.

3. С учетом выполненного анализа - разработка базовой многофакторной модели распространения эпидемии вируса с повышенной адекватностью к реальности.

4. Разработка стратегии визуальной симуляции распространения эпидемии вируса на основе предложенной модели и средств ее реализации на базе современных технологий игровых движков.

5. На основе предложенных средств - разработка прототипа программной системы для визуальной симуляции распространения эпидемии вируса.

6. Анализ выполненных симуляций с использованием разработанных средств и сравнение их с реальными данными, определение характеристик, достоинств и недостатков предложенной модели и разработанных средств визуальной симуляции.

Разработка модели распространения эпидемии вируса

В качестве основного средства и инструмента для разработки симуляции использован игровой движок Unity. Логика симуляции, реализованная через написание скриптов, осуществляется в среде разработки Visual Studio, при помощи современного объектно-ориентированного языка программирования C#. Визуальная

составляющая симуляции, различные модели и прочая атрибутика будет разработаны при помощи пакета для создания трехмерной компьютерной графики Blender [1].

При проектировании, в разрабатываемой усовершенствованной модели можно выделить следующий список параметров:

1. Параметр модели, связанный с разделением населения, будет базироваться на SIR переменных, описывающий три группы населения, так как он достаточно прост и нагляден для понимания;

2. Виртуальная среда выполнена с применением средств трёхмерной графики в виде одного из районов города, что позволит повысить визуальное восприятие информации и напрямую наблюдать за происходящей симуляцией.

3. Параметр, эмулирующий поведение искусственного агента, абстрактно приближен к реальной жизни. Агенты ходят на работу, домой и в различные места активностей, что позволяет наглядно повторять действия человека из реальной жизни в трёхмерном пространстве.

4. Функционирование вируса связано с предыдущим параметром поведения агента и содержит факторы, влияющие на его распространение, степень заразности и время действия.

5. Симуляция обладает некоторым списком регулируемых параметров, которые влияют на процесс симуляции и её результаты.

Опираясь на приведенное описание модели, можно сформулировать её на математическом или любом другом формализованном языке.

Усовершенствованная модель приведена на рис. 2.

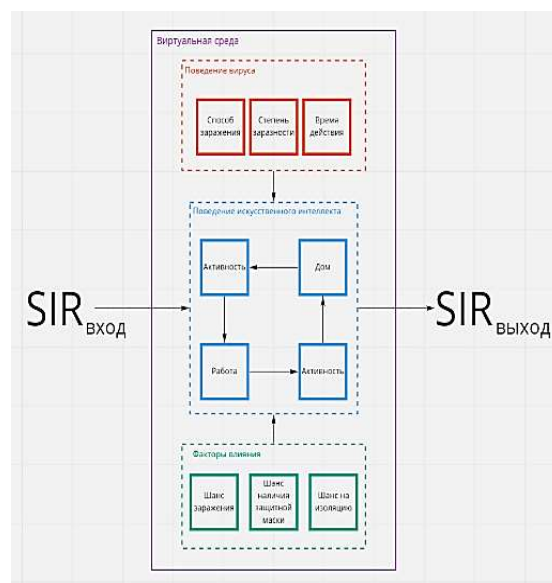


Рисунок 2 – Проектирование модели распространения эпидемии вируса

Формальное описание разрабатываемой модели можно выразить в виде функции от перечисленных параметров (1):

$$SIRm = F(S, I, VI(S \rightarrow I, PM(S \rightarrow I)), SI(I \rightarrow R)), \quad (1)$$

где S - количество искусственных агентов;
 I - количество зараженных;
 R - количество выздоровевших;
 VI (virus infection)- шанс заражения вирусом;
 PM (protective mask) - шанс наличия защитной маски;
 SI (self-isolation) - шанс остаться на самоизоляции.

Проектирование архитектуры приложения

Прежде чем приступить к разработке программной системы, необходимо продумать архитектуру, которая обеспечит желаемую функциональность и качество. Общая архитектура проекта представляет собой - компоненты системы (прямоугольники); потоки управление (закрашенные стрелки); потоки данных (пунктирные стрелки); актёр (специалист) (рис. 3).

Разработаны различные UML-диаграммы [4]: вариантов использования, деятельности, последовательности.

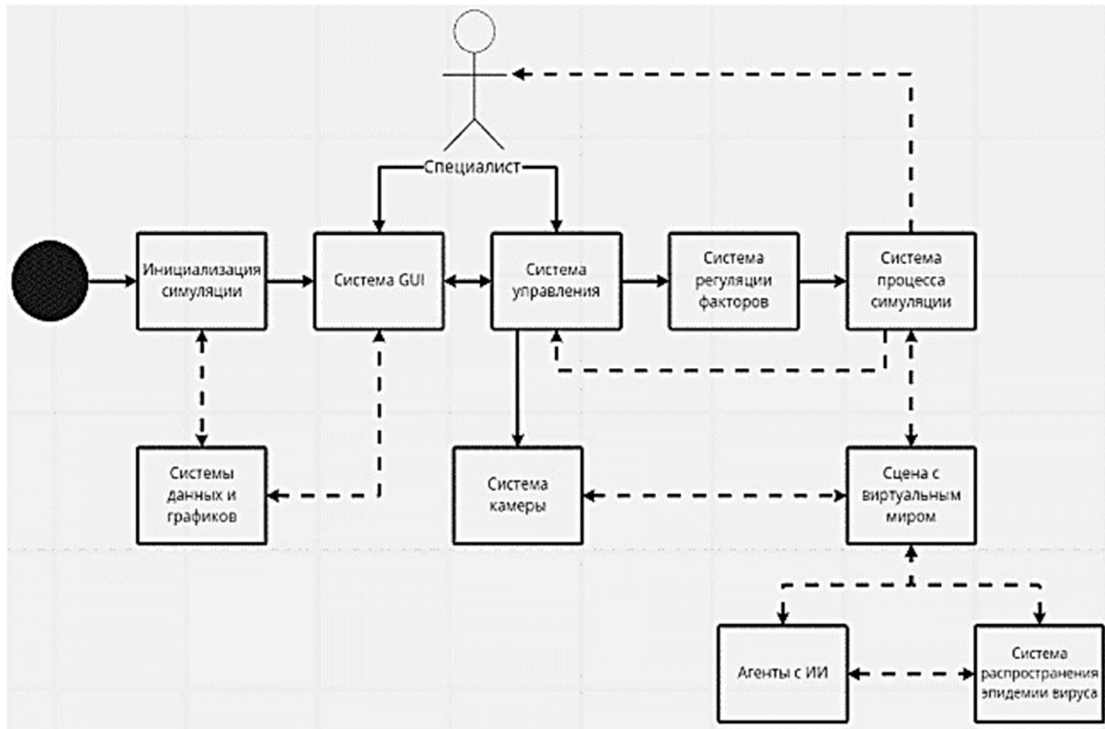


Рисунок 3 – Архитектура программной системы

Разработка программного прототипа системы

В процессе разработки программной симуляции распространения эпидемии вируса создано виртуальное окружение и визуальная составляющая симуляции, настроены трёхмерные модели индивидов, создана специальная камера с различным управлением для взаимодействия с виртуальным миром, показанная на рис. 4.

Для увеличения производительности и стабильности моделирования была произведена оптимизация графики и визуальной составляющей симуляции при помощи таких современных подходов как LOD-группы [5] и Occlusion Culling [6].



Рисунок 4 – Виртуальное окружение

В проекте осуществлена реализация механики поиска путей агентов при помощи встроенной системы Unity – NavMesh, настроена NavMesh-сетка с различными слоями для перемещения агентов, а также применена

технология соединения различных сеток NavMeshLink. Пример механики поиска путей NavMesh показан на рис. 5 [7].



Рисунок 5 – Механика поиска путей NavMesh

Также реализована механика распространения эпидемии вируса, создано взаимодействие между индивидами посредством системы коллайдеров Unity [8], настроены параметры для регуляции и влияния на процесс симуляции (рис. 6).

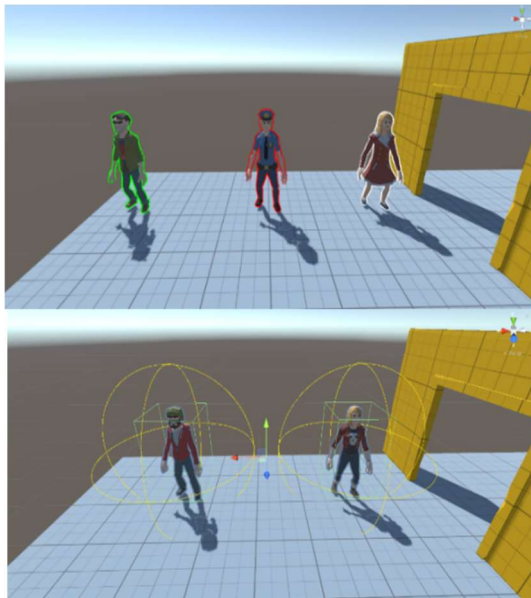


Рисунок 6 – Механика распространения эпидемии вируса

Создан удобный и практичный пользовательский интерфейс для взаимодействия со всеми модулями и системами программной симуляции распространения эпидемии вируса. Все основные действия, связанные с управлением процесса моделирования эпидемии вируса, находятся на вспомогательных панелях интерфейса.

Там же расположилась панель с различными графиками по текущей ситуации в симуляции.

Тестирование и исследование результатов

В ходе выполнения тестирования разработанной программной симуляции были применены такие современные подходы как функциональное и модульное тестирование [9, 10]. По результатам данных тестов все испытания завершились успешно.

В процессе экспериментального исследования и подтверждения адекватности модели, полученные данные сравнивались на релевантность с классической SIR-моделью. В результате правильность разработанной системы подтвердилась. Поэтому на основе разработанной модели были проведены дополнительные эксперименты, разделенные на группы по различным целям. Все результаты, полученные при этих экспериментах, совпали с прогнозируемыми (рис. 7).

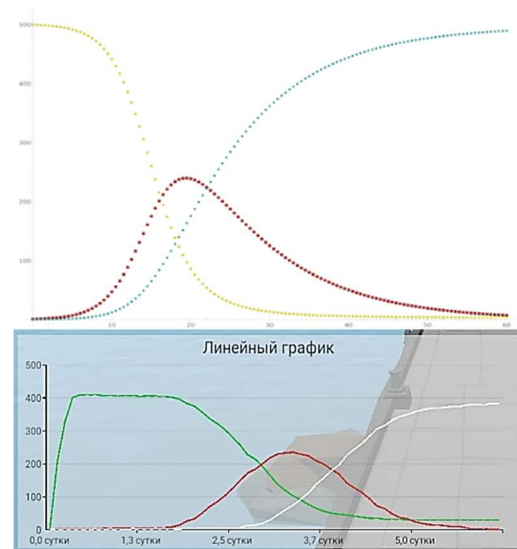


Рисунок 7 – Сравнение полученных результатов на адекватность модели

На представленных графиках (рис. 7) различными цветами отображается изменение переменных SIR-модели: S (susceptible - восприимчивые) – жёлтый/зелёный, I (infected - инфицированные) – красный, R (recovered - восстановленные) – голубой/белый.

При проведении экспериментов полученные данные сравнивались с прогнозируемыми значениями, в результате чего в большинстве случаев они совпали, что подтверждает достаточную точность разработанной модели (рис. 8). Зелёные гистограммы описывают соотношение реальных/ожидаемых значений переменной S при различных экспериментах. А серые – для значений переменной R.

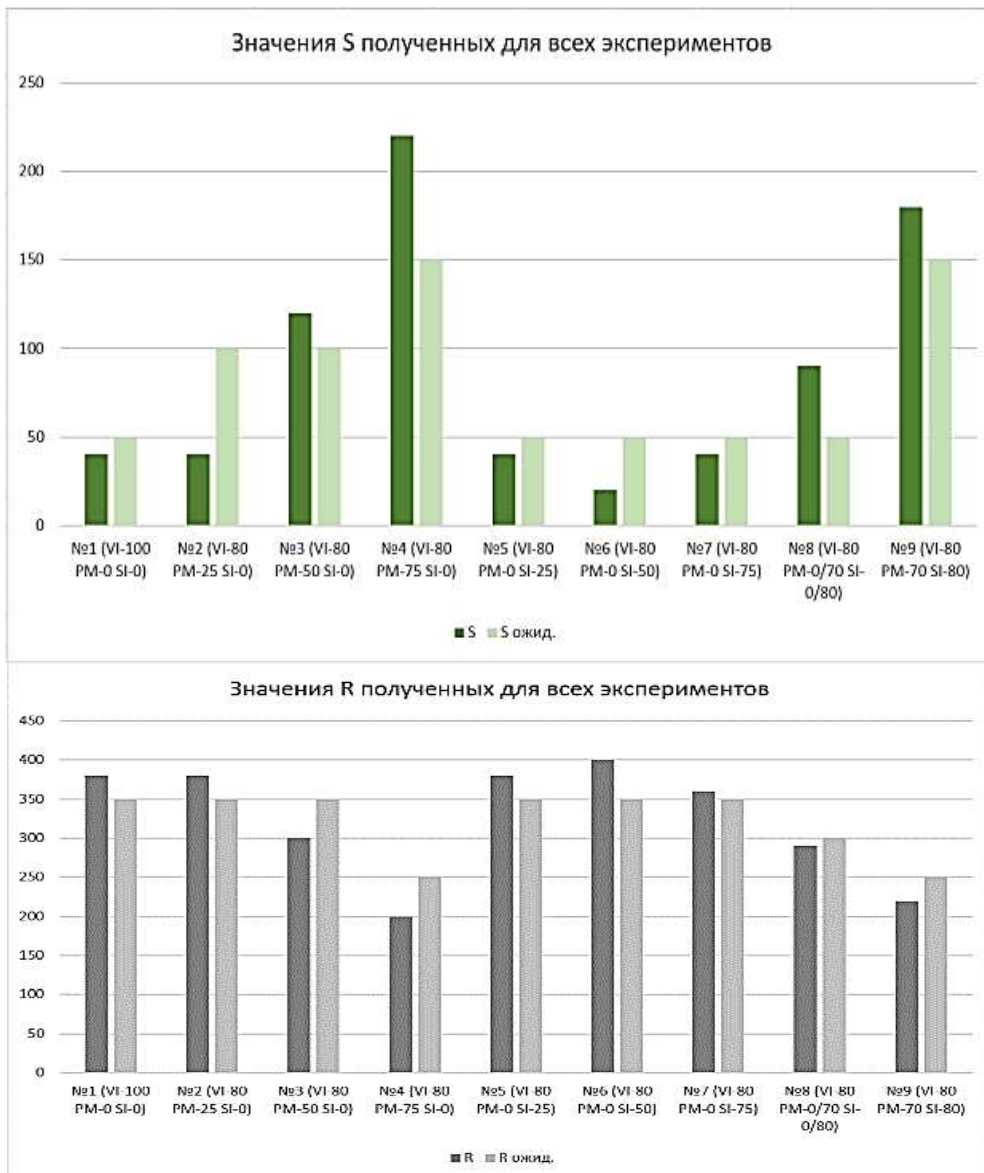


Рисунок 8 – Графики экспериментов

Также, следует отметить повышение гибкости и удобства проведения симуляции за счёт введения визуальной и графической компоненты моделирования с использованием движка, перезапуска и простой регуляции нужных параметров симуляции. Все эти факторы улучшают общее качество настройки и самого процесса симуляции

Выводы

В рамках данного исследования был выполнен анализ существующих методов, технологий и средств для компьютерного моделирования и симуляций распространения эпидемии вируса, спроектирована и реализована усовершенствованная модель для симуляции распространения эпидемии вируса, отличающейся большей точностью, простой и гибкой регуляцией ее настроек для повышения

эффективности процесса моделирования. При разработке программной системы моделирования применены современные технологии трёхмерной компьютерной графики для повышения наглядности процесса симуляции и визуализации его результатов.

