

ISSN 2413 - 0133

Scientific journal

# ИНФОРМАЦИОННЫЕ И МАТЕМАТИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ В НАУКЕ И УПРАВЛЕНИИ

№2(22)/ 2021

6+

**ИНФОРМАЦИОННЫЕ И МАТЕМАТИЧЕСКИЕ  
ТЕХНОЛОГИИ В НАУКЕ И УПРАВЛЕНИИ**

**Научный журнал**

**№ 2 (22)**



## EDITORIAL BOARD

Ablameyko S.V.  
 Arshinskiy L.V.  
 Berestneva O.G.  
 Boukhanovsky A.V.  
 Bychkov I.V.  
 Woern H.  
 Voevodin V.V.  
 Wolfengagen V.E.  
 Voropai N.I.  
 Gornov A.Y.  
 Gribova V.V.  
 Groumpos P.  
 Eliseev S.V.  
 Zorina T.G.  
 Kazakov A.L.  
 Kalimoldaev M.N.  
 Karpenko A.P.  
 Komendantova N.P.  
 Kureichik V.V.  
 Lis R.  
 Massel L.V.  
 Moskvichev V.V.  
 Mokhor V.V.  
 Ovtcharova J.  
 Popov G.T.  
 Sidorov D.N.  
 Smirnov S.V.  
 Stylios C.  
 Taratukhin V.V.  
 Khamisov O.V.  
 Hodashinsky I.A.  
 Chubarov L.B.  
 Yusupova N.I.

## РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ ЖУРНАЛА

Абламейко С.В., академик НАН Беларуси, Минск, БГУ  
 Аршинский Л.В., д.т.н., Иркутск, ИрГУПС  
 Берестнева О.Г., д.т.н., Томск, ТПУ  
 Бухановский А.В., д.т.н., Санкт-Петербург, НИУ ИТМО  
 Бычков И.В., академик РАН, Иркутск, ИДСТУ СО РАН  
 Вёрн Х., Германия, Karlsruhe Institute of Technology (KIT)  
 Воеводин В.В., чл.-корр. РАН, Москва, НИВЦ МГУ  
 Вольфенгаген В.Э., д.т.н., Москва, МИФИ  
 Воропай Н.И., чл.-корр. РАН, Иркутск, ИСЭМ СО РАН  
 Горнов А.Ю., д.т.н., Иркутск, ИДСТУ СО РАН  
 Грибова В.В., д.т.н., Владивосток, ИАПУ ДВО РАН  
 Грумпос П., Греция, University of Patras  
 Елисеев С.В., д.т.н., Иркутск, ИрГУПС  
 Зорина Т.Г., д.т.н., Республика Беларусь, Институт энергетики НАН Беларуси  
 Казаков А.Л., д.ф.-м.н., Иркутск, ИДСТУ СО РАН  
 Калимолдаев М.Н., академик НАН РК, Республика Казахстан, ИИВТ  
 Карпенко А.П., д.ф.-м.н., Москва, МГТУ им. Баумана  
 Комендантова Н.П., PhD, Австрия, Лаксенбург, ПАСА  
 Курейчик В.В., д.т.н., профессор ЮФУ, Таганрог  
 Лис Р., Польша, Wrocław University of Science and Technology  
 Массель Л.В., д.т.н., Иркутск, ИСЭМ СО РАН  
 Москвичев В.В., д.т.н., Красноярск, СКТБ «Наука» СО РАН  
 Мохор В.В., д.т.н., Киев, ИПМЭ им. Г.Е. Пухова НАН Украины  
 Овчарова Ж., Германия, Karlsruhe Institute of Technology (KIT)  
 Попов Г.Т., Болгария, г. София, Технический университет  
 Сидоров Д.Н., д.ф.-м.н., Иркутск, ИСЭМ СО РАН  
 Смирнов С.В., д.т.н., Самара, ИПУСС РАН  
 Стилос Х., Греция, Technological Educational Institute of Epirus  
 Таратухин В.В., Германия, ERCIS, University of Muenster  
 Хамисов О.В., д.ф.-м.н., Иркутск, ИСЭМ СО РАН  
 Ходашинский И.А., д.т.н., Томск, ТУСУР  
 Чубаров Л.Б., д.т.н., Новосибирск, ИВТ СО РАН  
 Юсупова Н.И., д.т.н., Уфа, УГАТУ

## EXECUTIVE EDITORIAL

Chief Editor Massel L.V.  
 Executive Editor  
 Bakhvalova Z.A.  
 Editor Kopaigorodsky A.N.  
 Editor Massel A.G.  
 Designer Pesterev D.V.

## ИСПОЛНИТЕЛЬНАЯ РЕДАКЦИЯ ЖУРНАЛА

Главный редактор	Массель Л.В.	д.т.н., Иркутск, ИСЭМ СО РАН
Выпускающий редактор	Бахвалова З.А.	к.т.н., Иркутск, ИСЭМ СО РАН
Редактор	Копайгородский А.Н.	к.т.н., Иркутск, ИСЭМ СО РАН
Редактор	Массель А.Г.	к.т.н., Иркутск, ИСЭМ СО РАН
Дизайнер	Пестерев Д.В.	Иркутск, ИСЭМ СО РАН

## Адрес учредителя, издателя и редакции

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
 Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева  
 Сибирского отделения Российской академии наук (ИСЭМ СО РАН)  
 664033 г. Иркутск, ул. Лермонтова, 130  
 Тел: (3952) 42-47-00 Факс: (3952) 42-67-96

Раб. тел.: 8 (3952) 500-646 доп. 441

Массель Л.В. e-mail: [massel@isem.irk.ru](mailto:massel@isem.irk.ru)

Раб. тел.: 8 (3952) 500-646 доп. 440

Бахвалова З.А. e-mail: [zinand@isem.irk.ru](mailto:zinand@isem.irk.ru)

Сайт журнала - <https://www.imt-journal.ru/>

Журнал включен в Российский индекс научного цитирования (РИНЦ). Номер контракта 202-04/2016. Журнал зарегистрирован в Роскомнадзоре. Регистрационный номер ПИ № ФС 77 – 73539.

Отпечатано в полиграфическом участке ИСЭМ СО РАН

СС ВУ

\*Подписка на журнал доступна со второго полугодия 2021г.

Дата выхода 25.06.2021 г. Тираж 100 экз.

© Издательство ИСЭМ СО РАН  
 Цена свободная. (6+)

**Математическое моделирование**

- Черкашин А.К.** Математическое объяснение устойчивого политического развития общества 5
- Доронин С.В., Филиппова Ю.Ф.** Цифровые модели живучести для поддержки жизненного цикла стержневых конструкций 21
- Борисоглебская Л.Н., Сергеев С.М., Лебедева Я.О.** Моделирование проблемы энергоэффективности удаленных аграрных хозяйств 32

**Технологии искусственного интеллекта**

- Сикулер Д.В.** Ресурсы, предоставляющие данные для машинного обучения и проверки технологий искусственного интеллекта 39
- Рейзмунт Е.М., Доронин С.В.** Цифровые модели нагруженности прецизионной зеркальной антенны для интеллектуальной поддержки стадии эксплуатации. 53
- Семенова В.А.** Эвристика и численный метод нормализации эмпирического  $V^{TF}$ -контекста в онтологическом анализе данных 61

**Методологические аспекты информационных и математических технологий**

- Туктарова П.А., Мансурова Ю.Т.** Формирование системы показателей оценки деятельности промышленного предприятия 70
- Расторгуев И.А., Щепетина Т.Д.** Методика поиска оптимальной конфигурации системы атомных станций с учетом влияния рисков, капитальных затрат и ущербов от аварий 77
- Борисоглебская Л.Н., Данилевич Д.В., Пахолкин Е.В., Сергеев С.М.** Постановка задачи исследования конкуренции двух фирм с учетом их взаимной осведомленности 89

**Программные комплексы и информационные системы**

- Никулина Н.О., Малахова А.И., Баталова В.И.** Методика оценки вклада участников проектной команды в достижение целей ИТ-проекта 94
- Титарев Д.В., Трунников М.В., Володин П.Ю.** Проектирование и разработка программного комплекса для автоматического подбора насосных станций водоснабжения и формирования технико-коммерческих предложений 105
- Барсукова М.Н., Вараница-Городовская Ж.И., Иванько Я.М., Ромме А.А.** Программный комплекс «Прогнозирование производственно-экономических показателей аграрного производства 115

**Math modeling**

- Cherkashin A.K.** Mathematical explanation of sustainable political development of the society 5
- Doronin S.V., Filippova Y.F.** Digital model of survivability to support the life cycle of bar structures 21
- Borisoglebskaya L.N., Sergeev S.M., Lebedeva Y.O.** Modeling the problem of energy efficiency remote agrarian farms 32

**Artificial intelligence technologies**

- Sikuler D.V.** Resources providing data for machine learning and testing artificial intelligence technologies 39
- Rejzmun E.M., Doronin S.V.** Digital load models of precision mirror antenna for intelligent support of the operation stage 53
- Semenova V.A.** Heuristics and numerical method for normalizing the empirical context in ontological data analysis. 61

**Methodological aspects of information and mathematical technologies**

- Tuktarova P.A., Mansurova J.T.** Formation of the industrial enterprise performance indicators system. 70
- Rastorguev I.A., Shchepetina T.D.** Methodology of searching for the optimal configuration of a nuclear plant system taking into account the influence of risks, capital costs and damage from accidents 77
- Borisoglebskaya L.N., Danilevich D.V., Pakholkin E.V., Sergeev S.M.** Formulation of the problem for researching the competition of two firms taking into account their mutual awareness 89

**Software complexes and information systems**

- Nikulina N.O., Malakhova A.I., Batalova V.I.** A methodology of assessing the efforts of the project team members in achieving the goals of the it project 94
- Titarev D., Trunnikov M., Volodin P.** Design and development of the software complex for automatic selection of pumping stations of water supply and formation of technical and commercial proposals 105
- Barsukova M.N., Varanitsa-Gorodovskaya Z.I., Ivanyo Y.M., Romme A.A.** Software complex "Forecasting production and economic indicators of agricultural production" 115

УДК 51-77:321:303.09

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОБЪЯСНЕНИЕ УСТОЙЧИВОГО ПОЛИТИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ ОБЩЕСТВА

**Черкашин Александр Константинович**

д.г.н., профессор, главный научный сотрудник,  
зав. лабораторией «Теоретическая география», e-mail: [cherk@mail.icc.ru](mailto:cherk@mail.icc.ru),  
Институт географии им. В. Б. Сочавы СО РАН,  
664033 г. Иркутск, ул. Улан-Баторская, 1

**Аннотация.** Обсуждается возможность математического объяснения современных социально-политических событий в Российской Федерации и за рубежом, что проявляют скрытые закономерности расслоения и изоляции общества на всех уровнях его организации. Формируются новые модели дистанционного взаимодействия – коммуникации разных социальных слоев, объединение их в комплексы сетей информационно-функциональных связей. Эти закономерности сквозным образом в разных масштабах описываются метатеоретическими моделями и методами расслоения с использованием универсальных математических уравнений, аксиоматической теории деятельности и устойчивого развития, раскрывающими этические, правовые и политические аспекты сосуществования. Содержательная интерпретация формального подхода основывается на идеях трансцендентальной аргументации И.Канта – автора морально-нравственного категорического императива, концепции правового государства и политической философии. Формулируется безусловная идея устойчивого мироустройства, которая берется за основу всякого общественного закона как выражения идеала, прообраза будущего, что становится основанием для предсказания прогрессивных форм политической деятельности.

**Ключевые слова:** Математическое моделирование, расслоение политического пространства, устойчивое развитие, метатеоретический анализ знаний.

**Цитирование:** Черкашин А. К. Математическое объяснение устойчивого политического развития общества // Информационные и математические технологии в науке и управлении. 2021. № 2 (22). С. 5-20. DOI:10.38028/ESI.2021.22.2.001

**Введение.** Актуальными остаются задачи применения математических знаний для анализа в области гуманитарных наук [1], для решения которых предлагаются разные методы [2]. Использование методологических и теоретических средств информационных и математических технологий в перспективе даст возможность определить и объяснить особенности происходящих в стране и мире социальных процессов и обеспечить прогноз тенденций развития общества.

С начала 2020 г. социально-политическая ситуация в России и во всем мире коренным образом изменилась. В прессе, на радио, телевидении и в социальных сетях демонстрируются различные суждения по этому поводу, объясняющие и предполагающие последствия случившегося. В Российской Федерации (РФ) приход к власти технократического правительства упорядочил процесс принятия решений и повысил эффективность управления в преддверии развития пандемии коронавируса COVID-19 в мире и на территории страны и сопутствующего экономического кризиса. Параллельно шел процесс внесения изменений и дополнений в Конституцию РФ, чтобы осознать и зафиксировать итоги трансформации государственного устройства России на фоне преобразований международных отношений, глобальной экономики и политики.

Мировое сообщество пытается реагировать на современные вызовы, формирующиеся на фоне борьбы с пандемией коронавируса, обострившей все противоречия территориального, национального и расового характера [3]. Пандемия COVID-19 еще раз укрепила власть государства в его традиционной роли защитника общества от внешних угроз [4]. Делается попытка в отсутствии реальной информации описать нынешний уникальный по форме и содержанию кризис, в эпицентре которого находится Россия [5]. Идет постепенная адаптация

общества к сложившимся обстоятельствам или их активное преодоление. Стоит проблема предсказания будущего человеческой цивилизации, для чего с прикладной целью требуется развитие методологии политического анализа и прогнозирования [6-9], что на пути развития аналитической традиции в науке основывается на триединстве дополняющих друг друга философского, математического и эмпирического (мета)анализа.

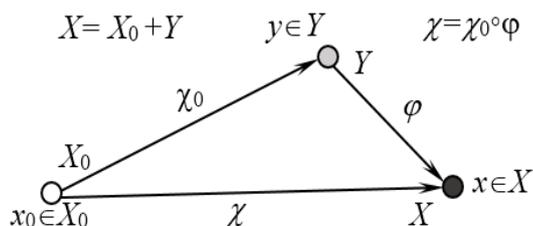
**1. Постановка задачи и пути решения.** Исходим из признания плюрализма прогностической деятельности, зависимой от целей, объектов и методов решения проблем теоретически обоснованного осмысления возможных направлений и форм развития политической жизни общества. Обоснованность прогнозных суждений в отдельной предметной области возможен, основываясь только на знании законов соответствующей системной теории и наличии данных об особенностях текущей политической обстановки (базовых, начальных и граничных геоисторических условий). К объективным методам поискового и нормативного прогноза относятся экстраполяция, моделирование, экспертиза и другие средства предсказательной аналитики (predictive analytics) в области политологии [10].

В частности, при поисковом прогнозе методами математического моделирования инвестиционных циклов в регионах РФ с использованием огибающих кривых обоснована возможность возникновения нового экономического кризиса в 2019-20 гг. [11]. Это подтверждается результатами ежегодного мониторинга, указывающего на рост общественного запроса на перемены [12]. По этой причине 2020 год стал моментом коренных изменений во внешней и внутренней политике, что выразилось в реорганизации Правительства РФ и в целом новой организации российского общества через перестройку общественных отношений на всех уровнях с изменением приоритетов государственной политики, закрепленных в Конституции РФ через всенародное обсуждение.

В обновлённой Конституции РФ частично сняты недостатки и ранее существовавшие противоречия, но появились новые проблемы разного понимания «единства во множестве», «равенства противоположностей», «свободы и правовой необходимости». Возможность их решения связывается с методологией трансцендентальной (ТЦ) философии И.Канта как автора доктрины правового государства [13] и политической философии [14-15]. Обращается внимание на необходимость учета положения кантовской философии о дополнительности морали и права [16]. Обсуждаются вопросы первоначальных истоков прав и свободы личности и суверенности государств. Формируется безусловная идея государственного устройства, которая не может быть показана на опыте, но которую следует брать за основу всякого закона как выражения идеала – совершенного строя в качестве прообраза будущего, всеобщего образца, нравственного-социального-общечеловеческого абсолюта, чтобы постепенно приближать общественное устройство ко все большему совершенству [17]. В таком подходе проявляется стремление к ясности и четкости мышления и рациональной аргументации выводов.