Литература

1. Сайт магистров ДоНТУ – Бездетный Николай Артёмович - Реферат [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://masters.donntu.ru/2021/fisp/bezdetniy/diss/index.htm> - Загл. с экрана.
2. SIR и разновидности [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.anylogic.ru/blog/sir-i-raznovidnosti-modeli-covid-epidemii-v-rossii/> - Загл. с экрана.
3. Бездетный, Н. А. Методы, технологии и средства для моделирования и симуляции

распространения эпидемии вируса. / Н. А. Бездетный, С. А. Зори // Программная инженерия: методы и технологии разработки информационно-вычислительных систем (ПШИВС-2020). сборник научных трудов III Международной научно-практической конференции (студенческая секция). – Донецк: ДОННТУ, 2020. - С. 11-16

4. Как язык UML помогает работе IT-проекта [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://yusmpgroup.ru/kak-yazyk-uml-pomogaet-rabote-it-proekta> - Загл. с экрана.

5. Руководство: LOD Группа - Unity - Manual [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.unity3d.com/ru/530/Manual/class-LODGroup.html> - Загл. с экрана.

6. Occlusion culling - Unity - Manual [Электронный ресурс]. – Режим доступа:

<https://docs.unity3d.com/Manual/OcclusionCulling.html> - Загл. с экрана.

7. Building a NavMesh - Unity – Manual [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.unity3d.com/Manual/nav-BuildingNavMesh.html> - Загл. с экрана.

8. Colliders - Руководство Unity на Русском [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://unityhub.ru/manual/CollidersOverview> - Загл. с экрана.

9. Теоретические основы тестирования [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.software-testing.ru/library/testing/general-testing/54-testing/> - Загл. с экрана.

10. Горохова, Ю. Тренды тестирования в 2022 году [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.software-testing.ru/library/testing/general-testing/3918-qa-trends-to-thrive-in-2022>

Зори С. А., Бездетный Н. А. Разработка модели и симуляции распространения эпидемии вируса с использованием игрового движка Unity. В статье выполнен анализ существующих методов и технологий, средств для компьютерного моделирования и симуляций распространения эпидемии вируса. Представлена реализация модифицированной модели симуляции распространения эпидемии вируса, отличающейся большей точностью, простой и гибкой регуляцией настроек для повышения эффективности процесса моделирования, и применение современных средств трёхмерной компьютерной графики для повышения наглядности процесса симуляции и визуализации его результатов.

Ключевые слова: вирус, эпидемия, прогнозирование, моделирование, компьютерная симуляция, SIR-модели, программирование, игровой движок, Unity, C#.

Zori S. A., Bezdetny N. A. Development of a model and simulation the spread of a virus epidemic using the Unity game engine. In article the analysis of existing methods and technologies, means for computer modeling and simulation of virus epidemic spreading is executed. The realization of the modified model of virus epidemic spreading simulation, differing by more accuracy, simple and flexible regulation of settings for increase of modeling process efficiency, and application of modern means of three-dimensional computer graphics for increase of visibility of simulation process and visualization of its results is presented.

Keywords: virus, epidemic, forecasting, modeling, computer simulation, SIR models, programming, game engine, Unity, C#.

Статья поступила в редакцию 22.11.2022
Рекомендуется к публикации профессором Мальчевой П. В.

Математическое моделирование радиальной фильтрации в угольном пласте с учетом его фрактальной пустотной структуры

В. Н. Павлыш, Ю. Н. Добровольский, Л. А. Лазебная, Д. В. Бельков
Донецкий национальный технический университет, г. Донецк
L.Lazebnay@mail.ru

Аннотация

Предварительная обработка угольных пластов жидкостями и газами является одним из основных средств решения проблемы борьбы с опасными явлениями в шахтах. В данной работе выполнен анализ способов гидравлического воздействия на угольные пласты и проведены исследования по повышению качества гидравлической обработки угольных пластов. С помощью метода разделения переменных выполнен анализ уравнения пьезопроводности для радиальной фильтрации в среде с фрактальной геометрией пустотности угольного пласта. Получены аналитические решения.

Актуальность

Предварительная обработка угольных пластов жидкостями в различных режимах является важным средством решения проблемы борьбы с опасными явлениями в шахтах. Одно из основных преимуществ этого способа – заблаговременное и необратимое изменение состояния и свойств угольного массива, позволяющее предупредить возникновение опасных явлений при ведении горных работ.

Широкие исследования по разработке теории движения жидкости и газа в угольном пласте ведутся с начала 60-х годов 20-го века. Сходство основных закономерностей процессов движения жидкости в угле и горных породах привело к тому, что базой для этих исследований стала теория фильтрации в нефтегазовых коллекторах и грунтах.

Все свойства угольного пласта как фильтрующей среды сказываются на характере движения жидкости, и это в той или иной степени необходимо учитывать при построении модели. В настоящее время можно считать установленным, что движение жидкости при нагнетании подчиняется закону Дарси. Это подтверждено теоретическими и экспериментальными исследованиями различных авторов. Незначительные отклонения от линейного закона вполне удовлетворительно объясняются деформацией скелета угля в процессе напорной фильтрации, что было доказано О. И. Черновым и В. С. Черкасовым в лабораторных условиях [1].

Исследования фильтрации и капиллярного равновесия, визуальные и микроскопические наблюдения привели к представлениям о пустотной структуре угля, как трещиновато-пористой блочной среде. Блочная среда имеет иерархический характер. Мелкие блоки вложены в более крупные блоки, а те, в свою очередь, вложены в ещё более крупные блоки. Таким

образом, в пустотной структуре угля наблюдается скейлинг (самоподобие или масштабная инвариантность) на разных масштабных уровнях. Это свойство является серьезным аргументом в пользу причисления ископаемых углей к естественным фракталам [2].

Целью работы является обоснование принципов построения детерминированной математической модели процесса внедрения жидкости в угольный пласт с учётом его фрактальной пустотной структуры. Задачи, решаемые в статье:

- анализ способов гидравлического воздействия на угольные пласты;
- исследования по повышению качества гидравлической обработки угольных пластов;
- получение аналитических решений уравнения пьезопроводности.

Способы гидравлического воздействия на угольные пласты

Применяемые и предложенные к настоящему времени способы нагнетания жидкостей в угольный пласт дают принципиальную возможность предотвращения опасных явлений в шахтах. Так, известно, что пылеобразование при выемке угля практически не происходит, если предварительным увлажнением достигнут равномерный прирост влажности 6-7% [3]. Способствует уменьшению пылеобразования применение водных растворов смачивателя ДБ, хлористого кальция, жидкого стекла и водомасляной эмульсии. При нагнетании различных растворов удается снизить запыленность на 40-50% по сравнению с увлажнением водой. Скочинским А. А. [3] отмечено снижение газовой выделения в атмосферу горных выработок при гидравлической обработке угольного массива. К настоящему времени помимо предварительного увлажнения предложен целый ряд новых способов обработки

с целью борьбы с газом. В результате применения этих способов достигается значительное снижение газовыделения в очистные и подготовительные выработки [4]. Достигнуты положительные результаты в их использовании с целью предотвращения газодинамических явлений, в частности, внезапных выбросов угля и газа.

Вместе с тем, несмотря на большой объем проведенных исследований, эффективность применяемых способов во многих случаях не удовлетворяет требованиям практики. Снижение пылеобразования при предварительном увлажнении даже в комплексе с орошением не позволяет довести запыленность до санитарных норм.

Анализ существующих способов нагнетания жидкостей в угольный пласт с целью борьбы с основными опасностями показывает, что необходимым условием высокой эффективности воздействия является равномерность гидравлической обработки угольного массива. К одной из основных причин недостаточно высокой эффективности уменьшения пылеобразования при предварительном увлажнении относится неравномерность распределения влаги в массиве, вызванная преимущественным движением жидкости по крупным трещинам и приводящая к недостаточному повышению влажности больших блоков угля, тогда как на других участках пласта прирост влажности может превышать требуемое значение.

Авторы [5] обращают внимание на то, что наличие необработанных блоков угля может явиться причиной образования участков с повышенным давлением газа, привести к уменьшению равнопрочности угля, возникновению локальных пиковых концентраций напряжений и, в конечном счете, способствовать развязыванию внезапного выброса. В связи с этим высокая равномерность обработки играет особо важную роль при применении растворов, переходящих в твердое состояние в трещинно-поровом объеме угля.

Единственной причиной неравномерности распространения жидкости при нагнетании является анизотропия фильтрационных и коллекторских свойств пласта, выражающаяся в изменчивости значений коэффициента проницаемости и эффективной пористости по всем направлениям [6]. Анизотропия определяется как природными факторами - наличием систем трещин с различной проницаемостью, сложным строением пластов, тектонической нарушенностью, так и горнотехническими - возникновением в результате ведения горных работ зон опорного давления, повышенного горного давления, разгрузки.

Следует отметить, что разброс значений коэффициента проницаемости в различных направлениях и на различных участках угольного пласта может достигать двух-трех порядков, тогда как эффективная пористость обычно изменяется не более чем в 1,5 – 2 раза. Это позволяет считать основной причиной неравномерности обработки фильтрационную анизотропию.

Значительное влияние на эффективность гидравлического воздействия на угольный пласт в режиме фильтрации оказывает глубина пропитки угля жидкостью. Степень проникновения жидкости в тонкопористую структуру угля определяется как физико-химическими свойствами угля и жидкости, так и равномерностью обработки массива в целом. Величина насыщения массива, равномерность распределения жидкости и глубина пропитки угля совместно определяют качество обработки пласта. Повышение качества обработки является важным путем повышения эффективности гидравлического воздействия.

Исследования по повышению качества гидравлической обработки угольных пластов

Повышение качества насыщения угля жидкостью является необходимым условием эффективности всех способов гидравлического воздействия на угольный пласт. Исследования, проведенные к настоящему времени для решения этой задачи, направлены на совершенствование технологических схем нагнетания, подбор рабочих жидкостей, разработку способов воздействия, определение рациональных параметров обработки. Значительная часть исследований посвящена созданию и развитию теории движения жидкостей в угольном пласте как специфической фильтрующей среде, разработке на ее основе адекватных физических и математических моделей процессов в системе «угольный пласт – жидкость», позволяющих изучить закономерности фильтрации жидкости в угле, степень влияния свойств системы и параметров обработки на результаты воздействия, разработать рекомендации по определению фильтрационных и коллекторских характеристик массива, технологии и параметров нагнетания.

Все основные виды гидравлического воздействия, существующие в настоящее время, можно разбивать на группы и сравнивать с точки зрения их эффективности, по следующим основным признакам:

- схема расположения скважин;
- вид рабочей жидкости;
- режим внедрения жидкости;
- схема расположения скважин;
- способ внедрения.

Оценку различных вариантов будем производить по их влиянию на качество насыщения массива жидкостью.

Схема расположения скважин определяется их длиной и ориентировкой относительно линии очистного забоя. В настоящее время известны следующие основные разновидности схем:

- шпурь, пробуренные перпендикулярно линии очистного забоя;
- короткие скважины, пробуренные перпендикулярно линии очистного забоя или под некоторым углом к ней;
- длинные скважины, пробуренные из подготовительных выработок параллельно линии очистного забоя или под некоторым углом к ней;
- скважины, пробуренные с поверхности или из горных выработок вкрест напластования;
- комбинированные схемы.

Характеристики, параметры и область применения этих схем описаны в литературе достаточно подробно [1].

Рассмотрим их особенности с точки зрения качества обработки угольного массива. Хорошо известно, что длинные скважины, параллельные линии очистного забоя, в этом смысле более предпочтительны, чем короткие скважины и шпурь. Эффективность снижения пылеобразования (характеристика, наиболее тесно связанная с качеством обработки) при нагнетании через шпурь составляет 50-60%, через короткие скважины - 60-80%, через длинные скважины - 70-90%. Причинами этого являются расположение длинных скважин в зоне, не подверженной влиянию горных работ, и большая длительность контакта жидкости с углем, способствующая более глубокой его пропитке. Эти преимущества, а также независимость работ по нагнетанию через длинные скважины от очистных работ предопределяют их возрастающий удельный вес в предварительном увлажнении угольных пластов.

Применение длинных скважин ограничивается как горно-геологическими и горнотехническими условиями (выдержанность гипсометрии пласта, устойчивость и низкая водопроницаемость пород кровли, столбовые и комбинированные системы разработки), так и отсутствием надежных средств направленного бурения и герметизации скважин. Кроме того, при нагнетании жидкости через длинные скважины могут оставаться необработанными значительные участки пласта площадью в десятки квадратных метров. Такая неравномерность распределения прироста влажности при нагнетании воды отмечается в работе [7]. Разработка способа преодоления фильтрационной анизотропии при нагнетании жидкостей позволит значительно повысить

эффективность и надежность гидродинамического воздействия через длинные скважины.