В середине прошлого столетия разработаны несколько концепций объяснения: кибернетическая схема Н. Винера, схема объяснения действия Е. Энском и дедуктивно-номологическая схема К. Гемпеля [18]. Наиболее популярной в исследованиях стала концепция Гемпеля [19], восходящая к учению И.Канта. В концепции Гемпеля феномен считается объясненным, если выводится на основе общих утверждений (законов) и частных положений, которые ранее получили объяснение. Согласно Гемпелю, для объяснения явления его необходимо погрузить в теоретическое поле знаний. Применение теории предполагает привлечение минимума дополнительной информации, когда правильное и понятное решение задачи получается без проведения вычислений [18]. Такая задача решается с использованием формальных математических теорий средствами, где понимание достигается ясными доказательствами теорем, чему способствуют иллюстративные геометрические схемы.

В ТЦ-аналитической философии (аргументации) реальность и ее непосредственное познание  $X$  разбивается, расслаивается на априорные составляющие (ТЦ-аргументы): условия  $X_0$  и законы  $Y$ . Это положение формализуется с помощью объяснительных схем Гемпеля [19], в которых феномен, подлежащий объяснению  $X$ , складывается (синтезируется) из предпосылок объяснения  $X_0$  и  $Y$ :  $X=Y+X_0$  – специфических условий  $X_0$  и универсальных законов  $Y$  (рис.1). Логический позитивизм утверждает, что мир  $X$  познаваем – только на практике необходимо избавляться от ненаблюдаемого  $X_0$  [20]:  $Y=X-X_0$ , где  $Y$  – чистое знание (законы). Это выражает борьбу с трансцендентальным  $X_0$  за суверенитет существования и смысла  $Y$  – область свободы и независимости. У Канта  $X_0$  соответствует «вещи в себе», с трудом познаваемой или непознаваемой вообще сущности типа «глубинного государства» - государства  $X_0$  в государстве  $X$ , что подчиняется собственным неуправляемым законам  $X_0$  ментальности (модальности, политического режима), ведущими за собой  $X=X_0+Y$  по истинным законам общественного бытия  $Y$ . Выделение из явления  $X$  позиции  $X_0$  трактуется как процесс отчуждения  $Y=X-X_0$ , когда результаты деятельности человека  $X$  обуславливаются превосходящей силой  $X_0$  ( $X=Y+X_0$ ), находящейся вне его сознания, например, географической или социальной средой. Существуют различные формы отчуждения: власти в результате демократических выборов или силовым путем, результатов труда в виде прибыли, территорий в создавшихся геополитических обстоятельствах.



**Рис.1.** Коммутативная схема трансцендентальной аргументации (пояснения в тексте).

ТЦ-схемы аргументации (рис. 1) имеют широкую трактовку в треугольной форме соотношения понятий векторной алгебры или коммутативных диаграмм математической теории категорий [21]. Стрелка отображает процедуру отрицания или морфизм  $\chi_0: X_0 \rightarrow Y$ , переводящий позицию  $X_0$  в оппозицию  $Y$ . Стрелки обратимы  $\chi_0^{-1}: Y \rightarrow X_0$ , т.е. процедуры отрицания симметричны  $X_0 \leftrightarrow Y$  (тождественны как противоположности) при условии сохранения коммутативных свойств, выраженных правилом транзитивности последовательных преобразований  $\chi = \chi_0 \cdot \phi$ . Это означает, что в коммутативной диаграмме ТЦ-схемы (рис.1) всегда должна быть начальная (координирующая)  $X_0$  и конечная (синтезирующая)  $X$  позиции, что определяет направление развития ситуации, когда из треугольников формируется сеть или пространственная структура направленных связей. В конечной позиции  $X$  триады  $(X_0, Y, X)$  стрелки смыкаются, что рассматривается как синтез противоположностей  $(X_0, Y)$ , например  $X=X_0+Y$  или  $Y=X-X_0$ . Тогда триада трактуется как единство тезиса  $X_0$ , антитезиса  $Y$  и синтеза  $X$  противоположностей. Для такой триады справедливо логическое правило вывода «отрицания отрицания»: если суждение  $X_0$  – истинно и  $Y$  – истинно, и  $X$  есть синтез  $X_0$  и  $Y$ , то  $X$  – истинно. Иными словами, истинность  $X$  следует одновременно из оппозиций  $X_0$  и  $Y$  - таким путем обоснования существования третьего элемента (силы)  $X$  всегда решается проблема глубокого противоречия  $(X_0, Y)$ . Новые решения проблем всегда появляются при синтезе явлений на стыке противоположностей. Работает своеобразный закон приращения Гемпеля – добавления нового к старым известным понятиям  $X_0$ .

Триада (рис. 1) отображает ячейку полной структуры соотношения противоположностей в их разнообразном единстве. Парные антиномии (оппозиции, политические оси) не раскрывают многие аспекты развития и влияния, что демонстрирует нам третий элемент,

указывающий на то, что будет. Таким элементом становится практика применения  $X$  норм и обычаев  $X_0$  и нормативных идей  $Y$ . Конституция  $X=Y+X_0$  утверждает общечеловеческие права и свободы  $Y$  на основе сложившегося геосторического единства  $X_0$  (культурного наследия) страны. Реальная жизнь  $X$  должна складываться из абстрактных законов  $Y$ , определяющих степень свободы, когда в ее отсутствии  $Y=0$  все действия происходят исключительно по необходимости  $X=X_0$ . Кант считал, что человек свободен, если он должен подчиняться не обстоятельствам или другому человеку  $X_0$ , а закону  $Y \neq 0$ , обязательному для всех. В разных культурах  $X_0$  одно и то же всеобщее законодательство  $Y$  трактуется по-особому  $X=Y+X_0$  в соответствие с традициями  $X_0$ . Для понимания специфики каждой позиции триады необходимо подробно изучать соответствующие понятия с использованием теоретических и метатеоретических методов, математических моделей и графических схем [22].

**2. Модели и методы.** Ключевым понятием современности стал термин «самоизоляция», что проявилась на всех уровнях организации жизни общества: отдельных людей, семей, сообществ, производств, общественных институтов и стран. Везде обычной стала удаленная работа, обучение и общение посредством сетевых коммуникаций, что повысило важность самообразования и самостоятельности и степень ответственности каждого в решении общих проблем в борьбе с пандемическим кризисом. Интеллектуальное конструирование, при котором все мыслимые модели «возможных миров» изоляции дополняют, расширяют и замещают объективную реальность, становится атрибутом жизни современной цивилизации с проявлением новых обстоятельств, от которых зависит истинность существования локальных организаций и адекватность проектируемых картин мира [17]. Здесь возможные миры – это ментальные конструкты, соответствующие в некотором пространстве модальных координат  $(Y, X_0)$  конфигурациям возможного существования и взаимосвязи индивидов, событий, состояний  $X$ .

Обосновывается, что структуры расслоенного пространства (возможных альтернативных миров) связанных координат деятельности становятся источником базовых системных знаний  $Y$  в политологии [23]. Метатеоретический метод науки выражается в ограничении действия математических формул естественным принципом средней относительности  $Y=X-X_0$  или  $X=Y+X_0$  в соответствующей трактовке. Все предметы и явления представляют собой системы  $Y$ , т. е. являются структурами порядка элементов и связей разного рода  $X_0$ . Свойства реальных систем  $X=Y+X_0$  однозначно определены их положением  $X_0$  на многообразии всевозможных обстоятельств локального формирования системных слоев  $Y$  различного типа.

Различаются общий (теоретико-множественный, дискретный) и специальный (дифференциально-геометрический, непрерывный) подходы к расслоению. В первом варианте расслоением  $s = (X, \pi, B)$  называется отображение  $\pi$  пространства  $X$  на пространство  $B$ :  $\pi : X \rightarrow B$ . Пространство  $X$  называется пространством (множеством, объектом) расслоения, а  $B$  - базой расслоения, состоящей из набора элементов  $b_i$  этой базы. Обратное отображение  $\phi = \pi^{-1}$  такое, что  $\phi : B \rightarrow X$  превращает пространство  $X$  в расслоенное пространство  $Y = \{Y_i\}$ , состоящее из непересекающихся, изолированных подмножеств  $(Y_i \cap Y_j = \emptyset)$ , не имеющих общих элементов. Для любого элемента базы расслоения  $B = \{b_i\}$  прообраз  $Y_i = \phi(b_i)$  называется слоем расслоения  $\pi$  над элементом  $b_i \in B$ . Имеют место соответствия ( $\sim$ ) понятий  $b_i \sim X_0$  и  $Y_i \sim Y$ . Иллюстрацией служит типология (сортировка) элементов множеств  $X$  по категориям признаков  $b_i \in B$ , например, участков территорий и акваторий по государственной принадлежности или стран по типу политических режимов. Объединение элементов в слое  $Y_i$  вокруг инварианта  $b_i$  выражает их формальное единство, а сравнение разных слоев противоположностей  $Y_i \leftrightarrow Y_j$  соответствует их диалектическому единству и тождеству. Важной формой расслоения является дифференциация знаний  $X$  по теориям  $Y = \{Y_i\}$ , описываю-

щим объекты с разных сторон, как системы различного рода. В центре каждой теории находится набор базовых системных понятий и законов-аксиом. Элементами базы расслоения  $B$  являются инвариантные качества  $b_i$  соответствующих теорий. Отношение единства  $Y_i \leftrightarrow Y_j$  означает возможность интерпретации законов одной теории  $Y_i$  в терминах законов другой  $Y_j$ .

В иерархии числовых систем каждое число имеет окрестность (слой) из множества чисел большей мощности [22]. Так формируются гипердействительные числа  $x^* = x_0 \pm \varepsilon$ , где  $\varepsilon \in \varepsilon(x) \subset \mu(x)$  – монады, инфинитезимальные, положительные бесконечно малые величины  $\varepsilon = dx$ , позволяющие отображать изменения параметров систем  $x = \{x_k\}$  и их функций  $F(x)$  типа функций совместимости Заде [1] формулой полного дифференциала нестандартного анализа:

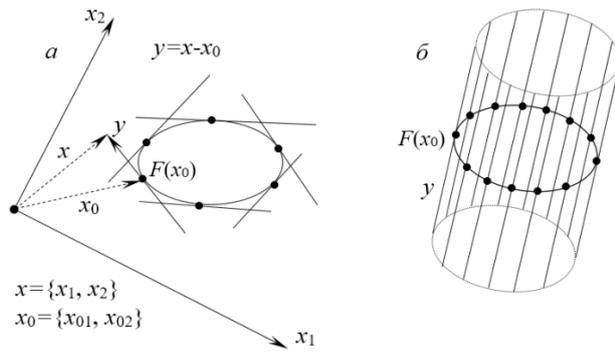
$$a) dF = \sum_{k=1}^n a_k dx_k, б) d = \sum_{k=1}^n \frac{\partial}{\partial x_k} dx_k, a_k = \frac{\partial F}{\partial x_k}, \quad (1)$$

где  $a_k$  – конечное действительное число, определяющее «вес» каждого компонента  $\varepsilon_k \in \varepsilon(x)$ ;  $dF$  – бесконечно малая взвешенная сумма компонентов монады  $\varepsilon = \{\varepsilon_k\}$ . Формула (1б) имеет самый общий, определяемый только локальными значениями координат  $dx = \{dx_k\}$ . Это инфинитезимальная точка  $x_0 = \{x_{0k}\}$  пространства  $x = \{x_k\}$ , из которой «прорастает» система локальных координат  $y = x - x_0$ ,  $y_k = x_k - x_{0k}$ ,  $y = \{y_k\}$ , где каждая инфинитезимальная  $dx_k$  переходит в конечную разность  $y_k = x_k - x_{0k}$  всё большей величины. При этом приращение функции  $\Delta F(x) = F(x) - F(x_0) = f(y)$  выражается билинейной универсальной формулой (без коэффициентов) [22]:

$$f(y) = a \cdot y = \sum_{k=1}^n a_k y_k = \sum_{i=1}^n \frac{\partial f}{\partial y_k} y_k, a_k = \frac{\partial f}{\partial y_k}. \quad (2)$$

Здесь  $a \cdot y$  – скалярное произведение двух векторов  $a$  и  $y$ . Условие  $a=0$  соответствует экстремальным (минимумам или максимумам) значениям оценочных функций  $f(y)$ . Уравнение (2) описывает касательную плоскость (слой  $Y_i$ ) к функции  $F(x)$  многообразия  $F(x_0)$  в точке  $x_0 = \{x_{0k}\}$  в локальных (внутренних) координатах  $y = \{y_k\}$  слоя  $Y_i$ . В данном случае пространством расслоения является пространство  $X$  координат  $x = \{x_k\}$ , база расслоения (многообразие) задается функцией поверхности  $F(x) = F(x_0)$ , расслоенное пространство – касательные слои  $Y_i$  со значением локальных координат  $y = \{y_k\}$  (рис. 2), что связаны однотипной функцией  $f(y)$  – финслеровой метрикой локального пространства. Прослеживается аналогия философских и математических понятий  $X \sim F(x)$ ,  $X_0 \sim F(x_0)$ ,  $Y \sim f(y)$ . В гуманитарном знании приращения  $y$  обычно являются дискретными величинами, например, в лингвистике при наборе текста  $x = x_0 + y$  приращения  $y$  соответствуют букве слова  $x$  или слову предложения  $x$ , выбранные по направлению смыслового вектора  $a$ .

Иллюстрацией точки  $x_0$  многообразия  $X_0 \sim F(x_0)$  является правовой или политический режим, существующий в стране. На рис. 2а касательные слои представлены бесконечными линиями, соприкасающимися с кривой  $F(x)$  в точках  $x_0$ . Ядро линий представляют отрезки вокруг этих точек до пересечения с другими линиями (границами). Линии разбивают внешнее пространство координат плоскости  $x = \{x_1, x_2\}$  на слои  $y$  каждой точки  $x_0$ . Расслоенное пространство двойной размерности (рис. 2б) представлено непересекающимися параллельными линиями  $y$  (противоположными слоями, веером возможных миров), упорядоченными по точкам многообразия  $F(x_0)$  и связанные отношением подобия  $\Phi(y)$  (тождеством противоположностей) в многослойный комплекс, когда точки одного слоя переходят в точки другого. На рис. 2б демонстрируется модель расслоения, в которой слои не имеют границ и объекты в каждом слое развиваются независимо, но по общей формуле  $f(y)$  связи признаков  $y$ .



**Рис.2.** Пространство расслоения и расслоение пространства на многообразии  $F(x_0)$  (а), расслоенное пространство и комплекс слоев (б) (дополнительные пояснения в тексте).

Отметим, что векторная сумма  $x=y+x_0$  на рис. 2 моделирует схему на рис. 1 трансцендентальной аргументации  $X=Y+X_0$ , и является лишь малой частью схемы математических процедур расслоения пространства математического анализа. Векторы  $y=x-x_0$  определяют ориентацию локальных изменений в слое и в целом векторное поле, касательное по линии многообразия  $F(x_0)$ . В процедурах расслоения скрыто множество графических смыслов, которые можно извлечь логическим путем для решения задач ТЦ-аргументации и прогнозирования, а также алгебраические соотношения, связанные с теорией групп [2].

Инвариантность функции  $f(y)$  (2) в различных слоях определяет их базовые свойства, что метатеоретически распространяются на законы  $Y$  любых системных теорий, например, универсальные физические законы механического движения или рыночные принципы экономики. В итоге существуют разные эквивалентные формы систем расслоения: единство координат признакового пространства расслоения, базы расслоения, расслоения пространства, расслоенного пространства (полисистемы) и комплекса связности слоев [23]. Комплексованием обосновывается подобие слоев в силу сохранения уравнения (2) в каждом слое, благодаря чему свойства (знания) одного слоя информационно передаются в другие слои или слои сравниваются по данному признаку. В этом также выражается преемственность законов  $Y$  в пространстве и во времени при переходе объектов из одного состояния в другое.