В работе [8] исследовано распространение воды при нагнетании в пласт через скважины, пробуренные крестообразно напластованию из горных выработок. Результаты показали существенную неравномерность обработки, причем основной прирост влажности наблюдался на контакте пласта с вмещающими породами. В отдельных случаях в самом массиве прироста влажности вообще не было отмечено. Нагнетание жидкостей через скважины, пробуренные с поверхности, используется, в основном, в режиме гидрорасчленения, эта схема несопоставима с остальными по режиму воздействия.

Модификации основных технологических схем связаны обычно с изменением угла наклона скважин к линии очистного забоя, места их заложения, изменением длины фильтрующей части, бурением вспомогательных скважин. Так, например, рекомендуется бурение скважин под прямым углом к направлению основной природной трещиноватости, диагональное расположение скважин. Эти схемы, хотя и учитывают в некоторой степени неоднородность фильтрационных характеристик пласта, но не позволяют преодолеть анизотропию в плоскости, перпендикулярной напластованию, и не обеспечивают обработку слабопроницаемых областей. То же самое относится и к предложенным С. Н. Александровым схемам со вспомогательными скважинами и скважинами ограниченной длины с точечным источником. Кроме того, применение всех этих схем повышает трудоемкость бурения, герметизации и нагнетания, усложняет технологию.

Большой объем исследований был направлен на изыскание рабочих жидкостей, способствующих более равномерной обработке массива. Такие жидкости должны обладать высокой смачивающей способностью по отношению к углю, низкой вязкостью, невысокой стоимостью, производиться промышленностью в достаточном количестве, не быть токсичными, не усложнять существенно технологию нагнетания.

Анализ предложенных к настоящему времени разновидностей гидравлического воздействия на угольный пласт позволяет сделать вывод, что существующие способы не позволяют принципиально решить проблему преодоления фильтрационной анизотропии и значительного повышения качества обработки массива. Причинами этого являются либо невысокая эффективность, либо сложность технологии, отсутствие специального оборудования, узкая область применения. Методом, позволяющим существенно увеличить

равномерность распределения жидкости в анизотропном угольном пласте, может стать использование идеи каскадного нагнетания жидкости, основанного на взаимодействии встречных потоков от одновременно работающих скважин.

В связи с этим, задачами дальнейших исследований по повышению качества обработки массива следует считать установление физических предпосылок и принципиальной возможности преодоления фильтрационной анизотропии взаимодействием встречных потоков жидкости, исследование эффективности каскадной обработки в различных условиях, разработку технологии и параметров воздействия, определение рациональной области применения способа. Решение этих задач, в основном, может быть получено методом математического моделирования, позволяющим установить требуемые характеристики при заданных строении пласта и распределении проницаемости, недоступном для достаточно точного определения в натуральных условиях, исследовать большое количество вариантов с небольшими трудовыми и материальными затратами. Для обеспечения возможности использования этого метода необходимо осуществить выбор или разработку математической модели, учитывающей специфику анизотропного пласта как фильтрующей среды и взаимодействие встречных потоков жидкости.

Для исследования движения жидкости в угольном пласте с неупорядоченным распределением коэффициента проницаемости в условиях взаимодействия встречных потоков необходима разработка математической модели, учитывающей специфические особенности процессов, происходящих при гидравлическом воздействии на угольный пласт, в первую очередь - конечность скорости движения фронта фильтрации.

В работах [8, 9] рассматриваются процессы гидродинамического воздействия на угольные пласты как основа способа добычи угля и предотвращения газодинамических явлений. К. К. Софийским рассмотрена краевая задача для уравнения пьезопроводности:

$$\frac{\partial P(x,t)}{\partial t} = \chi \frac{\partial^2 P(x,t)}{\partial x^2}$$

Задача решается на конечных промежутках времени, и рассматривается процесс сброса давления. Аналитически получено решение в виде бесконечного ряда.

Сказанное позволяет сделать вывод о том, что в исследовании процессов и разработки технологии гидравлического воздействия на угольные пласты имеются серьезные

достижения. Вместе с тем, повсеместно отмечается, что применение различных способов нагнетания текучих в угольные пласты на практике не всегда приводит к желаемым результатам: по целому ряду причин не удается использовать в полной мере преимущества конкретного способа. Одним из главных факторов, снижающих эффективность воздействия, как показывают многочисленные теоретические и экспериментальные исследования, является фильтрационная анизотропия угольного пласта, приводящая при его гидравлической обработке к неравномерному распределению жидкости в заданной области. Известно большое количество модификаций схем расположения скважин, рабочих жидкостей, способов нагнетания, направленных на повышение качества обработки массива, однако они принципиально не решают задачу преодоления фильтрационной анизотропии. Кроме того, широкому распространению этих способов препятствуют сложность технологии, необходимость в специальном оборудовании, узкая область применения.

Перспективным путем решения проблемы представляется использование идеи каскадной обработки угольного пласта, заключающейся в преодолении фильтрационной анизотропии взаимодействием встречных потоков жидкости от одновременно работающих скважин. Однако отсутствие к настоящему времени достаточно полной оценки эффективности способа в различных условиях и детальной разработки его технологий и параметров препятствует применению каскадного нагнетания в промышленных масштабах.

Таким образом, анализ результатов теоретических исследований нагнетания текучих в угольный пласт показывает, что к настоящему времени не составлены системы уравнений, описывающие фильтрацию жидкости в массиве, учитывающие конечность скорости движения фронта в пласте с неупорядоченным распределением проницаемости при наличии встречных потоков жидкости и допускающие эффективные методы решения соответствующих задач. Известные закономерности фильтрации в угольных пластах и наличие адекватных моделей для изотропного массива представляют собой реальную основу для разработки требуемой модели с учетом вышеперечисленных особенностей. При наличии такой модели появится возможность исследовать различные технологические схемы нагнетания в любых условиях фильтрации.

Гидравлическое воздействие заключается в принудительном внедрении (нагнетании) жидкости (вещества, обладающего свойством текучести – «текучего») в угольный пласт под давлением, обеспечивающим ее продвижение в

трещиновато-пористом пространстве пласта. На начальном этапе развития и внедрения технологии нагнетания воды были проведены теоретические исследования процесса и разработан ряд методов, позволяющих рассчитывать параметры увлажнения в зависимости от тех или иных факторов.

Теоретической основой принятых решений являются уравнения, полученные аналитическим способом из уравнений движения и неразрывности для жидкости, фильтрующейся в пористой среде.

Уравнение пьезопроводности

В работе [10], обобщающей результаты исследований многих отечественных и зарубежных ученых, дается физическое обоснование и вывод уравнения нелинейно-упругого режима фильтрации

$$\partial P / \partial t = \chi \partial / \partial x_i \{ [1 + \alpha(P - P_0)] \partial P / \partial x_i \}, \quad (1)$$

где χ – коэффициент пьезопроводности; P – давление; $\alpha = \alpha_k + \alpha_p - \alpha_\mu$, $\alpha_k, \alpha_p, \alpha_\mu$ – коэффициенты изменения проницаемости, пористости, вязкости и плотности, соответственно.

Уравнение (1) может быть положено в основу математической модели процесса внедрения в пласт жидкости [1]. В случае одномерной фильтрации уравнение (1) имеет вид:

$$\partial P / \partial t = \chi \partial / \partial x \{ [1 + \alpha(P - P_0)] \partial P / \partial x \}. \quad (2)$$

В работе [2] для радиальной фильтрации в среде с фрактальной геометрией пустотности сделан вывод уравнения пьезопроводности:

$$\partial P / \partial t = \chi / x^\gamma \partial / \partial x \{ x^\beta \partial P / \partial x \}, \quad (3)$$

где $\gamma = d - 1$, $\beta = d - 1 - \theta = \gamma - \theta$. При $\gamma = 0$, т.е. $d = 1$ (одномерная фильтрация) и $x^{-\theta} = 1 + \alpha(P - P_0)$ уравнение (3) принимает вид уравнения (2).

Преобразование уравнения

Уравнение (3) принадлежит к параболическому типу. Проанализируем его с помощью метода разделения переменных. Следуя классическому алгоритму Фурье: $P(x, t) = \varphi(t) \cdot f(x)$, откуда $P_t' = \varphi' \cdot f$, $P_x' = \varphi \cdot f'$, $P_{xx}'' = \varphi \cdot f''$.

Запишем уравнение (3) в виде:

$$\partial P / \partial t = (\beta x^{\beta-1} \partial P / \partial x + x^\beta \partial^2 P / \partial x^2) \quad (4)$$

Подставляя найденные производные в уравнения (4), получим:

$$\varphi' \cdot f = (\beta x^{\beta-1} \cdot \varphi \cdot f' + x^\beta \cdot \varphi \cdot f''). \quad (5)$$

Отсюда

$$\varphi'(t) / \varphi(t) = (\beta x^{\beta-1-\gamma} f'(x) + x^{\beta-\gamma} f''(x)) / f(x). \quad (6)$$

Причем $\varphi'(t) / \varphi(t) = \lambda = const$. Имеем два дифференциальных уравнения:

$$\varphi' = \lambda \varphi, \quad (7)$$

$$\beta x^{\beta-1-\gamma} \cdot f'(x) + x^{\beta-\gamma} \cdot f''(x) = \lambda f(x). \quad (8)$$

Решение уравнения (7) имеет вид:

$$\varphi(t) = e^{\lambda t}. \quad (9)$$

Преобразуем уравнение (8), получим:

$$\beta x^{\beta-1-\gamma} \cdot f'(x) / f(x) + x^{\beta-\gamma} \cdot f''(x) / f(x) = \lambda, \quad (8)$$

далее

$$f'' / f + \beta f' / (x f) = \lambda x^{\gamma-\beta}. \quad (10)$$

Приведение к уравнению Риккати

Выполним подстановку $f' / f = y$, $f' = f y$, $f'' = f' y + f y'$, $f'' / f = f' y / f + y' = y^2 + y'$.

Отсюда имеем уравнение:

$$y' + y^2 + \beta y / x = \lambda x^{\gamma-\beta}. \quad (11)$$

Полученное уравнение (11) является уравнением Риккати, которое не интегрируется в квадратурах (т.е. нахождение его решения не может быть сведено к конечному числу последовательных интегрирований).

Рассмотрим частный случай. Пусть параметры β и γ связаны зависимостью:

$$\gamma - \beta = -2, \text{ т.е. } y' + y^2 + \beta y / x = \lambda x^{-2}. \quad (12)$$

Тогда одно частное решение уравнения (12) можно подобрать, а именно $y_0 = 1/x$. Общее решение уравнения (12) будем искать в виде $y = y_0 + 1/u$, где $u = u(x)$ – неизвестная функция. Подставим предполагаемое решение в уравнение (12):

$$(1/x + 1/u)' + (1/x + 1/u)^2 + \beta(1/x + 1/u)/x = \lambda x^{-2}. \quad (13)$$

Выполняя соответствующие выкладки, получим линейное уравнение:

$$u' - (2 + \beta)u/x = 1 \quad (14)$$

Следуя алгоритму решения линейного уравнения, получим общее решение уравнения (10):

$$u = Cx^{2+\lambda} - x/(1+\lambda) \quad (15)$$

Из такого представления решения $u(x)$, следует, что $\beta = \lambda$, где λ – любое действительное число.

Общее решение уравнения (12) запишется в виде:

$$y = 1/x + 1/u = 1/x + (1+\lambda)/(C(1+\lambda)x^{2+\lambda} - x) \quad (16)$$

Возвращаемся к подстановке $f'/f = y$. Отсюда

$$\int df/f = \int (1/x + (1+\lambda)/(C(1+\lambda)x^{2+\lambda} - x)) dx \quad (17)$$

$$\ln|f| = \ln|x| + \int (1+\lambda)/(C(1+\lambda)x^{2+\lambda} - x) dx \quad (18)$$

Вычисление интеграла в правой части громоздко, так как результат должен быть получен для любого λ . Поэтому целесообразно подынтегральную функцию разложить в степенной ряд и выполнить интегрирование каждого члена. Такая операция возможна, так как степенной ряд сходится равномерно в своей области сходимости:

$$f = xe^{\int (1+\lambda)/(C(1+\lambda)x^{2+\lambda} - x) dx} \quad (19)$$

Общее решение уравнения (3):

$$P(x,t) = e^{\lambda t} \cdot xe^{\int (1+\lambda)/(C(1+\lambda)x^{2+\lambda} - x) dx} \quad (20)$$

при $\gamma - \beta = -2$, $\beta = \lambda$, где λ – любое число.

В реальном процессе параметры γ и β могут быть связаны другой зависимостью или быть свободными параметрами. При других значениях параметров γ и β решение уравнения (11) нельзя выразить в квадратурах от элементарных функций.

Решение уравнения с помощью подстановки

Запишем уравнение (10) в виде $f'' + \beta f'/x = \lambda x^{\gamma-\beta} f$. Выполним замену

$$u(x) = f(x)\sqrt{x},$$

где $u(x)$ – новая функция.

Покажем, что такая замена будет оправданной. Находя последовательно производные

$$f' = (2xu' - u)/(2x^{3/2}),$$

$f'' = (4x^2u'' - 4xu' + 3u)/(4x^{5/2})$ и подставляя в уравнение, получим:

$$(4x^2u'' + (4\beta x - 4x)u' + (3 - 2\beta)u)/(4x^2) = \lambda x^{\gamma-\beta} u.$$

Естественно потребовать, чтобы коэффициент при u' был равен нулю и решение искать в виде степенной функции, т.е. $\beta = 1$ и $u = x^k$. Получим уравнение:

$$4k(k-1)x^k + x^k = 4\lambda x^{\gamma+1+k}.$$

Отсюда необходимо потребовать, чтобы $\gamma = -1$.

Тогда для k получим уравнение:

$$4k^2 - 4k - 4\lambda + 1 = 0, \quad k_{1,2} = 1/2 \pm \sqrt{\lambda},$$

$$u = x^{1/2 \pm \sqrt{\lambda}}, \quad f = x^{\pm \sqrt{\lambda}}.$$

Тогда решение уравнения (3) запишется в виде: $P(x,t) = e^{\lambda t} x^{\pm \sqrt{\lambda}}$, при $\beta = 1$, $\gamma = -1$, λ – любое действительное число.

Выводы

В данной работе выполнен анализ способов гидравлического воздействия на угольные пласты и проведены исследования по повышению качества гидравлической обработки угольных пластов. С помощью метода разделения переменных выполнен анализ уравнения пьезопроводности для радиальной фильтрации в среде с фрактальной геометрией пустотности угольного пласта. Получены аналитические решения:

1. $P(x,t) = e^{\lambda t} \cdot xe^{\int (1+\lambda)/(C(1+\lambda)x^{2+\lambda} - x) dx}$ при $\gamma - \beta = -2$, $\beta = \lambda$, где λ – любое действительное число.
2. $P(x,t) = e^{\lambda t} x^{\pm \sqrt{\lambda}}$, при $\beta = 1$, $\gamma = -1$, λ – любое действительное число.

Однако, в общем случае, при произвольных параметрах β и γ , аналитические методы решения могут не существовать.

Литература

1. Павлыш, В. Н. Исследование процесса напорной фильтрации жидкости в анизотропной среде методом математического моделирования (на примере увлажнения угольного пласта) / В. Н. Павлыш, И. В. Тарабаева // Вестник ДонНУ. Сер. А: Естественные науки. – Донецк: ГОУВПО «ДонНУ», 2017. - № 2. – С.75-83.
2. Прогрессивные технологические решения по комплексному освоению ресурсного потенциала угольных месторождений: монография / В. В. Мельник, В. Н. Павлыш, С. С. Гребенкин и др. ; // под общ. ред.

В. В. Мельника, В. Н. Павлыша. - Донецк : ВИК, 2015. – 340с.

3. Применение математического моделирования в системе автоматического управления процессом гидрообработки трещиновато-пористого массива в условиях неопределенности фильтрационных параметров среды / В. Н. Павлыш, А. Дж. Орва // Искусственный интеллект, 2013. - №1(59). – С.140-148.

4. Основные направления повышения технологического уровня и экологичности горного производства при подземной добыче угля с закладкой выработанных пространств шахт: монография / В. В. Мельник, С. С. Гребёнкин, В. Н. Павлыш и др. ; // под общ. ред. С. С. Гребёнкина, В. В. Мельника. - Донецк : ВИК, 2015. – 273 с.

5. Геомеханическое обоснование рациональных технологических решений по управлению состоянием массива горных пород при подземной добыче угля: монография / В. В. Мельник, В. Н. Павлыш, С. С. Гребенкин и др. ; // под общ. ред. В. Н. Павлыша, В. В. Мельника. – Донецк : ВИК, 2015. – 327 с.

6. Математические модели и алгоритмы управления процессами динамического воздействия на анизотропные подземные массивы / В. Н. Павлыш, Л. А. Лазебная // Проблемы искусственного интеллекта, 2019. - № 2(13). – С. 4-13.

7. Применение математического модели-

рования в системе автоматизированного проектирования технологии гидравлического воздействия на угольный пласт / В. Н. Павлыш, Г. Б. Перетолчина // Машиностроение и техносфера XXI века : сб. тр. XXV междунар. науч.-техн. конф. в г. Севастополе 10-16 сент. 2018 г. В 2-х томах. – Донецк : ДонНТУ, 2018. - Т. 2. – С. 40-45.

8. Геоэкологические и экономико-математические аспекты обеспечения безопасных технологий угольных комплексов: монография / С. С. Гребёнкин, В. Н. Павлыш, В. Д. Рябичев и др. ; под общ. ред. С. С. Гребёнкина, В. Н. Павлыша. – Луганск : Ноулидж, 2016. – 340 с.

9. Структура системы автоматизированного управления процессом увлажнения угольного пласта / В. Н. Павлыш, Л. А. Лазебная // Проблемы горного дела и экологии горного производства: Матер. IX междунар. науч.-практ. конф. (24-25 апреля 2014 г., г. Антрацит). – Донецк: Донбасс, 2014. – С. 9–15.

10. Совершенствование системы управления процессом гидравлического воздействия на угольный пласт в режиме фильтрации / В. Н. Павлыш, Л. А. Лазебная, Г. И. Турчанин // Машиностроение и техносфера XXI века: сб. тр. XXIII междунар. науч.- техн. конф. в г. Севастополе 12-18 сент.2016 г. – Донецк: МСМ, 2016. - Т. 2. – С. 64- 67.

Павлыш В. Н., Добровольский Ю. Н., Лазебная Л. А., Бельков Д. В. Математическое моделирование радиальной фильтрации в угольном пласте с учетом его фрактальной пустотной структуры. Предварительная обработка угольных пластов жидкостями и газами является одним из основных средств решения проблемы борьбы с опасными явлениями в шахтах. В данной работе выполнен анализ способов гидравлического воздействия на угольные пласты и проведены исследования по повышению качества гидравлической обработки угольных пластов. С помощью метода разделения переменных выполнен анализ уравнения пьезопроводности для радиальной фильтрации в среде с фрактальной геометрией пустотности угольного пласта. Получены аналитические решения.

Ключевые слова: математическая модель, процесс, уравнение, метод, анализ, структура.

Pavlysh V. N, Dobrovolsky Yu. N., Lazebnaya L. A, Belkov D. V. Mathematical modeling of radial filtration in a coal seam taking into account its fractal void structure. Pre-treatment of coal seams with liquids and gases is one of the main means of solving the problem of combating hazardous phenomena in mines. In this paper, an analysis was made of the methods of hydraulic impact on coal seams and studies were carried out to improve the quality of hydraulic treatment of coal seams. Using the method of separation of variables, an analysis of the piezoconductivity equation for radial filtration in a medium with fractal geometry of the voidness of a coal seam was performed. Analytical solutions are obtained.

Keywords: mathematical model, process, equation, method, analysis, structure.

Статья поступила в редакцию 11.04.2022
Рекомендуется к публикации профессором Аноприенко А. Я.

Структура и функционал интеллектуальной системы поддержки принятий решений в водоотведении

В. Н. Штепа
проректор по научной работе,
УО «Полесский государственный университет»
shtepa.v@polessu.by

Аннотация

Проанализированы недостатки существующих подходов оценки состава сточных вод с использованием лабораторного оборудования и измерительных средств реального времени. Обоснованы задачи, которые необходимо решать при моделировании процессов водоотведения. На основе математической статистики установлено частичное отсутствие нормальности распределения значений показателей качества сточных вод промышленных предприятий. Разработаны структурные и функциональные параметры интеллектуальной системы поддержки принятия решений водоотведения с её интеграцией в существующие системы управления очистными сооружениями.

Введение

Под водоотведением понимают комплекс сооружений и инженерных мероприятий, предназначенных для сбора и транспортирования за пределы населенного пункта или промышленного предприятия сточных вод (СВ), их очистки, обезвреживания и обеззараживания с целью сброса в водоем или для повторного использования. Таким образом в состав системы водоотведения входят: внутренняя канализация; дворовая или внутриквартальная водоотводящая сеть; уличная водоотводящая сеть; насосные станции и напорные трубопроводы; очистные сооружения (ОС) и выпуски СВ в водоем. Именно ОС является наиболее технологически сложными и играют ключевую роль при обеспечении экологической безопасности геоэкосистем [1].

Анализируя состав технологических регламентов и особенности функционирования водоочистного оборудования, можно сделать выводы, что ключевыми и очень сложными задачами при выполнении технологического регламента непосредственно на сооружениях очистки сточных вод (СВ) [1 – 3] выступают:

- контроль технологических процессов в проектно установленных точках отбора проб СВ и осадка, характеристик имеющихся приборов контроля очистных сооружений;
- технологический анализ работы оборудования согласно производственным эксплуатационным показателям;
- регулирование расхода ресурсов, эффективности очистки согласно регламентно установленным критериям и показателей.

В то же время, чем сложнее задача обработки, тем более громоздкий и менее надежный контроль за соблюдением регламентных требований. Например, при реализации технологической схемы химического способа удаления за-

грязителей концерна «Siemens» необходимо одновременно контролировать более 40 технологических величин (согласно требований производителя и фактического наличия небольшого количества датчиков). Между тем СВ (бытовые, производственные и атмосферные) содержат обычно большое количество неорганических и органических компонентов [3]. Даже при простом смешивании сточных вод от различных коммунально-промышленных объектов происходят биохимические реакции между компонентами, приводящие к образованию новых веществ, иногда более опасных для окружающей среды чем исходные (синтез токсикантов). При хлорировании, например, появляются продукты окисления неорганических и органических веществ и их хлорпроизводные [2]. В целом, биохимической очистке подвергаются промышленные сточные воды, смешанные с хозяйственно-бытовыми, и тогда в обработанных растворах нередко можно обнаружить непредсказуемые соединения.

При этом технологический контроль качества составляет примерно на 40% из оценки органолептических свойств, определении мутности (прозрачности) и содержания взвешенных частиц, примерно 20% анализов – определение различных суммарных показателей, 29% всех анализов приходится на неорганические вещества и только 3% на органические вещества (главные из них: нефтепродукты, синтетические поверхностно-активные вещества (СПАВ), полиакриламид). Не всегда методики в должной степени метрологически исследованы и обоснованы их применимости для решения конкретной задачи. Так, «арбитражная» методика определения химического потребления кислорода (ХПК) дает количественные результаты при уровне загрязнения 270 мг O₂/л и более, а биологическое

потребление кислорода (БПК₅) с уровня 175 мг О₂/л. Однако оба способа обычно рекомендуются и для анализа гораздо менее загрязненных вод. Методические сложности анализа вод становятся очевидными, в частности во время межлабораторного исследования.

Ситуация усугубляется наличием незначительного количества методик, в том числе, основанных на использовании самых современных физических подходов, которые дают возможность надежно определять поллютанты на уровне предельно-допустимых концентраций (ПДК) загрязнителей [3].

Общим недостатком подходов управления ОС является то, что необходимо контролировать в режиме реального времени десятки параметров качества воды и технологических процессов, а существуют и надёжно работают на реальных объектах только единицы автоматизированных измерительных приборов (менее 30% от технологических потребностей).

При этом при проектировании систем очистки не учитывается возможность действия чрезвычайных ситуаций техногенного и природного происхождения, хотя для эффективного функционирования ОС это необходимо [4].

Соответственно, создание информационно-аналитических систем, способных прогнозировать режимы водоотведения с точки зрения опасности для окружающей среды, которые устраняют концептуальные недостатки традиционных подходов – актуальная научно-практическая задача в контексте обеспечения рационального природопользования.

Анализ существующих решений в области мониторинга и моделирования процессов водоотведения

Автоматизированные информационно-измерительные комплексы при максимальной компоновке, например, для решения задач управления комплектом оборудования концерна «Siemens», можно разделить на уровне [5]. Однако даже такой иерархический подход не позволяет обеспечить полной автоматизации процессов очистки СВ – из-за отсутствия всего нужного перечня промышленных датчиков, способных работать в режиме реального времени.

Для решения такой задачи целесообразно использовать средства моделирования, что позволит улучшить наблюдаемость (прогнозируемость) процессов и возможность проектирования и соблюдения технологических регламентов. Модели, наиболее широко применяемые при проектировании и исследовании процессов очистки, в том числе комбинированной, делятся на [6]: физические и математические.

Первые из них позволяют с использованием натуральных макетов и пилотных установок, исследовать функциональные особенности процес-

сов, которые не удается установить математическими подходами. Особенностью таких приемов является привязка созданного научно-технического оборудования к какому-либо определенному из методов воздействия на водные растворы или к задачам, связанным с одним классом объектов (например, СВ молочной промышленности).

В таких научных целях используется оборудование разработанное Г. М. Ивановым, В. А. Гвоздевым, А. К. Кинебасом, Л. П. Русоновой. Установка снабжена механизмом поворота и средствами фиксации колонн в вертикальном положении. Фильтровальная колонна имеет коробчатую форму, расширяющуюся в верхней части, где образуются сливные камеры. Задание оборудования – техническое моделирование процессов фильтрации.

Авторы А. И. Горова, В. Е. Колесник и Д. В. Куликова провели физическое моделирование процесса выпадения взвешенных веществ в макете отстойника. Построены кривые выпадения частиц в зависимости от длительности отстаивания при разной высоте слоя жидкости и средней скорости осаждения взвешенных частиц (или их гидравлической крупности). Полученные результаты применения таких моделей позволяют масштабировать перенести полученные конструктивные и режимные параметры на реальное оборудование.

Однако создание качественных физических моделей требует, как правило, значительных финансовых затрат и квалифицированных узкоспециализированных специалистов, поэтому актуальным направлением является применение математических моделей. Их разработка активно проводилась группой ученых под руководством В. А. Вавилина. Коллектив создал такие математические модели как: «Азот», «Азот 2», «Метан». Модель «Азот 2» была успешно использована при проектировании первых крупных сооружений нитри-денитрификации на Люберецкой станции очистки.

Решающий прорыв в сфере создания современных моделей сооружений очистки сточных вод, позволивший сделать их средством проектирования и исследования режимов станций очистки сточных вод, был сделан международной группой специалистов – исследовательской командой по моделированию процессов с активным илом International Water Association (IWA) под руководством М. Хенце. Этой группой были синтезированы модели ASM – activated sludge model. Модель ASM1, созданная в 1986 году, описывала процессы аэробного окисления органических веществ и нитриденитрификации.

Также практический интерес представляют работы, выполненные В. Я. Пономаревым, Е. Ш. Юнусовым, Г. О. Ежковым по математическому моделированию процессов аэробной

очистки сточных вод пищевой промышленности – разработаны системы дифференциальных уравнений.

Аналитическое исследование фильтрации СВ через ионообменные фильтры выполнено Ю. А. Лебедевым и М. А. Тихоновым базируется на предварительных экспериментальных исследованиях в лабораторных условиях. Полученные результаты позволили улучшить экономические показатели работы водоочистного оборудования.

Есть большое количество работ посвященных построению и исследованию математических электродных моделей (В. М. Волгин, А. П. Григин, А. Д. Давыдов) и электромембранных систем удаления загрязнителей из водных растворов (Е. Ю. Будников, А. В. Григорчук, Э. Н. Коржов, В. А. Кузьминых, В. В. Никоненко, С. Ф. Тимашев, В. А. Шапошник).

Анализ разных методологий моделирования показал необходимость использования сильных сторон каждого из подходов (табл. 1) при создании математического аппарата оценки и прогнозирования водоотведения.