Вид функции  $f(y)$  определяется известным дифференциальным уравнением Эйлера (2), решение которого соответствует формуле  $f(y)=y_k \Phi(y/y_k)$  [24] – бесконечное множество однородных функций, удовлетворяющих соотношению  $tf(y)=f(ty)$  независимости вида функции  $f(y)$  от масштаба  $t$  переменных  $y$ . Отсюда следует, что: 1) на вид законов  $f(y)$  связи переменных  $y$  не влияют обстоятельства их действия  $x_0$ ; 2) количество базовых законов  $f(y)$  любой теории должно быть очень велико; 3) эти законы должны действовать на всех иерархических системных уровнях, т.е. сквозным образом. В частности, политические законы межгосударственных отношений, взаимодействия институтов государства и общества, правовые конституционные положения, законы морали и нравственности – это в идеале одни и те же законы для разных стран и народов в смысле наличия их общих оснований (2). Следование этим законам является основным признаком равенства разноуровневых общественных образований, равенства людей и стран – возможных изолированных и суверенных миров.

Варианты  $\pm ty$  удовлетворяют (2) и приводят к противоположным суждениям, например, при  $t=\pm 1$ :  $f(y)$  и  $f(y)=-f(-y)$ . Иллюстрацией этих соотношений является политика двойных стандартов, когда оценка  $f(y)$  одного и того же объекта или явления в международных отношениях зависит от отношения оценивающих сторон к объектам оценки. Например, различие трактовки права наций на самоопределение и сохранения целостности государства или, когда одна мораль применяется в частной жизни, другая – в общественной, третья – в международной политике. Приверженность к той или иной формулировке определяется не столько особенностями культуры или национальными интересами, сколько имманентно присутствует в суждениях в форме доктрины – устойчивой системы воззрений, руководящего неоспоримого политического принципа. Политическая доктрина направлена на теоретическое

обоснование политических программ и проектов деятельности – реальной политики, призванной ориентировать и консолидировать людей на основе общей идейной платформы (идеологии) через средства коммуникации и массовой информации как установки и руководства к действию. По величине и направленности  $t$  доктрины делятся на социально-ориентированные ( $t < 0$ ), либерально-экономические ( $t > 0$ ) и консервативно-экологические ( $t = 0$ ). В зависимости от ситуации доктринальная величина  $t$  варьирует с изменением стратегически важных векторов политики, влияющих на тактику борьбы и идеологию, что не столько объединяет, сколько разъединяет мир на противоположности.

Высказываются прямо противоположные суждения об одном и том же, и как следствие, действия одних получают поддержку, а других – наказываются. Противоположность истинных суждений  $f(y) = -f(-y)$  основана на иной интерпретации фактов  $y \rightarrow -y$ , что формально приводит к отрицанию  $f(y) \rightarrow -f(y)$  противоположных высказываний, где то, что в одной политической системе было плюсом, становится минусом. Происходит инволюция, оборачивание отношений и суждений по каждому поводу. В силу достоверности разнонаправленных позиций  $t = \pm 1$  относительно универсального уравнения (2) двойные стандарты в этом качестве имеют право на существование по принципу двойственности суждений – тождеству противоположностей. С позиций универсализма (2) так устроена развитая система политических и иных миров, характеризующая ситуацию, в которой нам предстоит постоянно существовать.

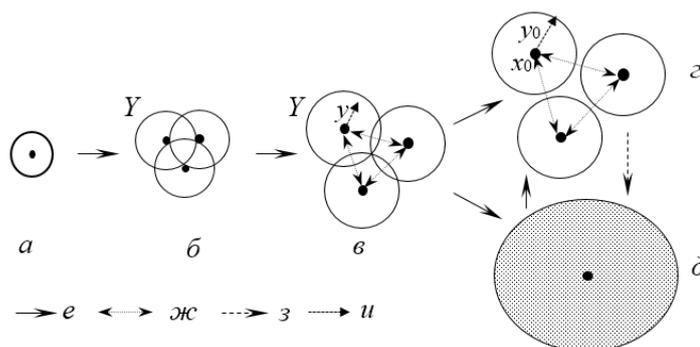
Политика двойных стандартов проявляется как реальность, с которой необходимо смириться и считаться, пытаюсь понять чуждую точку зрения и параллельно демонстрировать и отстаивать свою позицию. Проблемы возникают, когда иное мнение пытаются представить ложным, ошибочным, не имеющим право на существование, подлежащее уничтожению вместе с его носителем. Существование системы антагонистического противоречия  $f(y) + [-f(y)] = 0$  согласно (2) удовлетворяет уравнению

$$a \cdot y = \sum_{k=1}^n a_k y_k = 0, \quad (3)$$

которое в науке выражает принцип сохранения  $f(y) = c = \text{const}$ , например, сохранение энергии, а также сохранения природы и мирного сосуществования, защиты жизни и здоровья, собственности, суверенитета и территориальной целостности государства, права на свободу и развитие. Следование принципам сохранения позволяет устанавливать баланс политических сил, пропорции сравнения формы и содержания объектов и явлений жизнедеятельности. В любой системе должна существовать такая структура или функция, которая не изменяется, считается инвариантной и целевой. Нарушение принципов сохранения удаляет объект из системы, подрывает его право на существование или под воздействием явных и скрытых, видимых и невидимых, внешних и внутренних сил приводит в соответствие с действием принципа. Как в природе невозможно преодолеть без последствий принцип сохранения массы и энергии, так и в обществе этот принцип действует непременно, а насильственное отклонение от него разными естественными и искусственными способами наказывается. Например, идея сохранения отражена в положениях Конституции РФ в Статье 4 п.3 «Российская Федерация обеспечивает целостность и неприкосновенность своей территории» и развита в новой редакции в Статье 67 п. 2.1 «Действия..., направленные на отчуждение части территории Российской Федерации, а также призывы к таким действиям не допускаются».

Развитие систем (рис. 3) разного рода выражается в показателях роста локальной свободы  $\varepsilon \rightarrow y$  и прослеживается в развертывании монады (1) в расслоенное пространство (2) большого размера и размерности, наподобие «Большого Взрыва» синкретической точки физического пространства  $\varepsilon$  с расширением ее в современную Вселенную  $X$  с дифференциаци-

ей на всевозможные галактические и звездные миры  $Y=\{Y_i\}$ . Механизм эволюции определяется ростом размера  $y_0$  этих миров (слоев), числа координат пространства  $x=\{x_k\}$  и перераспределением элементов систем между слоями с увеличением разнообразия и свободы. Например, существовал южный африканский моноцентр происхождения современного человека, откуда волнами шло расселение людей по планете, формирование народов и стран, создание национальных государств и переход к глобализации [25]. На схеме рис. 3 процесс развития разбивается на 4 части: а) формального тождества в состоянии монады  $\varepsilon$ , где явления  $Y$  фактически неразличимы; б) формального единства, когда разделяются только сущности  $x_0$  (точки), но не явления; в) диалектического единства с различием сущностей и явлений; г) диалектического тождества с полным отличием и по  $x_0$  и по  $Y$ .



**Рис. 3.** Эволюционное и организационное расслоение структуры политических систем: а – начальное синкретическое состояние формального тождества, монада; б – формальное единство, в – диалектическое единство, г – диалектическое тождество (морфизм) слоев, д – хаотическое состояние, е – направления развития, ж – функциональное подобие (морфизм в комплексе), з – разрушительные преобразования, и – степень свободы изменений  $y$  и ее ограничения  $y_0$  оболочкой ядра общественного слоя (дополнительные пояснения в тексте).

Состояние г – это расслоенное пространство, каждый слой которого в пространстве координат расслоения касается многообразия в одной точке. Каждый слой является открыто-замкнутой системой, т.е. имеет пределы, например, страна с государственной границей, что не беспредельно распространяет свое экстерриториальное влияние в политико-экономическом пространстве расслоения мирового сообщества. Другие страны, как изолированные слои в режиме сопротивления или по доброй воле принимают или отвергают это влияние, тем самым обеспечивая свой суверенитет. Обычно в науке рассматривается видимая связь организации и хаоса г-д, но не исследуется тот долгий невидимый путь закономерной эволюции а-г, который стоит за этим. Исключением является теория эволюции Вселенной, где все закономерно происходит из ничего (инфинитезимально). Подобный хаос существует в современном научном знании, метатеоретическое упорядочивание которого базируется на экстраполяции свойств «точки» формулы (1) на полисистему сквозных интертеорий. В этом проявляется логическая схема (рис. 1), где  $X_0$  – начальный этап а и направление развития,  $Y$  – полисистема и комплекс г организации,  $X$  – хаотическое состояние д наблюдаемой реальности.

Точка касания  $x_0$  многообразия  $F(x_0)$  – своеобразный краеугольный камень общественного слоя, эпицентр существования и развития, источник силы и знаний, что устанавливается разными способами, в частности, по итогам всенародного голосования. Мера свободы  $y$  исчисляется величиной  $y=x-x_0$  отклонения  $x$  от  $x_0$  – устойчивого значения, соответствующего геоисторическому инварианту культурного наследия, разделённым менталитетам сообществ, полюсам идентичности. Инварианты государственного образования, выражаю-

щие преемственность исторических традиций, устойчивы во времени и пространстве так, что всякие попытки их изменить силовым способом (войны, революции) рано или поздно приводят к восстановлению прежнего устройства по критерию исторической и территориальной общности  $x_0$  в прежних границах  $y \leq y_0$ . Предполагается возможность сущностной трансформации  $x_0$  в процессе исторического развития, что становится переломным моментом для политического мышления и деятельности, что часто связано с общей деградацией политической системы с последующим восстановлением на новой основе  $x_0$ .

Сценарий хаотизации международных отношений, особенно популярный в левых и антиглобалистских кругах, предрекает экологические катастрофы, угрозу международного терроризма, распространение эпидемий, оружия массового поражения, смертельную схватку цивилизаций, противостоять которым в планетарном масштабе может только единственная сверхдержава, способная справиться с проблемой [26]. Иной мегасценарий предполагает существование государств в полном согласии как системы неконфронтационного взаимодействия крупнейших держав на новом этапе «концерта держав» - стран-победителей в различных сферах на глобальной сцене [26]. Такой «концерт» кажется невозможным в условиях, когда державы не сходятся во мнениях по важнейшим вопросам и имеют разные базовые ценности и культурные коды. Но есть ценности, связанные с мирным сосуществованием и правами личности, которые становятся универсальными, а культурные коды нивелируются [26]. Последние суждения напрямую восходят к прогнозному положению И.Канта о достижении мирного и благополучного существования всех людей под эгидой единой конституции [13].

**3. Аксиомы устойчивого развития.** Главное в учении Канта состоит в способности человека ориентироваться на все общезначимые нравственные принципы и основания, что проистекают из воздействия на его волю всеобщих максим чистого разума  $Y$  - категорического императива, как надо поступать каждому человеку независимо от детерминированных обстоятельств  $X_0$  поступков конкретных людей  $Y=X-X_0$ . По этой причине этика Канта априорна и автономна, независима от неморальных доводов. В широком смысле категорические императивы  $Y$  – это те законы, которые должны обладать объективной и всеобщей значимостью, быть в данном смысле равносильны законам природы и иметь возможность действовать независимо от внешних побуждений и чувственных склонностей. При всей субъективности общественных максим  $X$  они включают в себе общую форму морального ориентирования  $Y: X=Y+X_0$  – выражают релятивизм, относительность нравственных принципов, приспособление их к ситуации. Проявлением и доказательством свободы Кант считает способность человека добровольно и осознанно подчиняться принуждению морального закона, необходимости самостоятельно следовать долгу [18]. Категорический императив защищает свои права и притязания в поведении человека (семьи, народа, человечества) через сознательное формирование максим и разрешение противоречий между субъективными эмпирическими максимами  $X$  конкретной жизни и всеобщим нравственным законом  $Y$ . Социальное поведение  $X$  определяется как практическими интересами  $X_0$ , так и моральными принципами  $Y$ . Возобладание моральных максим  $Y$  над чувственными склонностями  $X$  реализуется в итоге бесконечного процесса совершенствования, прогресса человеческого рода, когда общество становится более гуманным.

Эти положения формулируют общие принципы нравственного поведения, но не определяют специальные законы морали и права, которые должны следовать из соотношений (1)-(3) в соответствующей интерпретации с учетом полученных выводов, прежде всего требований устойчивого сохранения объектов и явлений для решения сложных проблем как

наличных противоречий. Базовые законы-аксиомы формулируются в чистом виде  $Y$  в форме системных правил

$$\forall S_i \forall \Delta S_i \forall D_i: 1) S \equiv C, 2) \Delta S \equiv C, 3) \Delta S_i \equiv D_i, \quad (4)$$

согласно которым для всякой системы  $S_i$ , ее изменений  $\Delta S_i$  и действий  $D_i$  и их объединений в соответствующие универсумы  $S$ ,  $\Delta S$ ,  $D$  справедливо, что универсум  $S \equiv C$  постоянно существует (сохраняется), изменяется  $\Delta S \equiv C$ , действует  $D \equiv C$  и, как следствие, саморазвивается  $\Delta S \equiv S$ . Такие постулаты в теории общественной деятельности положены в основу принципов устойчивого развития [23, 27]. Выражение  $\Delta S_i \equiv D_i$  справедливо для всех акторных систем и связывает их изменение с порождающим действием (борьбой противоположностей). Ему соответствуют математические формулы (1)-(2). Первые два тождества из (4) и следствия из них описывают разноуровневые универсальные системы, удовлетворяющие уравнениям (1)-(3). Это системы устойчивого существования, развития и саморазвития, источником которых является мирная борьба  $D \equiv C$  людей и идей разных стран и культур. Тождество  $D \equiv C$ , в частности, символизирует принцип сохранения коммуникационных сетей и инфраструктур различного вида, через которые происходит взаимодействие, а следовательно, – сохранения языка общения и взаимопонимания. Выражению  $\Delta S \equiv C$  соответствуют разного рода ограничения типа постоянства и ограниченности скорости света в различных физических системах или правовые ограничения свободы деятельности, связанные, например, с пандемической обстановкой. Для обеспечения действия закона формируется соответствующий механизм сдерживания и набор «красных линий», пересекать которые не рекомендуется. Границами выделяется область толерантности – пространства приемлемого решения проблем и связанных с ними ожидаемых изменений типа непременного роста экономики страны или благосостояния населения.

Используется разное по масштабу понимание инварианта  $C$  в различных формах: свобода существования, мирное сосуществование, сохранение, охрана, возможность жить и действовать в смысле «иметь право» и т.д. В концепции устойчивого развития базовым правилом является сохранение природы, что должно стать важной составляющей российской национальной идеи, её миссией для себя и для мира, элементом российской международной идентичности [5]. Соизмерение политики государств в этой области определяет основу международного сотрудничества по охране природы, участие в котором становится позитивным вкладом России в развитие мира, слагаемым её международной привлекательности и авторитета – образца деятельности. Сопоставление политики стран по всем позициям сохранения (4) осуществляется путем демонстрации своих усилий в этой области, в частности, закрепления в основополагающих правовых документах, например, в Конституции РФ в Статье 9 п.1. Нововведенная Статья 75.1 отражает содержание аксиом устойчивого роста и развития (4).

В политике строительство нового глобального мира предполагает формирование подобия открыто-замкнутых общественных систем, готовых к устойчивому развитию на собственной основе, к сотрудничеству и к лидерству на пути создания универсальных основ деятельности. В этом процессе диалектического выравнивания противоположностей не так будут важны территориальные и экономические пропорции или ракетно-ядерный паритет, сколько действие идейно-нравственных законов непреодолимой силы. Лидерство в этой области предполагает действие по образцу. В последние десятилетия Россия выступала в качестве оппозиции «однополярным» инициативам Америки. Сейчас пришло понимание, что США не могут служить образцом для мира, пока институты американской республики не продемонстрируют собственную идеологическую состоятельность, на личном примере осуществят обоснованную поддержку прогрессивных идей, а не будут навязывать ложные истины [28]. Это относится ко всем субъектам разномасштабных общественных отношений, спо-

собных направлять других к высшим ценностям без расчета на частную выгоду и нести ответственность перед универсальным законом за собственные решения и действия.