Таблица 1 – Критическая оценка типов моделирования

Показатели	Физические модели	Математические модели
Доступность переноса на реальные объекты	При работе с фактическими СВ, а не модельными, переносятся достаточно эффективно	Требуют длительного процесса адаптации на производстве и проверки адекватности
Стоимость реализации	Для получения эффекта необходимы значительные финансовые материалы и временные затраты	Финансовые затраты относительно незначительны, временные – соразмерны с физическим моделированием
Персонал	Высококвалифицированные специалисты	Высококвалифицированные специалисты
Средства создания моделей	Специализированное производство, включая конструкторскую группу	Наличие программного обеспечения и прочих ИТ-специалистов

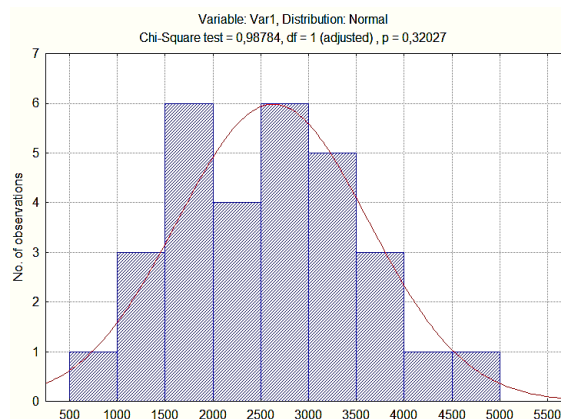
Оценка водоотведения с использованием математической статистики

Для репрезентативной оценки характеристик качества водоотведения выбрали предприятия из разных секторов реальной экономики: мясоперерабатывающий комплекс; деревоперерабатывающий холдинг; предприятие малой ме-

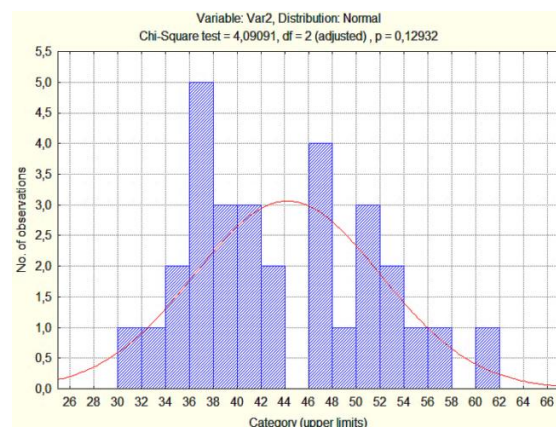
таллургии; производство продуктов бытовой химии (косметология).

Задача такой оценки – анализ объемов водоотведения, выявление типовых загрязнителей, залповое увеличение которых (нештатная ситуация) необходимо учесть при работе ОС. Предварительные исследования разноотраслевых промышленных объектов (мясоперерабатывающее предприятие, деревоперерабатывающее предприятие, предприятие малой металлургии и предприятие производства продукции бытовой химии) продемонстрировал разнокомпонентность загрязнителей, что вызвано разным технологическим использованием водных ресурсов.

Для статистической оценки и проверки нормальности распределения полученных выборок концентраций загрязнителей были выбраны типовые загрязнители (концентрации взвешенных частиц и азота аммонийного) таких объектов, использовался пакет прикладных математических программ «Statistica» (рис. 1, 2).

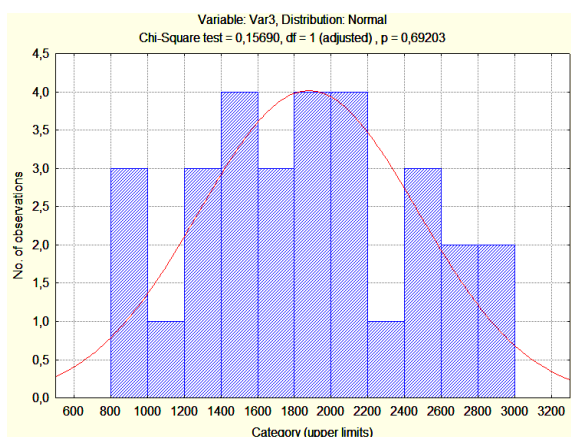


А)

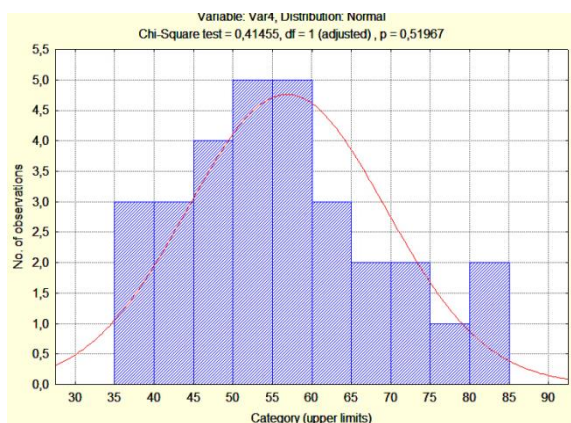


Б)

Рисунок 1 – Примеры проверки на нормальность закона распределения выборок концентраций однотипных загрязнителей, полученных на реальных предприятиях: А – концентрация взвешенных частиц на предприятии мясопереработки, Б – концентрация азота аммонийного на предприятии мясопереработки



В)



Г)

Рисунок 2 – Примеры проверки на нормальность закона распределения выборок концентраций однотипных загрязнителей, полученных на реальных предприятиях: В – концентрация взвешенных частиц на предприятии деревопереработки, Г – концентрация азота аммонийного на предприятии деревопереработки

С учетом того, что не все полученные выборки (порядка 50%) отвечают требованиям нормальности закона распределения случайных величин (см. рис.1), для дальнейших комплексных статистических исследований применили непараметрические подходы, а именно оценим согласно требованиям ISO 16269-4-2017 наличие выбросов (рис. 3).

На основе анализа результатов можно утверждать, что выбросов, которые следовало бы отсеивать, не обнаружено. В целом статистические исследования (см. рис. 1 - 3) продемонстрировали, что на этапе оперативного анализа водоотведения путём создания систем поддержки принятия решений (СППР) нужно применять непараметрические подходы и разрабатывать программные решения, способные работать в условиях высокоамплитудных нелинейных нестационарных изменений концентраций загрязнителей при неполноте и размытости технологической информационной картины. К таким отно-

сится математический аппарат интеллектуальных систем: нейронные сети, нечёткая логика, генетический алгоритм и другие [5].

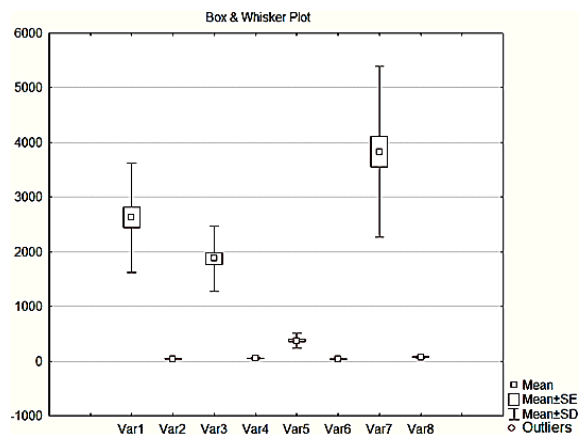


Рисунок 2 – Оценка наличия статистических выбросов исследования выборок концентраций однотипных загрязнителей полученных на реальных предприятиях (в качестве центральной точки выбрано среднее значение)

На рисунке Var 1-8 – соответственно, концентрация взвешенных частиц на предприятии мясопереработки, концентрация азота аммонийного на предприятии мясопереработки, концентрация взвешенных частиц на предприятии деревопереработки, концентрация азота аммонийного на предприятии деревопереработки, концентрация взвешенных частиц на предприятии малой металлургии, концентрация азота аммонийного на предприятии малой металлургии, концентрация взвешенных частиц на предприятии бытовой химии, концентрация азота аммонийного на предприятии бытовой химии.

Функционал и структура интеллектуальной системы поддержки принятия решений в водоотведении

Исходя из технологических задач, которые необходимо решать [1-4], интеллектуальная система поддержки принятия решений водоотведения (ИСППРВ) предназначена для наладки работы систем водоотведения путём оперативного определения, максимально приближенному к режиму реального времени:

- эффективных и экологических безопасных режимов функционирования очистных сооружений;
- эффективных и экологических безопасных режимов работы систем водоотведения в целом;
- реакции на чрезвычайные и опасные для окружающей среды и технологического оборудования ситуации;
- ведения технологических баз данных;

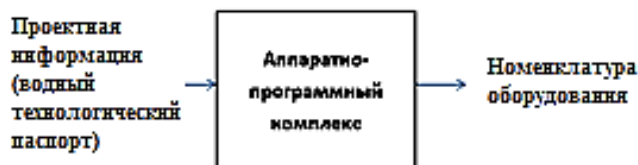
– научно-технологической поддержки решений технологов очистных сооружений.

Также ИСППРВ можно использовать в ряде этапов создания и функционирования водопроводно-канализационных хозяйств (рис.4). При этом ИСППРВ должна относиться к системам нормальной эксплуатации, соответствовать классу безопасности 4 (классификационное обозна-

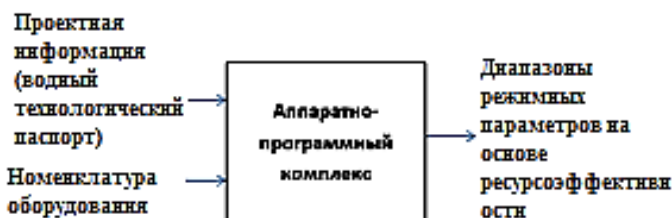
чение 4Н) по ПНАЭ Г-01-011 (ОПБ 88/97) и функциональной группе 4Н в соответствии с НП-026. Аппаратная часть ИСППРВ проектируется с внедрением унифицированных программно-логических контроллеров и графического пакета визуализации, ключевой аспект – удалённая передача данных.

1. Проектный этап

1.1. Выбор схемы системы очистки на этапе проектирования



1.2. Выбор режимов системы очистки на этапе проектирования



2. Адаптивное управление очисткой сточных вод в оперативном режиме



Рисунок 4 — Этапы создания и функционирования водопроводно-канализационных хозяйств

Использованием ИСППРВ обеспечивается выполнение следующих функций:

- обработка сигналов ввода-вывода и выдачу исполнительных команд, в соответствии с адаптивными и самоорганизующимися алгоритмическими процедурами систем водоотведения;
- в оперативном режиме создание и выполнение алгоритмических процедур управления системами очистки и водоотведения в целом;
- синхронизация времени контроллера и приложения визуализации с внешним источником точного времени;
- самодиагностика технических средств систем очистки и водоотведения;

- архивирование технологической информации по проводимому тесту;
- генерация пороговых нарушений по превышению установленных значений;
- определение неисправностей цепей управления;
- определение неисправностей главных цепей
- прогнозирования функционирования систем очистки и водоотведения на основе построенных интеллектуальных математических моделей.

Прикладное программное обеспечение (ППО) ИСППРВ разрабатывается на лицензионном базовом программном обеспечении (БПО) и

состоит из следующих компонентов: инструментальная система поддерживающая разработку прикладных задач программируемых логических контроллеров (ПЛК) на пяти языках по стандарту МЭК 61131-3 – ППО SCADA.

Исходя из функциональных задач, программное обеспечение «Аналитического модуля» (интеллектуальная составляющая) является надстройкой над классическими системами управления ОС (рис. 5) [7].

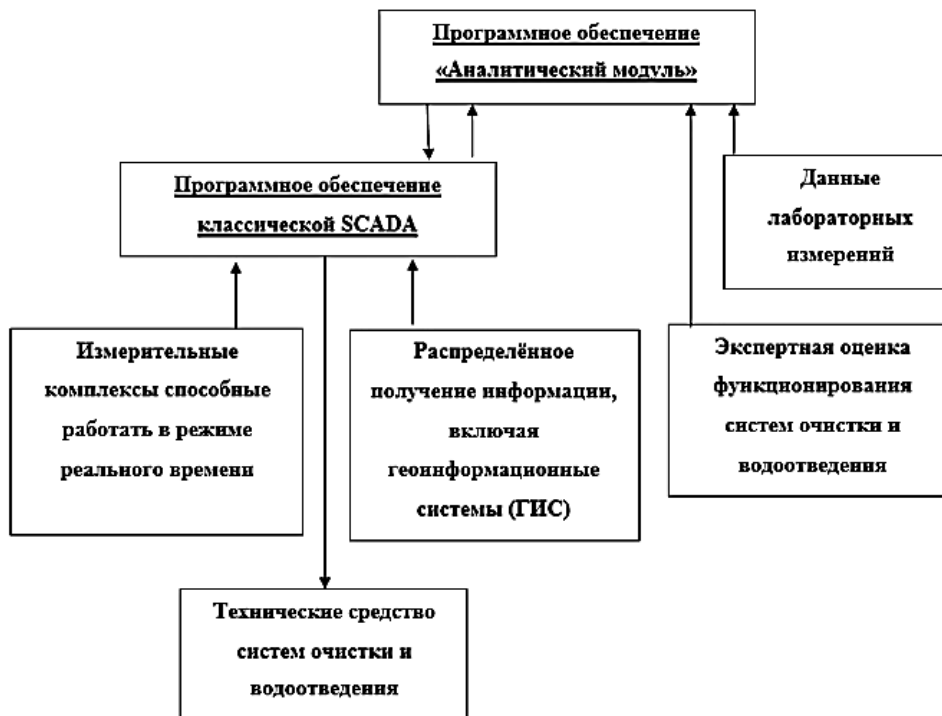


Рисунок 5 – Структура прикладного программного обеспечения интеллектуальной системы поддержки принятия решений водоотведения

Выводы

Обоснование создания интеллектуальной системы поддержки принятия решений водоотведения с аналитическим блоком на основе использования искусственного интеллекта базируется на следующих аспектах функционирования водопроводно-канализационных хозяйств: отсутствие полноты информации о качестве сточных вод в репрезентативных точках с учётом динамического развития биохимических преобразований в водных растворах; высокие риски возникновения чрезвычайных ситуаций при неэффективности работы очистных сооружений; распределённая, удалённая и крайне инерционная (особенно при получении данных лабораторных исследований) передача информации.

Функционал ИСППРВ должен соответствовать следующим требованиям к аппаратно-программным решениям такого класса: масштабируемость в зависимости от конкретных объектов (двух одинаковых технических заданий быть не может); открытая архитектура касательно добавления измерительных средств и интерфейсного оборудования; методическая гибкость в контексте интеграции дополнительных математических модулей способных обрабатывать входные данные и возмущающие влияния.