Внутри страны и на международной арене сравнение различного и объединение в полисистемные комплексы-концерты идет по признаку приверженности социально-политических систем идеалам и истинам законов сосуществования: истинно то, что присутствует в обществе независимо от обстоятельств и выражает идею мира во всем мире, когда все проблемы решаются мирным путем, без применения насилия. По итогам реализации единой методологии философской концептуализации, математического анализа и эмпирических обобщений выстраивается модель полисистемной полифонии тождественных через идеалы разноразмерных независимых общественных институтов и государств – формируется многослойный и многополярный справедливый мир, где противники во мнениях превращаются в партнеров, с которыми на общей этической почве удается договариваться и взаимодействовать. Будущее представляет собой смесь конкуренции и сотрудничества, где сотрудничество направлено на управление конкуренцией [28]. Необходимо обеспечить общие принципы коммуникации стран при их разных конкурирующих сценариях развития [30]. Для полного решения современных проблем требуется обеспечить внутренний мир в обществе с соблюдением базовых прав человека, для чего, согласно Канту, надо прежде всего установить внешний мир между государствами [14].

**Заключение.** Коронавирусная пандемия наглядно продемонстрировала эффекты изоляции и самоизоляции в семье, в круге общения, на производстве, в социальном слое и в границах государства. В ограничениях материальных потоков и повышении роли дистанционного информационного взаимодействия появились признаки будущего, которые моделируются в понятиях функционального расслоения пространства деятельности и связности слоев через коммуникацию. В перспективе могут проявляться разные эквивалентные формы систем расслоения: единство координат признаков пространства расслоения, базы расслоения, расслоения пространства, расслоенного пространства и комплекса информационной связности слоев как существующих противоположностей, создающих множество проблем общественно-политической деятельности. Решение этих проблем находится на пути прогнозного поиска универсальных норм-законов, на основании которых изолированные слои способны мирно и долговременно взаимодействовать, устойчиво сосуществовать и развиваться вне зависимости от того, на каких геоисторических и культурных основах, в рамках каких правовых и политических доктрин это происходит. Вечное противоречивое единство и тождество социально-политических слоев отражает модель формирования человеческого будущего.

Главные содержательные идеи организации подобного миропорядка заложены в философских трудах И.Канта по трансцендентальной аргументации, объясняющей наблюдаемые явления (феномены) через обобщенную сумму трансцендентальных условий и законов - фактов чистого рассудка и разума, скрыто действующих в природе и обществе. Безусловные моральные законы, общие для всех, становятся основой единства противоположностей, справедливы на этических, правовых и политических уровнях организации общества и являются итогом длительного процесса совершенствования отношений и деятельности. Объяснение этих закономерностей обнаруживается в средствах математического анализа в терминах расширения и расслоения разного рода пространств на многообразиях – моделях множества условий, детерминирующих связи признаков в локальных координатах каждого слоя. Полученные универсальные уравнения определяют множество различающихся функций связей систем и тенденции развития этих систем от элементарной к сложной организации, что становится основанием для предсказания прогрессивных форм жизнедеятельности.

Общественная жизнь в широком понимании – это постоянное решение проблем как существующих противоречий. Появляется возможность провести экспертизу разнообразных текущих проявлений политической жизни с общих теоретических и метатеоретических позиций. Это позволяет не просто имитировать в формальных понятиях известные закономерности, а, напротив, интерпретировать математические формулы в содержательном смысле, получать выводимое знание, извлекая его из универсальных уравнений. В частности, регламентируется вид аксиом системной теории деятельности как теории устойчивого развития, содержащие формулировки законов сохранения и изменения в социально-политических слоях общества на разных уровнях. Доказывается независимость этих законов от масштаба проявления жизни общества, принятых в обществе политических доктрин, благодаря чему по-свойному моделируются сами доктринальные особенности деятельности, порождающие двойные стандарты истинного смысла, с учетом которых предстоит постоянно жить в глобальных и в локальных сообществах, опираясь на универсальные принципы устойчивого развития.

**Благодарности.** Исследование выполнено за счет средств государственного задания (№ госрегистрации темы АААА-А21-121012190056-4).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Заде Л. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. М.: Мир. 1976. 165 с.
2. Салий В.Н. Математические основы гуманитарных знаний. М.: Высшая школа. 2009. 304 с.
3. Aaltola M. Covid-19 – a trigger for global transformation? Political distancing, global decoupling and growing distrust in health governance // FIIA working papers. 2020. № 113. Pp. 4-14.
4. Heisbourg F. From Wuhan to the World: How the Pandemic Will Reshape Geopolitics// Survival: Global Politics and Society. 2020. V.62. № 3. Pp. 7-24. DOI:10.1080/00396338.2020.1763608
5. Караганов С. А. Поворот к природе: новая экологическая политика России в условиях “зеленой” трансформации мировой экономики и политики: доклад по итогам серии ситуационных анализов. М.: Международные отношения. 2021. 97 с.
6. Weimer D., Vining A. Policy analysis: concepts and practice. Englewood Cliffs: Prentice Hall. 1992. 502 p.
7. Панарин А. С. Глобальное политическое прогнозирование. М.:Алгоритм. 2000. 352 с.
8. Дегтярев А. А. Политический анализ как прикладная дисциплина: предметное поле и направление разработки // Полис. Политические исследования. 2004. № 1. С. 154-168.
9. Ахременко А. С. Политический анализ и прогнозирование. М.:Гардарики. 2006. 333 с.
10. Dobuzinskis L., Howlett M. (Eds) Policy Analysis in Canada // Series: International Library of Policy Analysis. Bristol, Chicago: Policy press. 2018. 352 p.
11. Мядзелец А. В., Черкашин А. К. Количественный анализ инвестиционных процессов в регионах с использованием метода огибающих кривых // Вестник Кемеровского государственного университета. Серия: Политические, социологические и экономические науки. 2017. № 3. С. 63-69.
12. Бызов Л. Г. Взгляд в будущее и прошлое через призму современных общественных противоречий // Общественные науки и современность. 2018. №3. С. 66-80.
13. Баренбойм П. Д. Кант как отец Конституции России // Законодательство и экономика. 2009. № 9. С. 5-9.
14. Gerhardt V. Immanuel Kants Entwurf “Zum ewigen Frieden“: eine Theorie der Politik. Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft. 1995. 254 p. (In German)

15. Зильбер А. С. «Кантовская теория политики» в «экзистенциальном либерализме» Герхардта // Кантовский сборник. 2012. Вып. 4 (42). С. 50-58.
16. Белов В. Н. Кант и Конституция РФ // Кантовский сборник. 2014. № 3(49). С. 51-59.
17. Волошин В. В. Классифицирование и классификации возможных миров // Вестник Северного (Арктического) федерального ун-та. Серия: Гуманитарные и социальные науки. 2019. № 3. С. 88–98.
18. Мотрошилова Н. В. (ред.) История философии: Запад-Россия-Восток. Книга вторая: Философия XV-XIX вв. М.: «Греко-латинский кабинет» Ю. А. Шичалина. 1996. 557 с.
19. Резников В.М. Объяснение явлений посредством моделей в естествознании и их понимание // Философия науки. 2015. № 4 (67). С. 29-39.
20. Гемпель К. Г. Логика объяснения. М.: Дом интеллектуальной книги; Русское феноменологическое общество (ДИК, РФО). 1998. 237 с.
21. Uebel T. Vienna Circle. Stanford Encyclopedia of Philosophy. 2020. Oxford: Blackwell. 2007. 332 p. Режим доступа: <https://plato.stanford.edu/entries/vienna-circle/> (дата обращения: 11.03.2021).
22. Черкашин А. К. Инновационная математика: поиск оснований и ограничений моделирования реальности // Информационные и математические технологии в науке и управлении. 2019. № 2 (14). С. 69-87.
23. Черкашин А. К. Метатеоретические модели политической науки об устойчивом развитии в концепции расслоенных пространств деятельности // Известия Иркутского государственного университета. Серия Политология. Религиоведение. 2018. Т. 25. С. 5–23.
24. Черкашин А. К. Метатеоретическое системное моделирование природных и социальных процессов и явлений в неоднородной среде // Информационные и математические технологии в науке и управлении. 2019. № 1 (13). С. 61-84.
25. Никонов В. А. Современный мир и его истоки. М.: Издательство Московского университета. 2015. 880 с.
26. Никонов В. А. Назад, к Концерту // Россия в глобальной политике. №6. 2017. Режим доступа: <https://globalaffairs.ru/articles/nazad-k-konzertu-2/> 07.12.2017
27. Черкашин А. К. Метатеоретическое моделирование правовых норм и отношений // Мониторинг правоприменения. 2020. №3 (36). С. 59-69.
28. Graham T., Trenin D. Towards a new model for US– Russian Relations// Survival: Global Politics and Society. 2020. V.62. № 4. Pp. 119-134. DOI:10.1080/00396338.2020.1792101 (дата обращения: 08.09.2020).
29. Капчан Ч. Между изоляционизмом и вовлечённостью // Россия в глобальном мире. 2021. №2. Режим доступа: <https://globalaffairs.ru/articles/izolyaczionizm-vovlechyonnost/> (дата обращения: 09.04.2021).
30. Хабермас Ю. Расколотый Запад. М.: Издательство «Весь Мир». 2008. 192 с.

UDK 51-77:321:303.09

**MATHEMATICAL EXPLANATION OF SUSTAINABLE POLITICAL  
DEVELOPMENT OF THE SOCIETY**

**Alexander K. Cherkashin**

Doctor of Historical Sciences, Professor, Chief Researcher,  
Head of the laboratory "Theoretical Geography", e-mail: [cherk@mail.icc.ru](mailto:cherk@mail.icc.ru),  
V. B. Sochava Institute of Geography SB RAS,  
664033, Irkutsk, Russia, Ulaan-baatar str. 1.

**Annotation.** The opportunity of a mathematical explanation of modern socio-political events in the Russian Federation and abroad is discussed. It reveals hidden patterns of stratification and isolation of society at all levels of its organization. New models of remote interaction are being formed: communication of different social strata, combining them into complexes of networks of information and functional connections. These laws are described in a through manner at different scales by meta-theoretical models and bundle methods using universal mathematical equations, axiomatic theory of activity and sustainable development, which combines the ethical, legal and political aspects of coexistence. The content interpretation of the formal approach is based on the ideas of the transcendental argumentation of I. Kant as the author of moral categorical imperative and the concept of the rule of law and political philosophy. An unconditional idea of a stable world order is formed, which is taken as social law expressing an ideal prototype of the future and the basis for predicting progressive forms of political activity.

**Keywords:** Mathematical modeling, stratification of the political space, sustainable development, meta-theoretical analysis of knowledge.

**Acknowledgements.** The study was carried out at the expense of the state budget (state registration № AAAA-A21-121012190056-4).

REFERENCES

1. Zadeh L. Ponyatie lingvisticheskoy peremennoy i ego primeneniye k prinyatiyu priblizhennykh resheniy [The concept of a linguistic variable and its application to making approximate decisions]. Moscow: Mir. 1976. 165 p.
2. Saliy V. N. Matematicheskie osnovy gumanitarnykh znaniy [Mathematical foundations of humanitarian knowledge]. Moscow: Higher School. 2009. 304 p. (in Russian)
3. Aaltola M. Covid-19 – a trigger for global transformation? Political distancing, global decoupling and growing distrust in health governance. FIIA working papers. 2020. № 113. Pp. 4-14.
4. Heisbourg F. From Wuhan to the World: How the Pandemic Will Reshape Geopolitics. Survival: Global Politics and Society. 2020. vol. 62. № 3. Pp. 7-24. DOI:10.1080/00396338.2020.1763608.
5. Karaganov S. A. Povорот k prirode: novaya ekologicheskaya politika Rossii v usloviyah "zelenoy" transformatsii mirovoj ekonomiki i politiki: doklad po itogam serii situatsionnykh analizov [Turn to nature: a new environmental policy of Russia in the conditions of "green" transformation of the world economy and politics: a report on the results of a series of situational analyses]. Moscow: mezhdunarodnyye otnosheniya = International relations. 2021. 97 p. (in Russian)
6. Weimer D., Vining A. Policy analysis: concepts and practice. Englewood Cliffs: Prentice Hall. 1992. 502 p.
7. Panarin A. S. Global'noe politicheskoe prognozirovaniye [Global political forecasting]. Moscow: Algorithm. 2000. 352 p. (in Russian)
8. Degtyarev A. A. Politicheskij analiz kak prikladnaya disciplina: predmetnoye pole i napravleniye razrabotki [Political analysis as an applied discipline: the subject field and the direction of development] // Polis. Politicheskiye issledovaniya = Polis. Political studies. 2004. № 1. Pp. 154-168. (in Russian)

9. Ahremenko A. S. Politicheskij analiz i prognozirovanie [Political analysis and forecasting]. Moscow. Gardariki. 2006. 333 p.
10. Dobuzinskis L., Howlett M. (Eds) Policy Analysis in Canada. Series: International Library of Policy Analysis. Bristol. Chicago: Policy press. 2018. 352 p.
11. Myadzelec A. V., Cherkashin A. K. Kolichestvennyj analiz investicionnyh processov v regionah s ispol'zovaniem metoda ogibayushchih krivyh [Quantitative analysis of investment processes in regions using the method of envelope curves] // Vestnik Kemerovskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Politicheskiye, sotsiologicheskiye i ekonomicheskiye nauki = Bulletin of the Kemerovo State University. Series: Political, Sociological and Economic Sciences. 2017. № 3. Pp. 63-69. (in Russian)
12. Byzov L. G. Vzglyad v budushchee i proshloe cherez prizmu sovremennyh obshchestvennyh protivorechij [A look into the future and the past through the prism of contemporary social contradictions] // Obshchestvennyye nauki i sovremennost' = Social sciences and modernity. 2018. №3. Pp. 66-80. (in Russian)
13. Barenbojm P. D. Kant kak otec Konstitucii Rossii [Kant as the father of the Constitution of Russia] // Zakonodatel'stvo i ekonomika = Legislation and economics. 2009. № 9. Pp. 5-9. (in Russian)
14. Gerhardt V. Immanuel Kants Entwurf "Zum ewigen Frieden": eine Theorie der Politik. Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft. 1995. 254 S.
15. Zil'ber A. S. «Kantovskaya teoriya politiki» v «ekzistencial'nom liberalizme» Gerhardta ["Kant's theory of politics" in Gerhardt's "existential liberalism"] // Kantovskiy sbornik = Kantian Journal. 2012. № 4 (42). Pp. 50-58. (in Russian)
16. Belov V. N. Kant i Konstituciya RF [Kant and the Constitution of the Russian Federation] // Kantovskiy sbornik = Kantian Journal. 2014. № 3(49). Pp. 51-59. (in Russian)
17. Voloshin V. V. Klassificirovanie i klassifikacii vozmozhnyh mirov [Classification science and classification of possible worlds] // Vestnik Severnogo (Arkticheskogo) federal'nogo un-ta. Seriya: Gumanitarnyye i sotsial'nyye nauki = Bulletin of the Northern (Arctic) Federal University. Series: Humanities and Social Sciences. 2019. № 3. Pp. 88–98. (in Russian)
18. Motroshilova N. V. (Ed.) Istoriya filosofii: Zapad-Rossiya-Vostok. Kniga vtoraya: Filosofiya XV-XIX vv. [History of Philosophy: West-Russia-East. Book two: Philosophy of the XV-XIX centuries. Moscow: «Greko-latinskij kabinet» YU. A. Shichalina = «Greko-latinskij kabinet» by Yu. A. Shichalin. 1996. 557 p. (in Russian)
19. Reznikov V.M. Ob"yasnenie yavlenij posredstvom modelej v estestvoznanii i ih ponimanie. [Explanation of phenomena by means of models in natural science and their understanding]. Filosofiya nauki = Philosophy of Science. 2015. № 4 (67). Pp. 29-39. (in Russian)
20. Gempel' K. G. Logika ob"yasneniya [The logic of explanation]. Moscow: Dom intelektual'noi knigi = House of intellectual books. Russian Phenomenological Society. 1998. 237 p. (in Russian)
21. Uebel T. Vienna Circle. Stanford Encyclopedia of Philosophy. 2020. Oxford: Blackwell. 2007. 332 p. Available at: <https://plato.stanford.edu/entries/vienna-circle/> (дата обращения: 11.03.2021).
22. Cherkashin A. K. Innovacionnaya matematika: poisk osnovanij i ogranichenij modelirovaniya real'nosti [Innovative mathematics: the search for foundations and limitations of reality modeling] // Informatsionnyye i matematicheskiye tekhnologii v nauke i upravlenii = Information and mathematical technologies in science and management. 2019. № 2 (14). Pp. 69-87. (in Russian)
23. Cherkashin A. K. Metateoreticheskie modeli politicheskoy nauki ob ustojchivom razvitii v koncepcii rassloennyh prostranstv deyatel'nosti [Metatheoretic models of political science on