Литература

1. Штепа, В. Н. Адаптивные решения интеллектуального управления очистными сооружениями / В. Н. Штепа, Н. А. Заец, Д. Г. Алексеевский // Новые методы и технологии в водоснабжении и водоотведении : сборник трудов / Институт жилищно-коммунального хозяйства ПАПБеларуси; под общ. ред. В.О. Китикова. – Минск : БГТУ, 2022. – С. 281–287.

2. Штепа, В. Н. Инновационные технологии очистки многокомпонентных водных растворов с противодействием чрезвычайным ситуациям техногенного происхождения / В. Н. Штепа, А. Б. Шикунец // Прыроднае асяроддзе Палесся і перспектывы развіцця : зборнік навуковых прац / Палескі аграрна-экалагічны інстытут НАН Беларусі; рэдкал. М.В. Міхальчук (гал. рэд.) [і інш.]. - Брэст : Альтернатива, 2022. - Вып. 14: [X міжнародная навуковая канферэнцыя «Прыроднае асяроддзе Палесся і навукова-практычныя аспекты рацыянальнага рэсурсакарыстання», Брэст, 14-16 верасня 2022 г.]. – С. 184–187.

3. Обоснование структуры и состава систем водоочистки на основе оценки уровня автоматизации технологических процессов / В. Н. Штепа [и др.] // Вестник Брестского госу-

дарственного технического университета, 2020. – № 4. – С. 17–22.

4. Штепа, В.Н. Концепция управления оборудованием водоочистки с учетом доминирующего загрязнителя / В. Н. Штепа, А. П. Левчук // Агропанорама : научно-технический журнал, 2018. – № 5. – С. 33–38.

5. Мазоренко, Д. І. Інженерна екологія сільськогосподарського виробництва / Д. І. Мазоренко, В. Г. Цапко, Ф. І. Гончаров.– К.: Знання, 2006 – 376 с.

6. Штепа, В. Н. Концептуальные основы энергоэффективной системы управления комбинированными системами водоочистки /

В. Н. Штепа // Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. Энергетика: научно-технический журнал, 2016. – № 5. – С. 479 – 487.

7. Штепа, В. Н. Интеллектуальная система анализа и прогноза экологической безопасности биологических сооружений очистки сточных вод / В. Н. Штепа, Н. Ю. Золотых // Первая выставка-форум IT-академграда «Искусственный интеллект в Беларуси»: сборник докладов, Минск, 13-14 октября 2022 г. / Объединенный институт проблем информатики Национальной академии наук Беларуси. – Минск : ОИПИ НАН Беларуси, 2022. – С. 41 – 45.

Штепа В.Н. Структура и функционал интеллектуальной системы поддержки принятия решений в водоотведении. Проанализированы недостатки существующих подходов оценки состава сточных вод с использованием лабораторного оборудования и измерительных средств реального времени. Обоснованы задачи, которые необходимо решать при моделировании процессов водоотведения. На основе математической статистики установлено частичное отсутствие нормальности распределения значений показателей качества сточных вод промышленных предприятий. Разработаны структурные и функциональные параметры интеллектуальной системы поддержки принятия решений водоотведения с её интеграцией в существующие системы управления очистными сооружениями.

Ключевые слова: интеллектуальная система, водоотведение, оперативный сбор информации, система поддержки принятия решений.

Shtepa Vladimir. Structure and functionality intelligent decision support system for wastewater disposal. The shortcomings of the existing approaches to assessing the composition wastewater using laboratory equipment and real-time measuring instruments are analyzed. The problems that need to be solved when modeling the processes of the water disposal are substantiated. On the basis mathematical statistics, partial lack of normality in the distribution of the values wastewater quality indicators industrial enterprises was established. Structural and functional parameters of the intelligent decision support system for wastewater disposal with its integration into existing wastewater treatment plant control systems have been developed.

Key words: intelligent system, wastewater disposal, operational collection of information, decision support system.

Статья поступила в редакцию 27.11.2022

Рекомендуется к публикации профессором Зори С. А.

УДК 519.254

Практическое использование методов поиска и корректировки аномалий для построения точных прогнозов

О. В. Рычка

Донецкий национальный технический университет, г. Донецк
olga_rychka@mail.ru

Аннотация

В данной статье описаны особенности и основные функциональные возможности разработанной автоматизированной системы поиска и корректировки аномальных измерений. Проанализирована работа предложенных автором методов и доказана их эффективность на реальных статистических данных. Тестирование показало, что использование новых методов для поиска и обработки аномалий даёт положительные результаты, а полученный по найденной модели прогноз практически совпадает с реальными данными. Намечены направления дальнейших исследований.

Введение

Одной из важных проблем интеллектуального анализа данных является обнаружение значений, которые не соответствуют общей модели поведения, т.е. аномалий. Существуют различные причины выявления аномальных данных. Например, для своевременного обнаружения изменений в системе. Ещё одной существенной причиной обнаружения выбросов является необходимость построения надёжной математической модели для прогнозирования данных. В этом случае, результаты анализа без предварительной обработки данных могут быть искажены, что негативно повлияет на качество полученной прогнозной модели.

О важности поиска аномальных измерений говорит и наличие государственных стандартов в этой области, в частности, ГОСТ 8.736-2011 [1] и ГОСТ Р ИСО 16269-4-2017 [2].

Одним из главных инструментов анализа экспериментальных данных и обнаружения закономерностей в них является регрессионный анализ. Наиболее простыми и распространёнными уравнениями регрессии являются линейные. Они применяются в различных областях науки и отраслях промышленности (например, топливной, угольной и др.).

В настоящее время существует множество методов обнаружения аномалий для различных типов данных [3-8]. Однако, большинство предлагаемых решений применимы только для временных рядов, а также зависят от объёма исходных данных. Поэтому задача разработки и реализации алгоритма поиска аномальных измерений в исходных статистических данных является актуальной. В работах [9] и [10] автором были предложены улучшенные методы обнаружения

и обработки аномалий, описаны критерии оценки эффективности разработанных методов. Целью данной статьи является практическая оценка, разработанных автором алгоритмом поиска и последующей обработки аномальных данных.

Функциональные возможности программного комплекса

Учитывая большой объём анализируемых данных, существует необходимость разработки автоматизированных систем анализа и обработки данных. Поэтому был разработан комплекс программ, с помощью которого было проведено множество экспериментов с различными выборками.

Комплекс программ включает набор программных модулей, состоящий из главного интерфейса, написанного на языке C# в среде Microsoft Visual Studio 2017 и макросов, разработанных с применением языка программирования Visual Basic for Applications для Microsoft Excel, поскольку при необходимости автоматизировать обработку данных в MS Excel, данный язык является наиболее удобным.

Разработка осуществлялась исходя из того, что программное приложение должно выполнять следующие основные функции:

- ввод данных вручную или с помощью их загрузки из файла формата Microsoft Excel;
- предобработка данных (проверка на правильность ввода, сортировка);
- поиск аномальных измерений;
- отбрасывание или корректировка найденных аномальных значений;
- расчет коэффициентов эффективности;
- выбор наиболее точной модели;
- вывод результатов.

Разработанный программный комплекс состоит из следующих модулей:

- модуль для обнаружения и удаления аномальных данных;
- модуль для корректировки аномальных данных;
- модуль для графического отображения обнаруженных аномальных данных;
- модули для реализации модификаций методов.

Опишем подробнее работу программного приложения, исходя из функций, представленных выше.

При вводе данных, учитывается заданное пользователем количество наблюдений. Таблица с выгружаемыми данными должна иметь следующий формат: первая строка содержит название переменных (X в первом столбце и Y во втором), последующие строки – исходные статистические данные (рис. 1).

X	Y
500	1070
850	1060
880	1130
900	1110
900	1100
920	1140
920	1150
920	1150
930	1125
935	1152
940	1300
940	1130
950	1150
960	1150

Рисунок 1 – Вид окна с исходными данными

Под функцией предобработки данных подразумевается проверка на правильность ввода и последующая сортировка статистических данных. В приложении организован контроль ошибок. Если статистические данные введены некорректно, то приложение сигнализирует об этом пользователю с помощью соответствующего сообщения, после чего возможно изменение данных.

После ввода корректных данных, пользователь определяется с тем, будет ли он использовать один из методов (метод отбрасывания аномальных данных, метод корректировки аномальных данных) или выберет одну из модификаций и нажимает

соответствующую кнопку меню, что приводит к программному осуществлению всех необходимых расчетов и выводу итоговой таблицы (рис. 2), которая включает следующие параметры эффективности метода для каждого значения вероятности попадания в заданную область:

- а) значения коэффициентов детерминации R^2 ;
- б) величины доверительных интервалов;
- в) величины смещений;
- г) количество измерений (исходное и после отбрасывания);
- д) точность;
- е) коэффициенты нового линейного регрессионного уравнения.

Вероятность	R^2	ДИ, %	Отклонение, %	Количество	Точность	Уравнение ax+b
100	71,720...	25,0048		79		a= 0,7577b= 464,2163
90	95,71	5,7585	2,1878	75	0,9086	a= 0,8821b= 326,8074
85	95,48	5,7152	2,0736	74	0,8943	a= 0,8768b= 332,2279
80	97,57	2,4592	2,2498	72	0,8893	a= 0,8937b= 311,8719
75	97,44	2,4166	2,0185	70	0,8634	a= 0,8832b= 322,6841
70	97,31	2,4071	1,9654	69	0,85	a= 0,8809b= 325,091
65	96,7	2,3919	1,8739	63	0,7711	a= 0,8771b= 328,8341
60	96,37	2,383	1,8218	61	0,7442	a= 0,8748b= 331,2436
50	94,97	2,3768	1,7571	53	0,6371	a= 0,8709b= 335,5336

Рисунок 2 – Вид окна после выбора пункта меню «Метод отбрасывания-Весь метод»

При необходимости, можно просмотреть найденные в результате расчетов аномальные

измерения для каждого значения вероятности, перейдя на соответствующую вкладку (рис. 3)

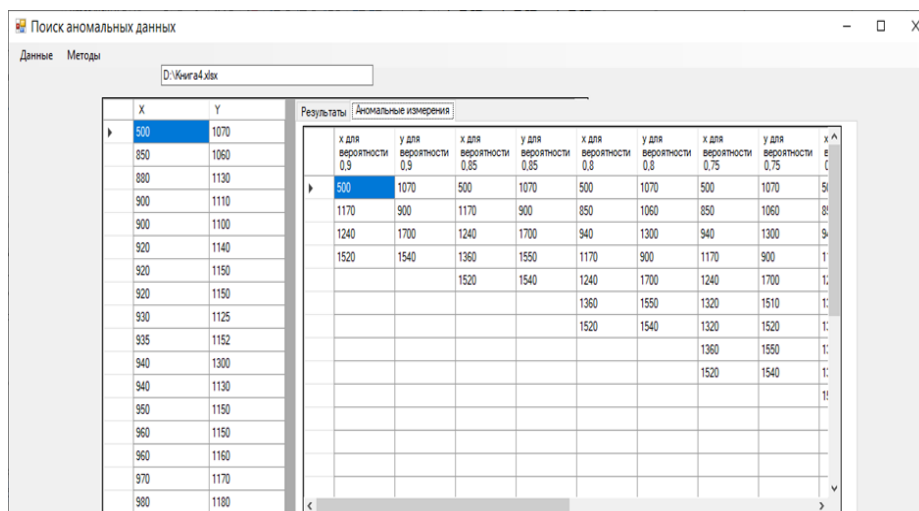


Рисунок 3 – Вид окна при выборе вкладки «Аномальные измерения»

Таким образом, все результаты отображаются в соответствующем окне программного комплекса, помимо этого результаты, а также промежуточные расчеты могут быть записаны в Excel-файл, который автоматически создаётся средствами C#. Кроме того, пользователь может не только рассчитывать показатели, но и заходить в редактор среды Microsoft Excel и работать непосредственно с ним.

Результаты применения методов поиска и обработки аномалий

Для верификации разработанных и описанных в работах [9], [10] методов рассмотрим пример на реальных данных – зависимость оборота розничной торговли непродовольственными товарами, млн. руб. от среднедушевого денежного дохода населения в РФ, руб./месяц. Значения взяты поквартально с

2013 по 2019 гг. на официальном сайте Федеральной службы государственной статистики. Величина коэффициента детерминации R^2 составляет 0,85, что говорит о достаточно тесной линейной зависимости между переменными.

Чтобы провести эксперимент и проверить работу методов, изменим 4 значения. После замены, величина коэффициента детерминации значительно уменьшилась и составила всего 0,55. Это доказывает, что аномальные данные оказывают большое влияние на исходную модель.

Все расчеты проводились с использованием разработанного программного комплекса. Результаты использования метода повышения качества парных линейных регрессионных моделей за счёт отбрасывания данных и его модификаций представлены в табл. 1.

Таблица 1 – Результаты

Вероятность попадания в область	Количество отброшенных точек			Метод, R^2	1-я модиф. R^2	2-я модиф. R^2	Метод. T	1-я модиф. T	2-я модиф. T
	Метод	1-я модиф.	2-я модиф.						
100	0	0	0	0,55	0,55	0,55			
90	2	2	2	0,69	0,69	0,61	0,64	0,64	0,561
85	4	4	2	0,789	0,81	0,61	0,67	0,68	0,561
80	4	5	2	0,789	0,85	0,61	0,67	0,69	0,561
70	5	6	3	0,79	0,854	0,57	0,64	0,66	0,51
65	7	6	5	0,83	0,854	0,5	0,61	0,65	0,44
60	8	7	7	0,8	0,876	0,4	0,56	0,65	0,3
50	9	8	8	0,77	0,87	0,36	0,51	0,61	0,24

Как видно из таблицы, при использовании предложенного метода были получены положительные результаты. Построение области надёжности при доверительной вероятности попадания данных в эту область равной 0,9 позволило обнаружить аномальные измерения. При применении самого метода, в этом случае, было выявлено два аномальных наблюдения. Их отбрасывание позволило увеличить коэффициент детерминации с 0,55 до 0,69. Отбрасывание всего 4-х значений позволило увеличить величину коэффициента детерминации до 0,79,

что также свидетельствует об адекватности, найденной при этом линейной регрессионной модели. Хочется особо отметить, что данные 4 наблюдения – это те наблюдения, которые были изменены в исходной выборке для проведения эксперимента. При этом соотношение коэффициента детерминации и значения точности в данном случае являются наилучшими, поэтому дальнейшее отбрасывание нецелесообразно.

Результаты применения метода на основе переноса данных, а также его модификаций представлены в табл. 2.

Таблица 2 – Результаты применения метода, основанного на корректировке данных

Вероятность попадания в область	Метод, R^2	1-я модиф. R^2	2-я модиф. R^2
0	0,55	-	-
90	0,71	0,61	0,69
85	0,75	0,65	0,7
80	0,77	0,69	0,69
70	0,79	0,74	0,66
65	0,791	0,77	0,62
60	0,792	0,79	0,6
50	0,78	0,82	0,5

В результате использования данного метода, коэффициент детерминации, также вырос до 0,79, при этом были изменены пять значений статистических данных. Максимальное и минимальное значение независимой переменной X изменились с 15800 и 58848 на 22228,43, и 39907,18 соответственно. Если сравнить их с реальными данными (21800 и 38848), то можно заметить, что они стали очень близки.

Таким образом, использование предложенных автором методов привело к:

- обнаружению всех аномальных и ненадёжных измерений;
- росту коэффициента детерминации R^2 , который достигает 15-30%;

- величина доверительного интервала уменьшается до 2 раз;

- построению нового линейного регрессионного уравнения, которое является надёжнее, чем исходное, что позволяет построить более точный прогноз;

- число элементарных операций менее 1000, для исходного объема выборки равного 27.

На рис. 4 представлены сравнения линий регрессии, построенных по уравнениям с реальными данными (при этом $R^2=0,85$) и аномальными ($R^2=0,55$). Как видно, из рисунка есть значительное отклонение между двумя линиями.

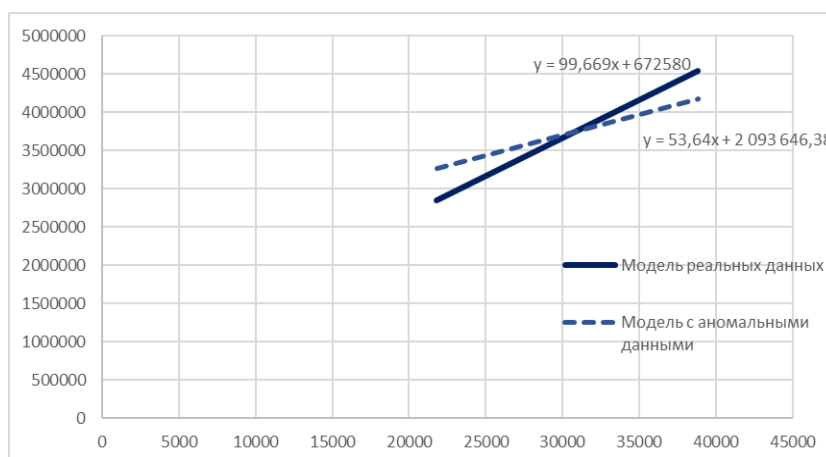


Рисунок 4 – Сравнения линий регрессии, построенных по реальным данным и с аномальными

На рис. 5 представлено сравнение линии регрессии, полученной по реальным данным и по данным после отбрасывания четырёх значений. Смещение уравнения, построенного

по реальным данным при максимальном значении переменной X, равному 38848 от уравнения, полученного после отбрасывания данных, составило всего 1.14%.

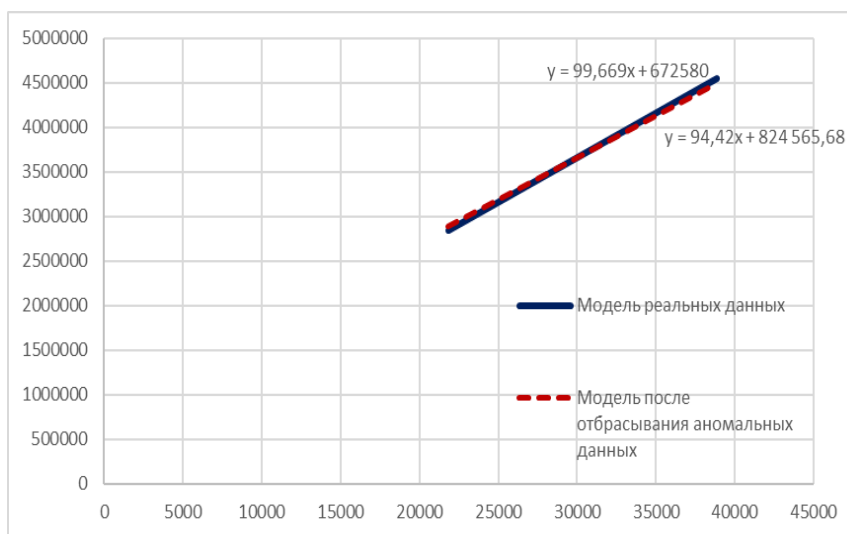


Рисунок 5 – Модель реальных данных и модель после отбрасывания аномальных данных

Таким образом, можно сделать вывод, что применение метода, основанного на отбрасывании данных, привело к получению модели идентичной реальной регрессионной модели, а значит она может быть использована для прогнозирования, поскольку результаты,

полученные по данной модели будут точными и надёжными.

Сравнивая модель, полученную по реальным данным и модель по данным после корректировки. Можно увидеть, что линии регрессии практически совпадают. Отклонение составляет 0,41% (рис. 6).

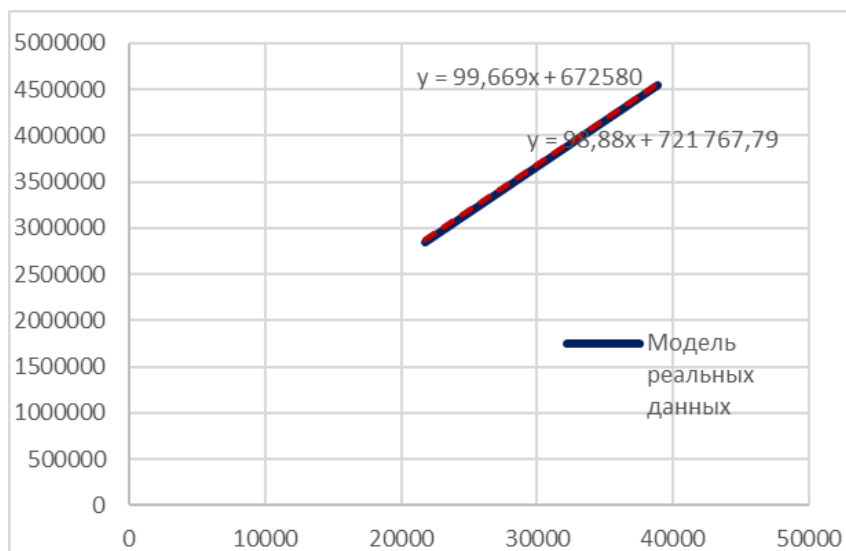


Рисунок 6 – Модель реальных данных и модель после корректировки аномальных данных

Для проверки адекватности полученных моделей по ним был осуществлён прогноз на 4 квартал 2019 г. и 2020 г., и сравнение с реальными данными с сайта Федеральной службы статистики. В таблице 3 представлен прогноз:

- по исходной модели, полученной по реальным данным;
- по модели с аномальными данными;
- по модели после отбрасывания аномальных данных;
- по модели после корректировки аномальных данных.

Таблица 3 – Прогнозные значения оборотов розничной торговли непродовольственными товарами

Период прогноза	X	Прогноз по исходной модели	Прогноз по модели с аномалиями	Прогноз по модели после отбрасывания аномалий	Прогноз по модели после корректировок и аномалий	Реальные данные
4 квартал 2019г.	41328	4791741,41	4310480,3	4726755,44	4808280,44	4873283,6
4 квартал 2020г.	42543	4912840,46	4375652,9	4841475,74	4928419,64	5048843,7
Отклонение, % для 2019 г.	-	1,67	11,55	3	1,33	-
Отклонение, % для 2020 г.	-	2,7	13,33	4	2,4	-

Как видно из таблицы, по моделям, построенным после обработки аномальных данных получены достаточно точные прогнозы. При использовании модели, полученной после корректировки 5 значений отклонение от прогноза, получилось даже меньше, чем при использовании модели, построенной по реальным данным (1,33% для 2019 г. и 2,4% для 2020 г.).

Выводы

С использованием языков программирования C# и Visual Basic for Application была разработана автоматизированная система поиска и корректировки аномальных данных по предложенным автором методам, которая позволяет сократить трудоёмкость проводимых испытаний.

В работе был выполнен анализ эффективности рассматриваемых методов на реальных статистических данных с применением автоматизированной системы. Тестирование показало, что использование новых методов для поиска и обработки аномалий даёт положительные результаты, поскольку были обнаружены все аномальные данные в рассматриваемом примере, а полученный по найденной модели прогноз практически совпадает с реальными данными (отклонение менее 2,5%).

В дальнейших исследованиях будет проводиться оценка эффективности результатов предложенных методов на практических предметных областях с целью построения точных прогнозов. Помимо этого, планируется расширение функциональности автоматизированной системы для многомерных регрессионных моделей.

Литература

- ГОСТ 8.736-2011 "Государственная система обеспечения единства измерений. Измерения прямые многократные. Методы обработки результатов измерений. Основные положения".
- ГОСТ Р ИСО 16269-4-2017 Статистические методы. Статистическое представление данных Часть 4. Выявление и обработка выбросов.
- Кириченко, А. В. Математические модели и методы анализа и прогнозирования: предварительная обработка результатов эксперимента, проверка статистических гипотез, корреляционный анализ, парный регрессионный анализ: учебное пособие / А. В. Кириченко и др. - Саратов: КУБиК, 2019. - 259 с.
- Chandola, V. Anomaly detection: A survey / V. Chandola, A. Banerjee, V. Kumar // ACM Comput. Surv., 2009. – № 41, 3, Article 15. – 58 p.
- Попукайло, В. С. Обнаружение аномальных измерений при обработке данных малого объема // Технология и конструирование в электронной аппаратуре, 2016. – № 4-5. – С. 42-46.
- Wilson, J. Holton. Regression Analysis: Understanding and Building Business and Economic Models Using Excel, 2nd Edition / J. Holton Wilson, Barry P. Keating, Mary Beal. — New York, USA, Business Expert Press, LLC, 2016. — 205 p.
- Кузовлев, В. И. Выявление аномалий при прогнозном анализе данных / В. И. Кузовлев, А. О. Орлов // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Приборостроение, 2016. – № 5. – С.75-85.
- Кузовлев, В. И. Метод выявления аномалий в исходных данных при построении прогнозной модели решающего дерева в

системах поддержки принятия решений / В. И. Кузовлев, А. О. Орлов // Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. Журн, 2012. - № 9. - URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metod-vyuavleniya-anomaliy-v-ishodnyh-dannyh-pri-postroenii-prognoznou-modeli-reshayuschego-dereva-v-sistemah-podderzhki-prinyatiya/viewer>.

9. Рычка, О. В. Разработка алгоритма реализации методов повышения качества регрессионных моделей, используемых при

проектировании технических систем // Информатика и кибернетика. – Донецк: ДонНТУ, 2020. - № 3 (21). - С.42-48.

10. Рычка, О. В. Анализ эффективности усовершенствованных методов поиска и обработки аномалий для нелинейных моделей с внутренней линейностью // Международный рецензируемый научно-теоретический журнал «Проблемы искусственного интеллекта». – Донецк, 2020. – Вып. №3(18). – С. 101-110.

Рычка О.В. Практическое использование методов поиска и корректировки аномалий для построения точных прогнозов. В данной статье описаны особенности и основные функциональные возможности разработанной автоматизированной системы поиска и корректировки аномальных измерений. Проанализирована работа предложенных автором методов и доказана их эффективность на реальных статистических данных. Тестирование показало, что использование новых методов для поиска и обработки аномалий даёт положительные результаты, а полученный по найденной модели прогноз практически совпадает с реальными данными. Намечены направления дальнейших исследований.

Ключевые слова: аномальные измерения, автоматизированная система, поиск аномалий, корректировка аномалий, эффективность, прогноз.

Rychka O.V. Practical use of methods for finding and correcting anomalies to build accurate forecasts. This article describes the features and main functionality of the developed automated system for searching and correcting anomalous measurements. The work of the methods proposed by the author is analyzed and their effectiveness is proved on real statistical data. Testing has shown that the use of new methods for finding and processing anomalies gives positive results, and the forecast obtained from the found model practically coincides with real data. The directions of further research are outlined.

Key words: anomalous measurements, automated system, anomaly search, anomaly correction, efficiency, forecast.

Статья поступила в редакцию 23.11.2022
Рекомендуется к публикации профессором Зори С. А.

Об авторах

Бездетный Николай Артёмович - аспирант кафедры программной инженерии факультета интеллектуальных систем и программирования ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет».

Бельков Дмитрий Валерьевич - кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры прикладной математики и искусственного интеллекта факультета интеллектуальных систем и программирования ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет».

Боднар Алина Валериевна – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры программной инженерии факультета интеллектуальных систем и программирования ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет».

Воробьёв Л. О. - аспирант кафедры программной инженерии факультета интеллектуальных систем и программирования ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет».

Григорьев Александр Владимирович - кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры программной инженерии факультета интеллектуальных систем и программирования ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет».

Дмитрюк Татьяна Григорьевна - ассистент кафедры программной инженерии факультета интеллектуальных систем и программирования ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет».

Добровольский Юрий Николаевич - старший преподаватель кафедры прикладной математики факультета интеллектуальных систем и программирования ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет».

Зори Сергей Анатольевич - доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой программной инженерии факультета интеллектуальных систем и программирования ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет».

Коломойцев Владимир Андреевич - магистрант кафедры программной инженерии факультета интеллектуальных систем и программирования ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет».

Кулик Борис Александрович - доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник, ведущий научный сотрудник Института Проблем Машиноведения РАН, г. Санкт-Петербург.

Лазебная Людмила Александровна - кандидат технических наук, доцент кафедры прикладной математики и искусственного интеллекта факультета интеллектуальных систем и программирования ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет».

Павлыш Владимир Николаевич – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры и заведующий кафедрой прикладной математики факультета и искусственного интеллекта факультета интеллектуальных систем и программирования ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет», председатель Совета Д 01.024.04 по защите докторских и кандидатских диссертаций, член Совета Д 01.008.01 по защите докторских и кандидатских диссертаций.

Рычка Ольга Валентиновна - кандидат технических наук, доцент кафедры программной инженерии факультета интеллектуальных систем и программирования ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет».