- sustainable development in the concept of stratified spaces of activity] // *Izvestiya Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta* = Proceedings of the Irkutsk State University. Political Science series. Religious studies. 2018. vol. 25. Pp. 5-23. (in Russian)
24. Cherkashin A. K. Metateoreticheskoe sistemnoe modelirovanie prirodnyh i social'nyh processov i yavlenij v neodnorodnoj srede [Metatheoretic system modeling of natural and social processes and phenomena in an inhomogeneous environment] // *Informatsionnyye i matematicheskiye tekhnologii v nauke i upravlenii* = Information and mathematical technologies in science and management. 2019b. № 1 (13). Pp. 61-84. (in Russian)
  25. Nikonov V. A. *Sovremennyy mir i ego istoki* [The modern world and its origins]. Moscow: Izdatel'stvo Moskovskogo universiteta = Moscow University Press. 2015. 880 p. (in Russian)
  26. Nikonov V. A. *Nazad, k Koncertu* [Back to the Concert] // *Rossiya v global'noy politike* = Russia in Global Politics. 2017. № 6. Available at: <https://globalaffairs.ru/articles/nazad-k-konzertu-2/07.12.2017> (in Russian)
  27. Cherkashin A. K. Metateoreticheskoe modelirovanie pravovyh norm i otnoshenij [Metatheoretic modeling of legal norms and relations] // *Monitoring pravoprimereniya* = Monitoring of law enforcement. 2020. № 3 (36). Pp. 59-69. (in Russian)
  28. Graham T., Trenin D. Towards a new model for US– Russian Relations. *Survival: Global Politics and Society*. 2020. vol. 62. № 4. Pp. 119-134. DOI:10.1080/00396338.2020.1792101
  29. Kapchan Ch. *Mezhdu izolyacionizmom i vovlechyonnost'yu* [Between isolationism and engagement] // *Rossiya v global'nom mire* = Russia in the global world. 2021. № 2. Available at: <https://globalaffairs.ru/articles/izolyacionizm-vovlechyonnost>. (in Russian)
  30. Habermas Yu. *Raskolotyj Zapad* [Divided West]. Moscow: Izdatel'stvo «Ves' Mir» = Publishing House "The Whole World". 2008. 192 p. (in Russian)

УДК 004.942

## ЦИФРОВЫЕ МОДЕЛИ ЖИВУЧЕСТИ ДЛЯ ПОДДЕРЖКИ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА СТЕРЖНЕВЫХ КОНСТРУКЦИЙ

**Доронин Сергей Владимирович**

к.т.н., доцент, в.н.с., e-mail: [sdoronin@ict.nsc.ru](mailto:sdoronin@ict.nsc.ru),

**Филиппова Юлия Федоровна**

к.т.н., н.с., e-mail: [filippovajf@ict.nsc.ru](mailto:filippovajf@ict.nsc.ru),

Красноярский филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр информационных и вычислительных технологий», 660049 г. Красноярск, пр. Мира, 53.

**Аннотация.** Рассматриваются структура и содержание цифровых моделей живучести на примере стержневых конструкций. Разработаны функциональная и процедурная модели анализа живучести, выполнен численный анализ повреждаемого объекта с оценкой показателей живучести. Специфической чертой цифровых моделей живучести является то, что в основу дискретизации пространства входных данных и результатов предлагаются сценарии накопления повреждений в стержневых конструкциях.

**Ключевые слова:** цифровая модель, живучесть, стержневые конструкции, сценарии.

**Цитирование:** Доронин С. В., Филиппова Ю.Ф. Цифровые модели живучести для поддержки жизненного цикла стержневых конструкций // Информационные и математические технологии в науке и управлении. 2021. № 2 (22). С. 21-31. DOI:10.38028/ESI.2021.22.2.002

**Введение.** В настоящее время наблюдается лавинообразный рост публикаций, касающихся построения и использования цифровых моделей в различных областях науки и техники. Традиционная область интересов авторов – анализ живучести технических объектов, основываясь на обобщенной формулировке понятия живучести (ГОСТ 15.016-2016), под живучестью стержневых конструкций понимаем их свойство сохранять ограниченную работоспособность при наличии дефектов и повреждений определенного вида. Актуальность этой области знаний обусловлена большой распространенностью стержневых конструкций в технике, значительным количеством их разрушений, в том числе катастрофического характера. Опыт анализа таких разрушений показывает, что их предпосылки развивались в течение некоторого времени вследствие последовательного повреждений отдельных структурных элементов и связей между ними.

В рассматриваемой области знаний цифровые модели отсутствуют полностью. Одна из причин этого – неясность в формулировке возможных сценариев разрушения элементов и связей в структурно сложной стержневой системе. Кроме того, построение цифровых моделей требует конкретики, предполагает работу с массивами данных. Однако в области практического анализа живучести мало конкретных работающих моделей, отсутствует систематизация накопленных результатов в цифровой форме.

В связи с этим актуальной является разработка предметной области практического анализа живучести с учетом современных тенденций широкого внедрения цифровых технологий в научную и инженерную деятельность. При этом, в отличие от хорошо разработанных предметных областей, имеющих большую историю развития и значительное количество накопленных результатов, практический анализ живучести не требует цифровой трансформации: создавая предметную область фактически с зачаточного состояния, возможно и необходимо сразу делать это с позиций формирующегося мировоззрения информационного общества. В настоящей работе на примере одного из широко распространенных классов технических объектов – пространственных стержневых

конструкций – рассматривается ряд аспектов практического создания цифровых моделей живучести.

### **1. Информационные предпосылки создания цифровых моделей живучести.**

Идеология построения и использования цифровых моделей естественным образом основывается на информационных технологиях, использовавшихся первоначально при автоматизированном проектировании технических объектов, а затем распространенных и на остальные стадии жизненного цикла. К таковым преимущественно относятся CALS- и PLM-технологии.

CALS-технологии (Continuous Acquisition and Life cycle Support – непрерывная информационная поддержка поставок и жизненного цикла изделий), или ИПИ (информационная поддержка процессов жизненного цикла изделий) – подход к проектированию и производству высокотехнологичной и наукоёмкой продукции, заключающийся в использовании компьютерной техники и информационных технологий на всех стадиях жизненного цикла изделия.

Управление жизненным циклом изделия включает в себя широкий круг задач, решаемых в процессе проектирования, изготовления, эксплуатации и утилизации. Наибольшее количество задач приходится решать на стадиях проектирования и изготовления. Разработка современных изделий проводится в едином информационном пространстве, поддерживающем жизненный цикл при помощи компьютерных технологий, обозначаемых обычно аббревиатурой PLM (Product Lifecycle Management – управление жизненным циклом).

CALS- и PLM-технологии в настоящее время поддерживаются большим количеством международных стандартов. Все эти технологии и стандарты – предшественники и предпосылки построения цифровых моделей живучести. Принципиальная новизна таких моделей заключается в том, что оцифровываются характеристики конструкций в поврежденных состояниях.

Общие требования к цифровым моделям живучести включают в себя интеграцию с идеологией CALS/PLM и ориентацию на международные стандарты в области информационных технологий.

### **2. Многоуровневая система моделей анализа живучести стержневых конструкций.**

Функциональная модель анализа живучести стержневых конструкций в форме графической нотации IDEF0 сформулирована на базе их системной декомпозиции и учитывает требования современных информационных технологий и системной инженерии, интегрированных в CALS/ИПИ-технологиях. Модель определяет полный перечень необходимых действий эксперта-исследователя для получения оценочных характеристик живучести конструкции в целом и составляющих ее подсистем. Кроме того, она декларирует содержание входной и выходной информации, информационные взаимосвязи между элементами функциональной модели. Сформулированная функциональная модель определяет основное содержание процедур и моделей практического анализа живучести [1].

Исходя из функциональной модели, предлагается многоуровневая система процедурных моделей анализа живучести (рис. 1), которая включает три иерархических уровня моделей анализа: структурной живучести  $M_{Str}$ , живучести узла сочленения  $M_J$ , живучести повреждаемых стержневых элементов  $M_B$ .

Рассмотрим соотношение разработанных моделей с функциональной моделью анализа живучести [1]. Выходы функциональной модели нашли свое отражение в следующих моделях анализа живучести:

- модели поврежденных состояний –  $M_{Jc}$ ,  $M_{Ji}$ ,  $M_{Ba}$ ,  $M_{Bn}$ ,  $M_{S1}$ ,  $M_{Sm}$ ;

- характеристика прочности и разрушения поврежденных элементов –  $M_{Ba}, M_{S1}, M_{Sm}$ ;
- модели внешних нагрузок и воздействий –  $M_{Bn}, M_L, M_{Se}, M_{comb}$ ;
- внутренние силовые факторы в элементах соединения –  $M_{Jc}, M_{S0}$ ;
- возможные сценарии накопления повреждений в соединении –  $M_{Ji}, M_{Jc}$ ;
- реализуемые сценарии накопления повреждений и разрушения соединений –  $M_{Jc}$ ;
- сценарии повреждения и разрушения структуры при внешних нагрузках и воздействиях –  $M_{S1}, M_{Sm}$ ;
- траектории развития повреждений структуры, лимитирующих ее живучесть –  $M_{Sm}$ ;
- модели экстремальных, аварийных, запроектных нагрузок и воздействий –  $M_L$ ;
- конструктивный отклик на экстремальные, аварийные, запроектные нагрузки и воздействия –  $M_{comb}, M_{Se}$ .

Разработанная система моделей полностью соответствует всем выходам функциональной модели анализа конструкционной живучести.



**Рис. 1.** Иерархия моделей анализа живучести стержневых конструкций:

$M_{Sys}$  – конструкции;  $M_{Str}$  – структуры ( $M_{S0}$  – неповрежденной,  $M_S$  – поврежденной,  $M_{S1}$  – с одним поврежденным элементом,  $M_{Sm}$  – с  $m$  поврежденными элементами);  
 $M_J$  – узла сочленения ( $M_{Ji}$  – информационная,  $M_{Jc}$  – вычислительная);  
 $M_B$  – стержневого элемента ( $M_{Ba}$  – аналитическая,  $M_{Bn}$  – численная);  $M_{Sup}$  – в связи с системными взаимодействиями ( $M_L$  – анализа расчетных случаев нагружения,  $M_{comb}$  – неблагоприятного сочетания взаимного положения элементов,  $M_{Se}$  – при нештатном взаимодействии с системным окружением)

Иерархически организованная система моделей анализа живучести (рис. 1) объединяет информационные, вычислительные, аналитические, численные модели анализа живучести стержневых элементов, узлов их сочленения, стержневых структур в поврежденном и неповрежденном состоянии.

Конкретизация и практическая апробация ряда этих моделей выполнена для стержневых конструкций оборудования цифрового телерадиовещания и спутниковой связи [2-4], для рабочего оборудования карьерного экскаватора [5, 6], для токопроводов с литой изоляцией [7, 8], для узла сочленения стержневого каркаса рефлектора [9-12].

В настоящей работе с позиций построения цифровой модели живучести рассматривается реализация модели  $M_{Sm}$  – анализа живучести стержневой структуры с  $m$  поврежденными элементами.

**3. Структура цифровой модели живучести.** Цифровые модели живучести строятся на основе сценариев накопления повреждений различной степени тяжести. Известны [13] три принципиально различных подходов к определению сценариев, отличающиеся тем, что каждый последующий шаг разрушения обусловлен:

- состоянием поврежденности (накопленным уровнем повреждений), определенным предыдущими шагами (преимущественно внутренним состоянием системы) – вариант I;
- гипотетической последовательностью событий, определяемой по результатам анализа произошедших или предполагаемых возможными авариями и разрушениями (преимущественно внешними воздействиями на систему) – вариант II;
- предварительными соображениями о вкладе различных функциональных групп структурных элементов конструкции в формирование ее запаса живучести – вариант III.

Вариант I подхода к определению сценариев наиболее индивидуализирован. Он позволяет исследовать поведение повреждаемой конструкции при строго детерминированном наборе параметров, характеризующих конкретный экземпляр технического объекта и условия его работы. Вариант II дает возможность сосредоточить внимание на анализе привносимых извне факторов и событий. Вариант III является наиболее общим и направлен на выявление наиболее уязвимых структурных элементов и групп элементов, включаемых в общую силовую схему конструкции, а также на проведение качественного сравнительного анализа вариантов конструктивных схем.

Тогда сценарно ориентированная структура цифровой модели в общем виде выглядит следующим образом. Рассматриваются несколько сценариев, для каждого из которых определяется некоторая последовательность шагов. На каждом шаге каждого сценария с позиций живучести конструкция характеризуется набором параметров  $\{P\}$  – чисел, характеризующих отклик на наличие повреждения. Набор параметров  $\{P\}$  – цифровая модель живучести для конкретного шага конкретного сценария, а в целом цифровая модель живучести представляется массивом данных следующей структуры (табл. 1).

**Таблица 1.** Структура цифровой модели живучести

$N$ сценария	Шаг сценария				
	1	2	3	...	$K$
1	$\{P\}_{11}$	$\{P\}_{12}$	$\{P\}_{13}$	...	$\{P\}_{1K}$
2	$\{P\}_{21}$	$\{P\}_{22}$	$\{P\}_{23}$	...	...
3	$\{P\}_{31}$	$\{P\}_{32}$	$\{P\}_{33}$	...	...
...	...	...	...	...	...
$L$	$\{P\}_{L1}$	$\{P\}_{L2}$	$\{P\}_{L3}$	...	$\{P\}_{LK}$

Здесь  $L$  – включаемое в модель количество сценариев,  $K$  – максимальное количество шагов сценария (оно чаще всего оказывается различным для  $L$  сценариев).

**4. Численный пример – цифровая модель живучести стержневого каркаса прецизионного рефлектора параболической антенны наземных систем спутниковой связи.** Рассмотрим построение цифровой модели живучести силового каркаса крупногабаритного прецизионного рефлектора наземных систем спутниковой связи  $Q/K_a$ -частотного диапазона (рис. 2). Диаметр рефлектора составляет 12 м. Каркас представляет собой пространственную стержневую конструкцию из полимерных композиционных материалов. Стержни представлены трубами квадратного поперечного сечения 60×60 мм. Используются два варианта толщины стенки труб: на периферии 1,4 мм, в области ступицы 2,8 мм. Соединение труб осуществляется с использованием фитингов (толщина стенки 2,8 мм) посредством болтовых и клеевого соединений.



**Рис. 2.** Общий вид рефлектора и строение каркаса рефлектора

Конечно-элементная модель построена с использованием одномерных балочных (каркас), двумерных оболочечных (сегменты зеркала) и трехмерных (детали ступицы) конечных элементов. Модель содержит порядка 2,25 миллионов узлов и 960 тысяч элементов. Размерность модели обусловлена исследованием сходимости результатов (расчетных напряжений и деформаций) по сетке конечных элементов.