Штепа Владимир Николаевич - доктор технических наук, доцент, проректор по научной работе УО “Полесский государственный университет”, г. Пинск, Республика Беларусь.

**Требования к статьям,
направляемым в редакцию научного журнала
«Информатика и кибернетика»**

Редколлегией принимаются к рассмотрению статьи, в которых рассматриваются важные вопросы в области информатики и кибернетики. Научный журнал издаётся с 2015 года, периодичность издания – 4 раза в год.

В журнале предусмотрены следующие рубрики:

- информатика и вычислительная техника;
- компьютерные и информационные науки;
- инженерное образование.

В соответствии с номенклатурой специальностей научных работников МОН ДНР первые две рубрики соответствуют следующим укрупненным группам специальностей научных работников:

- 05.01 – «Инженерная геометрия и компьютерная графика»,
- 05.13 – «Информатика, вычислительная техника и управление».

С 01.02.2019 Научный журнал включён в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание учёной степени кандидата наук, на соискание учёной степени доктора наук (приказ МОН ДНР № 135) по группам специальностей 05.01.00 и 05.13.00.

Рубрика «Инженерное образование» предназначена опубликования сотрудниками научно-методических статей.

Журнал также включён в базу данных РИНЦ (Российский индекс научного цитирования) (лицензионный договор № 425-07/2016 от 14.07.2016).

Статьи, представляемые в данный сборник, должны отвечать следующим требованиям. **Содержание статьи** должно быть посвящено актуальным научным проблемам и включать следующие необходимые элементы:

- постановку проблемы в общем виде, её связь с важными научными и практическими задачами;
- анализ последних исследований и публикаций, в которых решается данная задача и на которые опирается автор, выделение нерешенных ранее частей общей проблемы, которым посвящается статья;
- формулировка цели статьи и постановка задач, решаемых в ней;
- изложение основного материала с полным обоснованием полученных научных результатов;
- выводы и перспективы последующих исследований в данном направлении.

Каждый элемент должен быть выделен соответствующим названием раздела, например, «введение», «постановка задачи», «цель и задачи работы», «цель статьи», «цель исследования», «цель разработки», «анализ ... », «сравнительная оценка ... », «разработка ... », «проектирование ... », «программная реализация», «тестирование ... », «полученные результаты», «выводы», «литература». Разделы «введение», «выводы», «литература» являются **обязательными**. Включать в названия разделов нумерацию не разрешается.

В основном тексте статьи формулируются и обосновываются полученные авторами утверждения и результаты. Выводы должны полностью соответствовать содержанию основного текста. Языки публикаций: русский, английский.

Объём статьи, формат страницы

Для оформления статьи следует использовать листы формата А4 (210x297 мм) с полями по 2,5 см со всех сторон. Нумерацию страниц выполнять не нужно.

Рекомендуемый объём статьи – 6-12 страниц. Рукописи меньшего объёма могут быть рекомендованы к публикации в качестве коротких сообщений.

Последняя страница текста статьи должна быть заполнена не менее чем на две трети, но содержать не менее трёх пустых строк в конце.

Форматирование текста

Подготовка статьи осуществляется в текстовом редакторе Microsoft Office Word.

Весь текст статьи оформляется шрифтом Times New Roman 10 пт с одинарным междустрочным интервалом, если ниже в требованиях не сказано иного. Абзацный интервал «перед» – 0 пт, «после» – 0 пт.

На первой строке с выравниванием по левому краю располагается УДК.

Заголовок (название) статьи оформляется шрифтом Times New Roman 14 пт, полужирное начертание, с выравниванием по центру (без абзацных отступов). Заголовок статьи следует печатать с прописной буквы без точки в конце, переносы слов не допускаются. Абзацный интервал «перед» – 12 пт, «после» – 12 пт.

После названия статьи следует информация об авторах, которая выравнивается по центру (без абзацных отступов). На одной строке указываются инициалы и фамилии всех авторов через запятую. Между двумя инициалами ставится пробел. С новой строки указывается название вуза (организации) и город (для каждого автора, если не совпадают). На следующей строке указываются адреса электронной почты (один адрес либо каждого автора – по желанию). Адрес электронной почты оформляется в виде гиперссылки.

К тексту аннотации применяется курсивное начертание, с выравниванием по ширине, отступы слева и справа по 1 см. Заголовок «Аннотация» выделяется полужирным начертанием. Объем аннотации – 450-550 символов (без пробелов). Абзацный интервал «перед» – 12 пт, «после» – 12 пт.

Основной текст статьи разбивается на две колонки шириной по 7,5 см (промежуток между столбцами – 0,99 см), выравнивается по ширине. Абзацный отступ первой строки – 1 см. Автоматический перенос слов не применяется.

Заголовки разделов выполняются шрифтом Arial 10 пт, полужирное курсивное начертание. Абзацный отступ отсутствует, интервал перед абзацем – 12 пт, после абзаца – 6 пт. Для заголовка «Введение» установить интервал «перед» – 0 пт, «после» – 6 пт.

Таблицы в тексте статьи

Название следует помещать над таблицей с абзацного отступа (1 см) в формате: слово «Таблица», пробел, номер таблицы, пробел, тире, пробел, название таблицы. Название таблицы записывают с прописной буквы без точки в конце строки и выравнивают по ширине. В ячейках таблицы устанавливается выравнивание текста по центру по вертикали. По горизонтали текст выравнивается по центру либо по левому краю. Границы ячеек таблицы должны быть только чёрного цвета, толщина линии – 1 пт. На все таблицы должны быть приведены ссылки в тексте статьи, при ссылке следует писать слово «табл.» с указанием её номера, например, «... данные приведены в табл. 5». Таблицы нумеруются в пределах статьи. Таблица располагается сразу после ссылки на неё, если это возможно (например, после окончания абзаца). Если же таблица не помещается на текущей странице, то она должна быть расположена в начале следующей страницы (или колонки). При необходимости допускается включение в статью таблицы, ширина которой превышает ширину колонки. В этом случае таблица и её название размещаются по центру страницы. Таблица не должна выступать за границы полей страницы. Таблица и её название отделяются от основного текста статьи одной пустой строкой до и после.

Рисунки в статье

Ссылки на иллюстрации по тексту статьи обязательны и оформляются в виде «... на рис. 2» и т. п. Рисунок и его подпись выравниваются по центру колонки (без абзацных отступов), положение рисунка – «в тексте». Размещается рисунок после его первого упоминания в тексте, если это возможно (например, после окончания абзаца). Если же иллюстрация не помещается на текущей странице, то она должна быть расположена в начале следующей страницы (или колонки). При необходимости допускается включение в статью рисунка, ширина которого превышает ширину колонки. В этом случае рисунок и его подпись выравниваются по центру страницы. Иллюстрация не должна выступать за границы полей страницы. Подпись рисунка оформляется в формате: слово «Рисунок», пробел, номер иллюстрации, пробел, тире, пробел, название рисунка. Название рисунка записывают с прописной буквы без точки в конце строки. Для подписи иллюстрации применяют курсивное

начертание. Иллюстрация и её подпись отделяются от основного текста статьи одной пустой строкой до и после. Не допускается выполнять рисунки с помощью встроенного графического редактора Microsoft Office Word. Если на иллюстрации имеется текст, размер шрифта должен быть не менее чем аналогичный текст, набранный шрифтом Times New Roman 10-го размера. Иллюстрация не должна содержать много незаполненного пространства.

Формулы

Формулы и уравнения рекомендуется набирать с использованием MathType (предпочтительно) или MS Equation. Формулы и математические символы не должны существенно отличаться по размеру от основного текста. Обязательной является нумерация формул, на которые имеется ссылка в тексте статьи. Ссылки в тексте на порядковые номера формул дают в скобках, например, «... согласно формуле (2)». Формулы размещаются по центру колонки, а их номера – по правому краю. Как для строки с формулой, так и для первой строки пояснений (при наличии), абзацный отступ убирается. Первая строка пояснения начинается со слова «где», после которого следует поставить табуляцию на 1 см, затем само пояснение в формате: символ, подлежащий объяснению, пробел, тире, пробел, поясняющий текст, запятая, обозначение единицы измерения физической величины. Пояснения перечисляются через точку с запятой, выравниваются по ширине. Вторая и последующие строки пояснений начинаются с абзацного отступа (1 см). Весь блок текста, связанный с формулой (только формула, несколько формул подряд или формула с пояснениями), отделяется от основного текста одной пустой строкой до и после. Переносить формулы на следующую строку допускается только на знаках выполняемых операций, причем знак в начале следующей строки повторяют. При переносе формулы на знаке умножения применяют знак «×». Формулы и математические уравнения могут быть записаны в тексте документа, если их высота не превышает высоту строки. При этом следует учитывать, что знаки математических операций отделяются от чисел или символов пробелами с обеих сторон. Например, «Если учесть, что $y < 0$ и $2x + y = 1$, то из формулы (3) можно выразить $x...$ ». К символам, которые приведены в формуле, при дальнейшем их употреблении (в том числе в пояснениях к формуле) должно применяться курсивное начертание. При этом к любым числам (верхние и нижние индексы, содержащие цифры и т.п.), а также к математическим знакам курсивное начертание не применяется. Не допускается вставлять формулы, выполненные в виде рисунков.

Перечисления: оформление списков

Основной текст статьи может содержать перечисления, оформленные в виде маркированного списка. В качестве маркера элемента списка разрешается использовать только короткое тире «—». Каждый элемент перечисления записывается с новой строки с абзацного отступа, равного 1 см. После символа короткого тире текст располагается с отступом в 1,5 см от левой границы строки, выравнивается по ширине, при переносе на новые строки располагается без отступов. Нумерованные и многоуровневые списки включать в статью не разрешается.

Литература

В тексте статьи обязательны ссылки на все литературные источники, номер источника указывается в квадратных скобках. Ссылки на неопубликованные работы не допускаются. Рекомендуемое количество источников, на которые ссылается автор, не менее 10. Перечень источников приводится в порядке их упоминания в статье. Библиографическое описание каждого литературного источника оформляется в соответствии с ГОСТ Р 7.0.100–2018. Перечень литературных источников оформляется в виде нумерованного списка. В качестве маркеров элементов списка используют порядковые арабские цифры с точкой. Каждый источник представляет собой отдельный элемент перечисления, записывается с новой строки с абзацного отступа, равного 1 см. После порядкового номера с точкой текст располагается с отступом в 1,5 см от левой границы строки, выравнивается по ширине, при переносе на новые строки располагается без отступов.

В конце статьи обязательно приводятся аннотации на русском и английском языках, каждая заканчивается перечнем 5-6 ключевых слов.

К тексту аннотации применяется курсивное начертание, с выравниванием по ширине, отступы слева и справа по 1 см. Слово «Аннотация» опускается. Текст аннотации начинается с ФИО авторов и названия статьи, выделяемых полужирным начертанием. Аннотация на русском языке совпадает с аннотацией, приведенной в начале статьи. В тексте аннотации на английском языке после фамилии автора указывается только первая буква имени с точкой. Абзацный интервал «перед» – 12 пт, «после» – 12 пт. Ключевые слова оформляются с новой строки аналогично тексту аннотации. Заголовок «Ключевые слова:» (англ. «Keywords:») выделяется полужирным начертанием. Ключевые слова перечисляются через запятую.

Порядок представления статьи и сопроводительные документы

В редакцию необходимо представить:

- файл с текстом статьи;
- файл, содержащий фамилию, имя и отчество авторов полностью; ученую степень, ученое звание; место работы с полным указанием должности, подразделения и наименования организации, города (страны); номера телефонов и e-mail для связи;
- экспертное заключение о возможности публикации статьи, подписанное руководителем и заверенное печатью организации, в которой работает автор статьи;
- выписка из заседания кафедры или письмо организации с просьбой об опубликовании и указанием, что изложенные в статье результаты ранее не публиковались.

Статьи и сопроводительные документы следует высылать на электронный адрес infcyb.donntu@yandex.ru.

К сведению авторов

Если статья оформлена с нарушением указанных выше требований и правил, редакция после предварительного рассмотрения может отклонить статью.

На рецензирование статьи направляются членам редакционной коллегии журнала. Все статьи публикуются при наличии положительной рецензии.

В статью могут быть внесены изменения редакционного характера без согласования с автором. Ответственность за содержание статьи и качество перевода аннотаций несут авторы.

Публикация статей в научном журнале «Информатика и кибернетика» осуществляется на некоммерческой основе.

Все номера Научного журнала размещаются на сайте <http://infcyb.donntu.ru/>.

CONTENT

Computer sciences

Expanding the possibilities of logical analysis by clarifying the interpretation of predicate calculus
Kulik B. A.5

Informatics and computer engineering

Improving the automated system for accounting for the activities of an enterprise on the example of a network of catering establishments
Bodnar A. V., Kolomoitsev V. A.16

Overview of tools for developing dialog agents with knowledge bases
Vorobyov L. O., Grigoriev A. V.22

Algorithmic support of the DSS for the enterprise production and logistics activities optimal planning
Dmitriuk T.28

Development of a model and simulation the spread of a virus epidemic using the Unity game engine
Zori S. A., Bezdetniy N. A.38

Mathematical modeling of radial filtration in a coal seam taking into account its fractal void structure
Pavlysh V. N., Dobrovolsky Yu. N., Lazebnaya L. A., Belkov D. V.44

Structure and functionality intelligent decision support system for wastewater disposal
Shtepa V.51

Practical use of methods for finding and correcting anomalies to build accurate forecasts
Rychka O. V.58

About Authors65

Requirements to articles which are sent to the editors office of the scientific journal “Informatics and Cybernetics”67

Электронное периодическое издание

Научный журнал

ИНФОРМАТИКА И КИБЕРНЕТИКА

(на русском, английском языках)

№ 3 (29) - 2022

Ответственный за выпуск Р. В. Мальчева

Технический редактор Р. В. Мальчева

Компьютерная верстка Р. В. Мальчева

Подписано к выпуску 05.11.2021. Усл. печ. лист. 8,3. Уч.-изд. лист.5,1.
Адрес редакции: ДНР, 83001, г. Донецк, ул. Артема, 58, ГОУ ВПО «ДонНТУ»,
4-й учебный корпус, к. 36., ул. Кобозева, 17.
Тел.: +38 (062) 301-07-35, +38 (071) 334-89-11
E-mail: infcyb.donntu@yandex.ru, URL: <http://infcyb.donntu.ru>