Прецизионность применительно к рассматриваемому объекту означает наличие специальных требований по точности обеспечения функциональных характеристик на всех стадиях жизненного цикла. Такие функциональные характеристики будем называть параметрами (параметром) прецизионности.

Требования к прецизионности антенны обусловлены частотным диапазоном ее функционирования: с увеличением частоты резко возрастают требования к жесткости и геометрической стабильности поверхности зеркала.

При работе на частоте  $f_z$  соответствующая длина радиоволны определяется как

$$\lambda_r = \frac{c}{f_z}, \quad (1)$$

где  $c$  – скорость распространения электромагнитной волны в вакууме (скорость света).

Максимальное линейное отклонение фактической формы элементов зеркала от теоретической по нормали к ней обычно не должно превышать [14]

$$u_{\max}^* = k_\lambda \cdot \lambda_r, \quad (2)$$

где  $k_\lambda$  – коэффициент, характеризующий порядок отклонения (в долях от  $\lambda_r$ ), при котором еще не возникает существенного снижения эффективности антенны. В первом приближении можно принять  $k_\lambda = 1/10 \dots 1/16$  [14].

Интегральный учет этих отклонений по всей поверхности зеркала осуществляется с помощью величины среднеквадратического отклонения (с.к.о.) геометрии рабочей поверхности от теоретического профиля

$$\delta = \sqrt{\frac{1}{S} \int_S d^2(r_a) dS} = \sqrt{\frac{1}{N_{ja}} \sum_{i=1}^N (u_i - u_a)^2}, \quad (3)$$

где  $r_a = r_a(x, y, z)$  – радиус-векторы точек отражающей поверхности;  $d(r)$  – квадрат отклонения отражающей поверхности от поверхности  $S$  идеального параболоида;  $N_{ja}$  – количество узлов сетки на поверхности зеркала при ее дискретизации;  $u_i$  – суммарное (по осям декартовой системы координат) поступательное перемещение  $i$ -го узла сетки;  $u_a$  – суммарное поступательное перемещение, усредненное по  $N$  узлам сетки.

Таким образом, для рассматриваемого типа объектов следует анализировать два параметра прецизионности:  $u_{\max}^*$ , имеющий явное физико-техническое обоснование, и  $\delta$ , являющийся синтетической величиной, значения которой не вытекают непосредственно из принципов работы антенны как радиотехнического устройства, а назначается директивно по опыту эксплуатации аналогичных объектов. Очевидно наличие связи между параметрами  $u_{\max}^*$  и  $\delta$ , но сама форма связи, как правило, неизвестна и не исследуется.

Количественные показатели живучести предлагается определять в относительных величинах следующим образом

$$S^r = \frac{u_{\max_0}}{u_{\max_i}} = h(d); \quad S^r = \frac{\delta_0}{\delta_i} = h(d), \quad (4)$$

где  $u_{\max_i}$ ,  $\delta_i$  – соответственно максимальное линейное отклонение и с.к.о. поверхности зеркала при  $i$ -ом повреждении каркаса;  $u_{\max_0}$ ,  $\delta_0$  – соответственно максимальное линейное отклонение и с.к.о. поверхности зеркала при неповрежденном каркасе;  $h(d)$  – расчетная зависимость от степени поврежденности  $d$  (количества разрушенных структурных элементов).

В качестве критериев живучести предлагается рассматривать условия неперевышения текущими значениями  $u_{\max_i}$ ,  $\delta_i$  параметров прецизионности поврежденной конструкции их критических величин  $u_{\max}^*$ ,  $\delta^*$ :

$$u_{\max_i} < u_{\max}^*; \quad \delta_i < \delta^*. \quad (5)$$

Оба показателя, определяемые в соответствии с (4), равнозначны с позиций оценки реакции конструкции на повреждения. Выбор между ними определяется уровнем информационной обеспеченности анализа живучести. Если в явном виде задано критическое значение с.к.о.  $\delta^*$ , предпочтительно оценивать живучесть с использованием соотношения  $\delta_0/\delta_i$ . Если величина  $\delta^*$  неизвестна, можно оценивать живучесть по соотношению  $u_{\max_0}/u_{\max_i}$  (критическое значение  $u_{\max}^*$  всегда может быть определено по (2)).

Рассмотрим возможности получения оценок живучести для конкретного технического объекта, для которого предъявляются требования прецизионности.

Оценка геометрической стабильности рефлектора выполнена при действии ветрового давления, соответствующего скорости воздушного потока 20 м/с, собственного веса конструкции (гравитации) при закреплении ступицы по трем площадкам, соответствующим условиям крепления конструкции на опорно-поворотном устройстве.

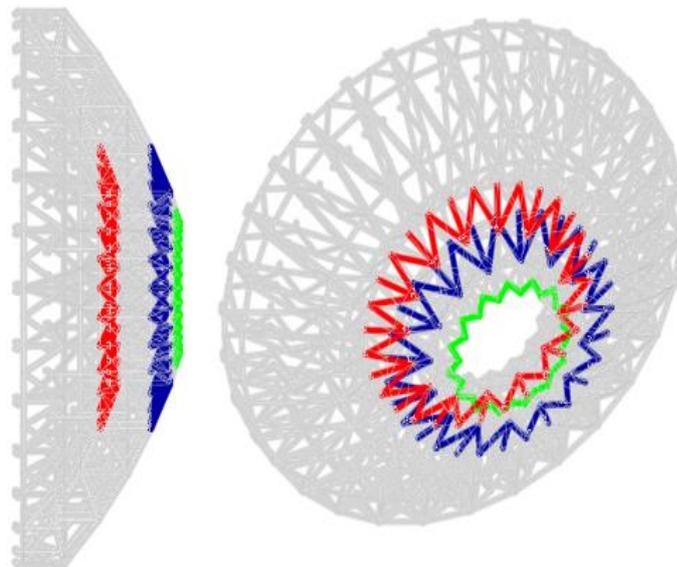
В результате статического анализа напряженно-деформированного состояния неповрежденной конструкции установлено, что наиболее нагруженными являются стержни каркаса в приступичной области. Среди них в большей мере нагружены стержни, примыкающие к нижней опорной части ступицы. В связи с этим сформулированы три сценария последовательного повреждения стержней (рис. 3):

I – разрушение стержней верхнего яруса каркаса, расположенные в приступичной области в непосредственной близости от отражающего зеркала: удалению из расчетной схемы последовательно подвергаются 45 стержней верхнего яруса (выделены на рис. 3 красным цветом), при точке зрения противоположно направлению фокальной оси – удаление осуществляется по часовой стрелке;

II – разрушение стержней нижнего яруса каркаса, расположенные в приступичной области: удалению из расчетной схемы последовательно подвергаются 45 стержней нижнего

яруса (выделены на рис. 3 синим цветом), при точке зрения вдоль направления фокальной оси – удаление осуществляется по часовой стрелке;

III – разрушение стержней нижнего яруса, непосредственно соединенных с приопорной частью ступицы: удалению из расчетной схемы последовательно подвергаются 30 стержней (выделены на рис. 3 зеленым цветом), при точке зрения вдоль направления фокальной оси – удаление осуществляется по часовой стрелке.



**Рис. 3.** Стержневые структурные элементы каркаса, разрушаемые в соответствии со сценариями I-III

Зависимости относительных показателей живучести от степени поврежденности (4) принимают значения показанные в табл. 2.

**Таблица 2.** Цифровая модель живучести стержневого каркаса прецизионного рефлектора параболической антенны наземных систем спутниковой связи

N сценария	Шаг сценария					
	1	2	...	30	...	45
1	{0,9981; 0,9976 }	{0,9969; 0,9961 }	...	{0,8235; 0,8227 }	...	{0,7638; 0,7582 }
2	{0,9896; 0,9926 }	{0,9791; 0,9852 }	...	{0,5870; 0,6327 }	...	{0,4645; 0,5077 }
3	{0,9901; 0,9878 }	{0,9901; 0,9877 }	...	{0,9446; 0,9371 }	–	–

Таким образом, получена цифровая модель живучести, исходя из сценариев повреждения, связанных со структурой каркаса.

Далее, дополнительно введем в рассмотрение критерий (5).

Длины радиоволн определяются по формуле (1) и составляют для диапазонов  $Q$  (42,5-45,5 ГГц) и  $K_a$  (18,2-21,2 ГГц) соответственно

$$\lambda_r = \left[ 299792458 / 42,5 \cdot 10^9; 299792458 / 45,5 \cdot 10^9 \right] = \left[ 7,05 \cdot 10^{-3}; 6,59 \cdot 10^{-3} \right] \text{ м};$$

$$\lambda_r = \left[ 299792458 / 18,2 \cdot 10^9; 299792458 / 21,2 \cdot 10^9 \right] = \left[ 1,65 \cdot 10^{-2}; 1,41 \cdot 10^{-2} \right] \text{ м}.$$

Интервальная оценка максимального линейного отклонения формы рефлектора составит

$$k_\lambda \lambda_r = \left[ 6,59 \cdot 10^{-3} / 16; 1,65 \cdot 10^{-2} / 10 \right] = \left[ 4,12 \cdot 10^{-4}; 1,65 \cdot 10^{-3} \right] \text{ м} = \left[ 0,412; 1,65 \right] \text{ мм}.$$

Таким образом, максимально допустимое отклонение формы зеркала  $u_{\text{max}}^* = 1,65 \text{ мм}$ . Предельное с.к.о. в соответствии с техническим заданием составляет  $\delta^* = 1,5 \text{ мм}$ .

С учетом критериев живучести глубина (количество шагов) сценариев составляет: для I сценария – 8; для II сценария – 3; для III сценария – 11. С учетом этого получим цифровую модель живучести являющуюся подмножеством модели, представленной табл. 2.

Аналогичным образом должны быть построены цифровые модели живучести в эксплуатационном интервале скоростей воздушного потока с некоторым шагом дискретизации (например, 5м/с). В этом случае будет получена система цифровых моделей, позволяющая решать практические задачи интеллектуальной поддержки жизненного цикла.

**Заключение.** Разработаны цифровые модели живучести, которые могут быть использованы для поддержки принятия следующих решений:

- определение конструктивных элементов, повреждение которых вносит наименьший и наибольший вклад в снижение работоспособности конструкций (для конструктивного управления устойчивостью к повреждениям на стадии проектирования);
- прогнозирование работоспособности при наличии повреждений (предотвращение опасности нарушения функционирования на стадии эксплуатации);
- установление наиболее неблагоприятного сценария нарушения работоспособности (экспертный анализ произошедших аварийных ситуаций на стадии эксплуатации).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Филиппова Ю.Ф. Функциональная модель конструкционной живучести пространственных стержневых систем // VI Всероссийская конференция Безопасность и мониторинг техногенных и природных систем. Красноярск: Сиб. федер. ун-т. 2018. С. 259-263.
2. Доронин С.В., Сигова Е.М., Буйницкая Ю.Ф. Оценка нагруженности и обоснование снижения металлоемкости каркаса телекоммуникационного контейнера в экстремальных условиях эксплуатации // Вестник СибГАУ. 2011. № 7. С. 94-98.
3. Беркутов С.В., Азингареев В.В., Буйницкая Ю.Ф. Исследование прочности и живучести несущих конструкций телекоммуникационного контейнера // Вестник СибГАУ. 2011. № 7. С. 76-80.
4. Буйницкая Ю.Ф. Численное моделирование сценариев разрушения телекоммуникационной мачты // XXIII Международная Инновационно-ориентированная конференция молодых ученых и студентов. М: Изд-во ИМАШ РАН. 2011. С. 18.
5. Doronin S.V., Filippova Y.F. Designs of mining shovels with digging equipment of nonclassical structural layout // Journal of Mining Science. 2016. Vol. 52. Iss. 3. Pp. 516-523.
6. Доронин С.В., Филиппова Ю.Ф. Обоснование расчетных нагрузений карьерных экскаваторов с неклассическими конструктивными схемами рабочего оборудования // Вестник машиностроения. 2017. № 8. С. 17-21.
7. Москвичев Е.В., Филиппова Ю.Ф., Еремин Н.В. Задачи исследования механической прочности и условий разрушения токопроводов с литой изоляцией // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Техника и технологии. 2017. Т. 10. № 1. С. 17-23.
8. Филиппова Ю.Ф., Доронин С.В., Москвичев Е.В. Модели температурного деформирования токопроводов с литой изоляцией // Строительная механика и расчет сооружений. 2018. № 3. С. 18-23.

9. Doronin S.V., Filippova Yu.F. Modeling of the multi-level process of damage accumulation in a reflector skeleton with an inhomogeneous structure [Electronic resource] // *Diagnostics, Resource and Mechanics of materials and structures*. 2018. Iss. 6. P. 191–202. DOI: 10.17804/2410-9908.2018.6.191-202.
  10. Filippova Yu.F., Doronin S.V. Numerical and experimental analysis of deformation and destruction of structurally heterogeneous joint assembly // *Journal of Physics: Conference Series*. 2019. Vol. 1260. Iss. 11. Art.112009. DOI:10.1088/1742-6596/1260/11/112009.
  11. Doronin S.V., Filippova Yu.F. Information model of damage accumulation and survivability for a joint assembly of a beam skeleton // *AIP Conference Proceedings*. 2018. Vol. 2053. Iss. 1. Art. 040017. DOI: 10.1063/1.5084455.
  12. Доронин С.В., Филиппова Ю.Ф. Оценка живучести структурно-сложных силовых конструкций на основе сценариев накопления повреждений // *Вестник Инженерной школы Дальневосточного федерального университета*. 2019. № 4 (41). С. 39-54.
  13. Талантов И.С. Спектрально-численный метод динамического расчета физически нелинейных стержневых систем с выключающимися элементами: дис. . канд. техн. наук. Санкт-Петербург: СПГАСУ. 2016. 162 с.
  14. Металлические конструкции. В 3 т. Т. 3. Стальные сооружения, конструкции из алюминиевых сплавов. Реконструкция, обследование, усиление и испытание конструкций зданий и сооружений (Справочник проектировщика) / Под ред. В.В. Кузнецова. М.: АСВ. 1999. 528 с.
- 

**UDK 004.942**

**DIGITAL MODEL OF SURVIVABILITY TO SUPPORT THE LIFE CYCLE  
OF BAR STRUCTURES**

**Sergey V. Doronin**

PhD, Assistant Professor, Leading Researcher, e-mail: [sdoronin@ict.nsc.ru](mailto:sdoronin@ict.nsc.ru),

**Yulia F. Filippova**

PhD, Researcher, e-mail: [filippovajf@ict.nsc.ru](mailto:filippovajf@ict.nsc.ru),

Federal Research Center for Information and Computational Technologies,  
660049, Krasnoyarsk, Russia, Krasnoyarsk Branch Office, 53, Mira avenue,

**Annotation.** The structure and content of digital models of survivability are considered on the example of bar structures. Functional and procedural models of survivability analysis were developed, numerical analysis of the damaged object was carried out with an assessment of survivability indicators. A specific feature of digital survivability models is that scenarios of damage accumulation in bar structures are proposed as the basis for sampling the space of input data and results.

**Keywords:** digital model, survivability, bar structures, scenarios.

REFERENCES

1. Filippova Ju.F. Funkcional'naja model' konstrukcionnoj zhivuchesti prostranstven-nyh sterzhnevyyh sistem [Functional model of structural survivability of spatial bar systems] // VI Vserossijskaja konferencija Bezopasnost' i monitoring tehnogennyh i prirodnyh sistem = VII All-Russian conference safety and monitoring of technogenic and natural systems. Krasnojarsk: Sib. feder. un-t = Krasnojarsk: Sib. Feder. un-t. 2018. Pp. 259-263. (in Russian).

2. Doronin S.V., Sigova E.M., Bujnickaja Ju.F. Ocenka nagruzhennosti i obosnovanie snizhenija metalloemkosti karkasa telekommunikacionnogo kontejnera v jekstremal'nyh uslovijah jekspluatacii [Assessment of loading and justification of reducing the metal consumption of the frame of a telecommunication container in extreme operating conditions] // Vestnik SibGAU = SibGAU Bulletin. 2011. № 7. Pp. 94-98. (in Russian).
3. Berkutov S.V., Azingareev V.V., Bujnickaja Ju.F. Issledovanie prochnosti i zhivuchesti nesushhih konstrukcij telekommunikacionnogo kontejnera [Investigation of the strength and survivability of the supporting structures of a telecommunication container] // Vestnik SibGAU = SibGAU Bulletin. 2011. № 7. Pp. 76-80. (in Russian).
4. Bujnickaja Ju.F. Chislennoe modelirovanie scenarijev razrushenija telekommunikacionnoj machty [Numerical modeling of scenarios of destruction of a telecommunication mast] // XXIII Mezhdunarodnaja Innovacionno-orientirovannaja konferencija molodyh uchënyh i studentov = XXIII International Innovation-Oriented Conference of Young Scientists and Students. Moskva: Izd-vo IMASh RAN = Moscow: IMASH RAS Publ. 2011. 18 p. (in Russian).
5. Doronin S.V., Filippova Y.F. Designs of mining shovels with digging equipment of nonclassical structural layout // Journal of Mining Science. 2016. Vol. 52. Iss. 3. Pp. 516-523.
6. Doronin S.V., Filippova Ju.F. Obosnovanie raschetnyh nagruzhenij kar'ernyh jekska-vatorov s neklassicheskimi konstruktivnymi shemami rabochego oborudovanija [Substantiation of design loads of open-pit excavators with non-classical design diagrams of working equipment] // Vestnik mashinostroenija = Russian Engineering Research. 2017. № 8. Pp. 17-21. (in Russian).
7. Moskvichev E.V., Filippova Ju.F., Eremin N.V. Zadachi issledovanija mehanicheskoj prochnosti i uslovij razrushenija tokoprovodov s litoj izoljaciej [Research tasks of mechanical strength and conditions of destruction of cast resin conductors] // Zhurnal Sibirskogo federal'nogo universiteta. Serija: Tehnika i tehnologii = Journal of the Siberian Federal University. Series: Engineering and technology. 2017. T. 10. № 1. Pp. 17-23. (in Russian).
8. Filippova Ju.F., Doronin S.V., Moskvichev E.V. Modeli temperaturnogo deformirovanija tokoprovodov s litoj izoljaciej [Models of thermal deformation of cast resin conductors] // Stroitel'naja mehanika i raschet sooruzhenij = Construction mechanics and construction calculations. 2018. № 3. Pp. 18-23. (in Russian).
9. Doronin S.V., Filippova Yu.F. Modeling of the multi-level process of damage accumulation in a reflector skeleton with an inhomogeneous structure [Electronic resource] // Diagnostics, Resource and Mechanics of materials and structures. 2018. Iss. 6. Pp. 191–202. DOI: 10.17804/2410-9908.2018.6.191-202.
10. Filippova Yu.F., Doronin S.V. Numerical and experimental analysis of deformation and destruction of structurally heterogeneous joint assembly // Journal of Physics: Conference Series. 2019. Vol. 1260. Iss. 11. Art.112009. DOI:10.1088/1742-6596/1260/11/112009.
11. Doronin S.V., Filippova Yu.F. Information model of damage accumulation and survivability for a joint assembly of a beam skeleton // AIP Conference Proceedings. 2018. Vol. 2053. Iss. 1. Art. 040017. DOI: 10.1063/1.5084455.
12. Doronin S.V., Filippova Ju.F. Ocenka zhivuchesti strukturno-slozhnyh silovyh konstrukcij na osnove scenarijev nakoplenija povrezhdenij [Assessment of the survivability of structurally complex load-bearing structures based on scenarios of damage accumulation] // Vestnik Inzhenernoj shkoly Dal'nevostochnogo federal'nogo universiteta = Bulletin of the

- Engineering School of the Far Eastern Federal University. 2019. № 4 (41). Pp. 39-54. (in Russian).
13. Talantov I.S. Spektral'no-chislennyj metod dinamicheskogo rascheta fizicheski neli-nejnyh sterzhnevyyh sistem s vykljuchajushhimisja jelementami. Dis. kand. tehn. Nauk [Spectral-numerical method for dynamic calculation of physically nonlinear rod systems with switching off elements: dis. Cand. tech. sciences]. Sankt-Peterburg: SPGASU = St. Petersburg: SPGASU. 2016. 162 p. (in Russian).
14. Metallicheskie konstrukcii. V 3 t. T. 3. Stal'nye sooruzhenija, konstrukcii iz aljumi-nievyyh splavov. Rekonstrukcija, obsledovanie, usilenie i ispytanie konstrukcij zdaniy i sooruzhenij (Spravochnik proektirovshhika) [Metal constructions. In 3 volumes. V. 3. Steel structures, structures from aluminum alloys. Reconstruction, inspection, strengthening and testing of structures of buildings and structures (Designer's Guide)] / Pod red. V.V. Kuznecova. Moskva: Izd-vo ASV = Moscow: ASV Publ. 1999. 528 p. (in Russian).

УДК 004.94

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ УДАЛЕННЫХ АГРАРНЫХ ХОЗЯЙСТВ

**Борисоглебская Лариса Николаевна**

д. э. н., к.т.н., профессор, проректор по научной и проектно-инновационной деятельности,

e-mail: [boris-gleb@rambler.ru](mailto:boris-gleb@rambler.ru)

Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева,

302026 г. Орел, ул. Комсомольская, д. 95.

**Сергеев Сергей Михайлович**

к.т.н., старший научный сотрудник, доцент

e-mail: [sergeev2@yandex.ru](mailto:sergeev2@yandex.ru)

Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева,

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,

195251 г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29.

**Лебедева Яна Олеговна**

к.э.н., докторант, начальник отделения проектно-инновационной деятельности

e-mail: [yana-lebedeva@bk.ru](mailto:yana-lebedeva@bk.ru)

Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева,

БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова

190005 г. Санкт-Петербург, ул. Красноармейская 1-я, д. 13

**Аннотация.** В статье изложены результаты исследований в рамках выполнения стратегических направлений деятельности Инжинирингового центра технологий цифровой среды для обеспечения комплексной безопасности телекоммуникации, средств связи и энергоэффективности Орловского государственного университета им. И.С. Тургенева. Рассмотрен актуальный для аграрного сектора вопрос функционирования периферийных сельскохозяйственных объектов в условиях ограниченных энергоресурсов. Предложен научный подход с использованием математического моделирования.

**Ключевые слова:** энергия, эффективность, аграрное хозяйство, математическая модель, оптимизация.

**Цитирование:** Борисоглебская Л. Н., Сергеев С. М., Лебедева Я. О. Моделирование проблемы энергоэффективности удаленных аграрных хозяйств // Информационные и математические технологии в науке и управлении. 2021. № 2 (22). С. 32-38. DOI:10.38028/ESI.2021.22.2.003

**Введение.** При формировании области деятельности Инжинирингового центра, созданного на базе ОГУ им. И.С. Тургенева, принимались во внимание цели и задачи, поставленные в ряде документов стратегического характера, включая Национальную программу «Цифровая экономика Российской Федерации» [1] и Национальный доклад о результатах реализации в 2018 году Госпрограммы развития сельского хозяйства [2]. Данные документы подтверждают, что решение стратегических задач программы развития сельского хозяйства [3] требует применения научно-обоснованных методик. Цифровизация позволяет решить одну из самых сложных проблем их внедрения. В концепции цифровой экономики поток данных о состоянии управляемой системы поступает в режиме реального времени, что позволит использовать их в качестве аргументов математической модели. Такая возможность оперировать с данными [4], является ключевым аргументом при внедрении математических оптимизационных моделей. Такая концепция позволит полнее реализовать потенциал периферийных и удаленных агропромышленных хозяйств, что является принципиально важным с учетом масштабов нашей страны. Если, начиная с 2015 года, усилия

производителей имели вектор импортозамещения, то сейчас на первый план выходят оптимизация затрат и повышении экономической эффективности, что позитивно скажется не только на показателях товаропроизводителей, но и на наполнении потребительской корзины отечественной конкурентоспособной сельхозпродукцией по доступным ценам.

**1. Область исследования.** Обзор современного состояния и методик передовых производителей агропромышленной продукции в ближайших по климатическим условиям странах Европы показывает, что использование цифровизации снижает долю энергозатрат в среднем до 7,2% от конечной цены продукта компьютеризированных систем [5]. В аналогичной продукции Российских предприятий доля энергозатрат в их стоимости достигает величины 21%. Это наглядно демонстрирует значительный потенциал данного направления исследований. Кроме того, согласно этим данным, увеличение производства сельскохозяйственной продукции на один процент вынужденно повышает общие необходимые энергозатраты на 2,4...3,1%. В пересчете на условное топливо это равно 250-280 кг на один гектар пахотных земель в России, в то время как применение компьютеризированных систем в странах Европейского союза позволяет снизить этот показатель до 140-180 кг условного топлива.

**2. Постановка задачи.** В ходе проведения совместной работы исследователей Инжинирингового центра технологий цифровой среды для обеспечения комплексной безопасности телекоммуникации, средств связи и энергоэффективности Орловского государственного университета им. И.С. Тургенева (ИЦ ТЦС) с предприятиями Орловской области была поставлена задача разработки программных решений для ЭВМ [6]. В их основу должны быть положены разработанные алгоритмы управления, ориентированные на применение в удаленных аграрных хозяйствах Орловской и Воронежской областей. Необходимо отметить, что к такому виду объектов можно отнести подавляющее большинство животноводческих и растениеводческих предприятий по всей территории Российской Федерации.

**3. Математическое моделирование.** Для математического моделирования формализуем показатели производственных и природных ресурсов [7]. Эти показатели взаимно увязаны, так как при повышении производственной нагрузки снижаются показатели качества природных ресурсов такие, как плодородие почв, урожайность, состояние пастбищных угодий. Задача состоит в оптимизации потребления энергоресурсов при условии ограниченности наличных природных возможностей к воспроизводству.

Введем число  $n$  предприятий, размещенных в зоне земледелия, включая животноводство. Интенсивность потребления  $R^{SUM}$  природных возможностей воспроизводимых ресурсов обозначим  $r_i$ , для  $i=1...n$ . Это можно свести в общий вектор  $\bar{R} = (r_1, r_2, \dots, r_n)$  [8].

Тогда определим  $R^{SUM} = \sum_{i=1}^n r_i$ . Определим показатель экономической выгоды  $\gamma(r_i)$  и значение переменных расходов  $V$ . Практика показывает, что, начиная с объема суммарной нагрузки, равного  $R^{MAX}$ , отдача природного ресурса снижается по причинам насыщения его возможностей, а также участия других пользователей. Таким образом, начиная с  $R^{SUM} > R^{MAX}$ , для первой производной выполняется  $\gamma'(r_i) < 0$ . Поскольку деятельность  $n$  аграрных предприятий в зоне одного ограниченного природного ресурса несет негативную компоненту, имеем также выполнение условия  $\gamma''(r_i) < 0$ . Для каждого  $i$ -го из  $n$  потребителей коммерческая выгода равна:  $Q_i = r_i \gamma(r_1 + r_2 + \dots + r_n) - V r_i = r_i \gamma(R^{SUM}) - V r_i$ . Если подойти с точки зрения математической теории игр [9], то при равновесии по Нэшу найдется

интенсивность нагрузки  $i$  – го предприятия  $r_i^*$  дающее максимально возможное значение  $Q_i$  для  $i=1...n$  при остальных составляющих вектора нагрузки  $\bar{R}$  для  $\bar{R}_i^*(r_1^*, r_2^*, \dots, r_{i-1}^*, r_{i+1}^*, \dots, r_n^*)$ .

Приравняв нулю частные производные  $\frac{\partial Q_i}{\partial r_i} = 0$ , для всех  $i=1...n$ , введя значение  $r_{-i}^* = \sum_{k \neq i} r_k^*$ ,

в итоге имеем:  $\gamma(r_i + r_{-i}^*) + r_i \gamma'(r_i + r_{-i}^*) - V = 0$ , при всех  $i=1...n$ . Если просуммировать в

равновесных условиях  $R^*$  [10], рассчитаем:  $R^* = n \frac{V - \gamma(R^*)}{\gamma'(R^*)}$ . Проведя такой расчет [11] для

поиска оптимального [12] использования  $R_0$  природного ресурса всеми участниками

сельскохозяйственной деятельности, то получим другое выражение:  $R_0 = \frac{V - \gamma(R_0)}{\gamma'(R_0)}$ . Так как

при этом выполнены условия  $\gamma''(r_i) < 0$  и  $n \gg 1$ , то следует, что  $R^* > R_0$

На практике это можно представить как, например, выращивание кормовых культур на ограниченных площадях удаленной животноводческой фермой или, применительно к аналогичной сельскохозяйственной деятельности, в условиях использования ограниченного природного ресурса. После расчета можно определить оптимальную нагрузку на ресурс и потребляемые энергоресурсы исходя из условия достижения максимума планируемой прибыли [13].

**4. Практическое применение.** Результаты изложенных исследований ИЦ ТЦС были использованы в рамках совместного проекта с Санкт-Петербургским политехническим университетом Петра Великого. Такой выбор был основан на значительных достижениях в освоении современных методик энергосберегающих способов ведения сельского хозяйства в Ленинградской области с посевными площадями 230 тыс. га. Результаты расчетов, выполненных с применением данных, предоставленных отчетностью двух опытных хозяйств агропрома Орловской области и трех хозяйств Воронежской области, показаны в табл. 1.

**Таблица 1.** Сравнение исходных и расчетных данных о потреблении энергоресурсов.

Наименование	Вид	Прежнее значение	После применения методики	% экономии / прироста
Потребляемые энергоресурсы	Твердое топливо (т)	204	198	2,9%
	Автомобильные ГСМ (т)	1060	980	7,55%
	Электрическая энергия (МВт)	170	155	8,8%
	Хладагенты и технические жидкости (т)	21	20,5	2,4%
	Газ (т. М <sup>3</sup> )	14	13,6	2,8%
	Вода (т.л.)	7290	7400	-1,5%
Показатели	Урожайность (т.)	1340	1390	3,7%
	Численность работников	880	855	-2,8%

Для России в целом, в перспективе, набор показателей, аналогичный приведенным выше в таблице 1, должен выглядеть существенно лучше, а экономический эффект гораздо

выше, по причине того, что процессы внедрения инноваций в отечественном АПК только начинаются и в наличии огромный потенциал энергосбережения [14].

**Заключение.** В современной России основная масса сельскохозяйственной продукции реализуется через коммерческие сети. Их сегмент в общей торговле превышает 80%. Одним из важных драйверов внедрения современных методов ведения аграрного бизнеса стало развитие концепции Private Label. Это означает глубокую аффилиацию сельскохозяйственных предприятий в состав торговых сетей. Достижения цифровизации в первую очередь внедрялись у крупных игроков этого вида коммерции. Во всех работающих на территории России коммерческих сетях широко применяются современные программные решения для управления процессами и системы поддержки управленческих решений. Предлагаемая в работе методика повышения энергоэффективности удаленных аграрных хозяйств может быть встроена в качестве одного из дополнительных программных модулей в подсистему Private Label общей системы планирования деятельности коммерческой сети. Именно такое взаимодействие позволит применить научные методы организации агробизнеса, адаптировать их в состав хорошо налаженного программного обеспечения управления сетевой коммерцией.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Паспорт национального проекта Национальная программа "Цифровая экономика Российской Федерации" (утв. протоколом заседания президиума Совета при Президенте Российской Федерации по стратегическому развитию и национальным проектам от 4 июня 2019 г. № 7). Режим доступа: <http://www.consultant.ru/>
2. Национальный доклад о ходе и результатах реализации в 2018 году Государственной программы развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия на 2013–2020 годы (утв. Распоряжением Правительства Российской Федерации от 22 июня 2019 года №1352-р). Режим доступа: <http://www.consultant.ru/>
3. Sergeev S.M., Sidnenko T.I., Sidnenko D.B. Distribution centers for agriculture, their modeling // International Scientific School. Paradigma Summer-2016 Selected Papers. Yelm. WA. USA. 2016. С. 92-97.
4. Piashenko O., Sergeev S., Krasnov S. Calculation of high-rise construction limitations for non-resident housing fund in megacities // В сборнике: E3S Web of Conferences. 2018. С. 03006.
5. Сергеев С.М. Решение задачи сетевого взаимодействия при учете ресурсных ограничений // Экономика и менеджмент систем управления. 2016. Т. 20. № 2-2. С. 291-297.
6. Борисоглебская Л.Н., Сергеев С.М. Кросс-функциональное моделирование процессов взаимодействия коммерческих сетей // Инновации. 2016. № 11 (217). С. 111-116.
7. Sergeev S.M. Expansion of DEA methodology on the multimodal conception for the 3PL // В сборнике: Modern informatization problems in simulation and social technologies Proceedings of the XXIII-th International Open Science Conference. Editor in Chief O.Ja. Kravets. 2018. С. 169-176.
8. Borisoglebskaya L.N., Provotorov V.V., Sergeev S.M., Kosinov E.S. Mathematical aspects of optimal control of transference processes in spatial networks // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering International Workshop "Advanced Technologies in Material Science, Mechanical and Automation Engineering. MIP: Engineering – 2019".

- Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations. 2019. С. 42025.
9. Sergeev S., Kirillova T., Krasnyuk, I. Modelling of sustainable development of megacities under limited resources // В сборнике: E3S Web of Conferences. 2018 Topical Problems of Architecture, Civil Engineering and Environmental Economics. TPACEE 2018. 2019. С. 05007
  10. Provotorov V.V., Sergeev S.M., Part A.A. Solvability of hyperbolic systems with distributed parameters on the graph in the weak formulation // Vestnik of Saint Petersburg University. Applied Mathematics. Computer Science. Control Processes. 2019. Т. 15. № 1. С. 107-117.
  11. Krasnov S., Sergeev S., Titov A., Zotova Y. Modelling of digital communication surfaces for products and services promotion // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 2019. С. 012032.
  12. L. N. Borisoglebskaya, E. N. Provotorova, S. M. Sergeev. Promotion based on digital interaction algorithm//International Scientific Workshop "Advanced Technologies in Material Science, Mechanical and Automation Engineering". MIP: Engineering-2019. 2019 IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 537 042032.
  13. Krasnov, S., Zotova, E., Sergeev, S., Krasnov, A., Draganov, M. Stochastic algorithms in multimodal 3PL segment for the digital environment // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 8th International Scientific Conference "TechSys 2019" - Engineering, Technologies and Systems 2019. С. 012069.
  14. Борисоглебская Л.Н., Миронова И.А., Сергеев С.М. Моделирование коммерческой деятельности предприятий в условиях инновационных предложений // Инновации. 2013. № 1 (171). С. 107-111.

**MODELING THE PROBLEM OF ENERGY EFFICIENCY  
REMOTE AGRARIAN FARMS**

**Larisa N. Borisoglebskaya**

Doctor of economics, candidate of technical sciences, professor, vice-rector for scientific and design and innovation activities,

e-mail: [boris-gleb@rambler.ru](mailto:boris-gleb@rambler.ru)

Oryol State University named after I.S. Turgenev,  
302026, Komsomolskaya st., 95., Oryol, Russia.

**Sergei M. Sergeev**

Candidate of technical sciences, senior researcher, associate professor,

e-mail: [sergeev2@yandex.ru](mailto:sergeev2@yandex.ru)

Oryol State University named after I.S. Turgenev,  
Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University,  
195251, Polytechnic st., 29, St. Petersburg, Russia.

**Yana O. Lebedeva**

Candidate of economic sciences, doctoral student, head of the department of design and innovation activities

e-mail: [yana-lebedeva@bk.ru](mailto:yana-lebedeva@bk.ru)

Oryol State University named after I.S. Turgenev,  
BSTU "VOENMEKH" them. D.F. Ustinova  
190005 St. Petersburg, Russia, st. Krasnoarmeiskaya 1st, 13.

**Annotation.** The article presents the results of research in the framework of the implementation of the strategic directions of the Engineering Center for Digital Environment Technologies to ensure the integrated security of telecommunications, communications and energy efficiency of the Oryol State University named after I.S. Turgenev. The issue of the functioning of peripheral agricultural facilities in conditions of limited energy resources, which is relevant for the agricultural sector, is considered. A scientific approach using mathematical modeling is proposed.

**Keywords:** energy, efficiency, agricultural economy, mathematical model, optimization.

REFERENCES

1. Paspport natsional'nogo proyekta Natsional'naya programma "Tsifrovaya ekonomika Rossiyskoy Federatsii" (utv. protokolom zasedaniya prezidiuma Soveta pri Prezidente Rossiyskoy Federatsii po strategicheskomu razvitiyu i natsional'nym proyektam ot 4 iyunya 2019 g. № 7) [Passport of the national project National Program "Digital Economy of the Russian Federation" (approved by the minutes of the meeting of the Presidium of the Council under the President of the Russian Federation for Strategic Development and National Projects № 7 dated June 4, 2019)]. Available at: <http://www.consultant.ru>. (in Russian)
2. Natsional'nyy doklad o khode i rezul'tatakh realizatsii v 2018 godu Gosudarstvennoy programmy razvitiya sel'skogo khozyaystva i regulirovaniya rynkov sel'skokhozyaystvennoy produktsii, syr'ya i prodovol'stviya na 2013–2020 gody (utv. Rasporyazheniyem Pravitel'stva Rossiyskoy Federatsii ot 22 iyunya 2019 goda №1352-r) [National report on the progress and results of the implementation in 2018 of the State Program for the Development of Agriculture and Regulation of Agricultural Products, Raw Materials and Food Markets for 2013–2020 (approved by the Order of the Government of the Russian

- Federation of June 22, 2019 № 1352-р)]. Available at: <http://www.consultant.ru/> (in Russian)
3. Sergeev S.M., Sidnenko T.I., Sidnenko D.B. Distribution centers for agriculture, their modeling. International Scientific School. Paradigma Summer-2016 Selected Papers. Yelm. WA. USA. 2016. Pp. 92-97.
  4. Iliashenko O., Sergeev S., Krasnov S. Calculation of high-rise construction limitations for non-resident housing fund in megacities. E3S Web of Conferences. 2018. P. 03006.
  5. Sergeev S.M. Resheniye zadachi setevogo vzaimodeystviya pri uchete resursnykh ogranicheniy [Solving the problem of network interaction while taking into account resource constraints]. *Ekonomika i menedzhment sistem upravleniya = Economics and management of control systems*. 2016. Vol. 20. № 2-2. Pp. 291-297.
  6. Borisoglebskaya L.N., Sergeev S.M. Cross-functional modeling of the processes of interaction of commercial networks [Cross-functional modeling of processes of interaction of commercial networks]. *Innovatsii = Innovations*. 2016. № 11 (217). Pp. 111-116.
  7. Sergeev S.M. Expansion of DEA methodology on the multimodal conception for the 3PL // In the collection: Modern informatization problems in simulation and social technologies Proceed-ings of the XXIII-th International Open Science Conference. Editor in Chief O. Ja. Kravets. 2018. S. 169-176.
  8. Borisoglebskaya L.N., Provotorov V.V., Sergeev S.M., Kosinov E.S. Mathematical aspects of optimal control of transference processes in spatial networks. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering International Workshop "Advanced Technologies in Material Science, Mechanical and Automation Engineering. MIP: Engineering - 2019". Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations. 2019. S. 42025.
  9. Sergeev S., Kirillova T., Krasnyuk, I. Modeling of sustainable development of megacities under limited resources. E3S Web of Conferences. 2018 Topical Problems of Architecture, Civil Engineering and Environmental Economics. TPACEE 2018. 2019. S. 05007.
  10. Provotorov V.V., Sergeev S.M., Part A.A. Solvability of hyperbolic systems with distributed parameters on the graph in the weak formulation. *Vestnik of Saint Petersburg University. Applied Mathematics. Computer Science. Control Processes*. 2019. Vol. 15. № 1. Pp. 107-117.
  11. Krasnov S., Sergeev S., Titov A., Zotova Y. Modeling of digital communication surfaces for products and services promotion. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 2019. S. 012032.
  12. Borisoglebskaya L. N., Provotorova E. N., Sergeev S. M. Promotion based on digital interaction algorithm. International Scientific Workshop "Advanced Technologies in Material Science, Mechanical and Automation Engineering". MIP: Engineering-2019. 2019 IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 537 042032.
  13. Krasnov, S., Zotova, E., Sergeev, S., Krasnov, A., Draganov, M. Stochastic algorithms in multimodal 3PL segment for the digital environment. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 8th International Scientific Conference "TechSys 2019". Engineering, Technologies and Systems 2019, S. 012069.
  14. Borisoglebskaya L.N., Mironova I.A., Sergeev S.M. Modeling the commercial activities of enterprises in the context of innovative proposals [Modeling the commercial activity of enterprises in the context of innovative proposals]. *Innovatsii = Innovations*. 2013. № 1 (171). Pp. 107-111.

УДК 004.8+004.62

## РЕСУРСЫ, ПРЕДОСТАВЛЯЮЩИЕ ДАННЫЕ ДЛЯ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ И ПРОВЕРКИ ТЕХНОЛОГИЙ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

Сикулер Денис Валерьевич

к.т.н., доцент кафедры «Информационные системы»,

e-mail: [rimol@km.ru](mailto:rimol@km.ru),

Российский государственный педагогический университет им. А. И. Герцена,  
191186, г. Санкт-Петербург, набережная реки Мойки, д.48.

**Аннотация.** В статье выполнен обзор 10 ресурсов сети Интернет, позволяющих подобрать данные для разнообразных задач, связанных с машинным обучением и искусственным интеллектом. Рассмотрены как широко известные сайты (например, Kaggle, Registry of Open Data on AWS), так и менее популярные или узкоспециализированные ресурсы (к примеру, The Big Bad NLP Database, Common Crawl). Все ресурсы предоставляют бесплатный доступ к данным, в большинстве случаев для этого даже не требуется регистрация. Для каждого ресурса указаны характеристики и особенности, касающиеся поиска и получения наборов данных. В работе представлены следующие сайты: Kaggle, Google Research, Microsoft Research Open Data, Registry of Open Data on AWS, Harvard Dataverse Repository, Zenodo, Портал открытых данных Российской Федерации, World Bank, The Big Bad NLP Database, Common Crawl.

**Ключевые слова:** поиск данных, набор данных, открытые данные, репозиторий данных, каталог наборов данных, искусственный интеллект, машинное обучение.

**Цитирование:** Сикулер Д. В. Ресурсы, предоставляющие данные для машинного обучения и проверки технологий искусственного интеллекта // Информационные и математические технологии в науке и управлении. 2021. № 2 (22). С. 39-52. DOI:10.38028/ESI.2021.22.2.004

**Введение.** Разнообразные технологии и инструменты на основе искусственного интеллекта получают всё большее распространение и становятся более значимыми не только в различных сферах науки, техники, экономики и производства, но и в повседневной жизни обычных людей. Глобальная пандемия коронавируса COVID-19 продемонстрировала уязвимость человечества не только перед эпидемическими угрозами и сопутствующими проблемами, но и в аспекте вызванных ими долгосрочных последствий и ограничений [1-3]. Вместе с тем, пандемия еще раз показала и подтвердила, что успешно, эффективно и оперативно справляться с возникающими сложностями в различных областях деятельности можно, привлекая компьютерные средства и информационные технологии, в том числе связанные со сферой искусственного интеллекта [1, 3-12]. Многие проблемы и задачи, имеющие прямое или опосредованное отношение к эпидемии, будь то синтез вакцин и лекарств, анализ рентгеновских снимков, распределение больных и ресурсов и т.п., можно быстро и качественно решать лишь с применением интеллектуальных компьютерных технологий и инструментов [13-15]. Одним из ключевых факторов для разработки подобных эффективных технологий и средств является машинное обучение [7, 16-22]. Однако для успешного его осуществления, как правило, требуются многочисленные и разнообразные данные, которые во многих случаях может оказаться затруднительно собрать и подготовить [16, 17, 23-26]. В связи с этим особую роль приобретает поиск готовых данных. В [27] был рассмотрен ряд сайтов сети Интернет, предоставляющих доступ к различным данным, которые могут быть использованы с целью разработки и тестирования технологий и средств искусственного интеллекта и машинного обучения. Ниже приводится краткий обзор еще

нескольких ресурсов, с помощью которых можно найти данные для различных областей машинного обучения.

**1. Kaggle** (<https://www.kaggle.com>). На известном ресурсе, посвященном различным аспектам научно-исследовательской обработки данных [19, 21-23, 26, 28, 29], можно найти несколько десятков тысяч наборов данных, касающихся самых разнообразных сфер деятельности и прикладных задач (рис. 1). Например, представлено множество данных, относящихся к таким областям, как экономика и бизнес, классификация и распознавание образов, медицина и здоровье, образование и сфера развлечений, обработка изображений и естественного языка. Отдельно стоит отметить, что на сайте имеется более 2000 наборов данных, так или иначе касающихся COVID-19. С набором данных могут быть связаны так называемые блокноты (в том числе, Jupyter Notebooks), в которых можно выполнить интересующую обработку, а также исследовательские задачи, для которых можно предлагать решения в виде блокнотов. Таким образом, помимо собственно данных Kaggle предоставляет полноценную среду для работы с ними, включая инструменты на основе Jupyter. В блокнотах можно использовать программный код на языках Python или R. Поддерживаются различные форматы файлов данных, в том числе CSV, JSON и SQLite.

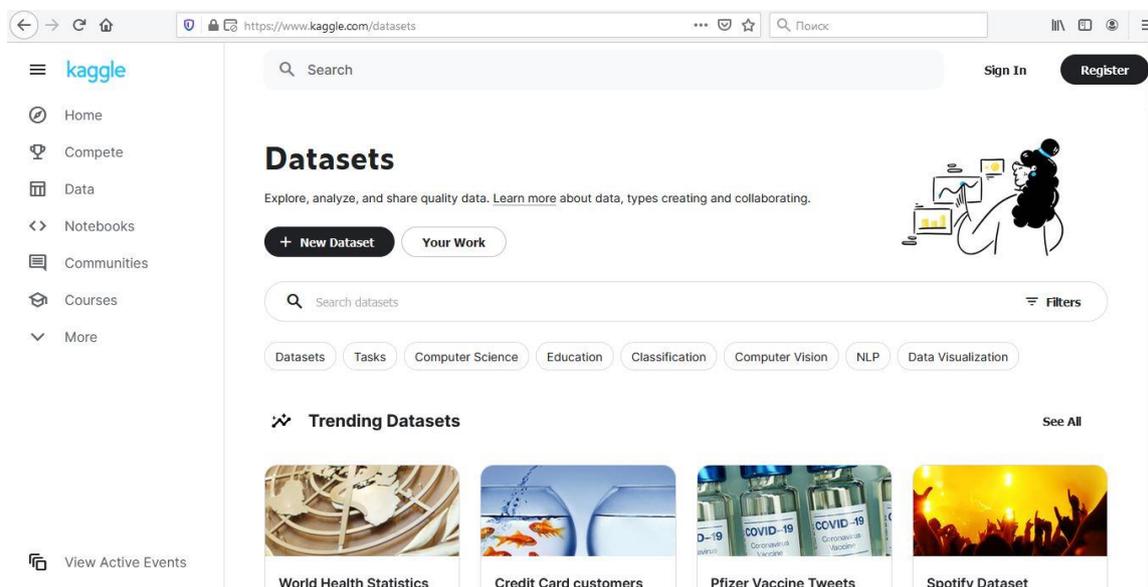


Рис. 1. Каталог наборов данных на ресурсе Kaggle

Для полноценной работы с ресурсом, в том числе для добавления и скачивания данных, необходима регистрация. Однако без регистрации можно просматривать данные и связанные с ними блокноты, а также создавать новые блокноты и выполнять с помощью них эксперименты (время работы ограничено).

На Kaggle также доступны так называемые состязания (конкурсы), в рамках которых нужно предложить решение для определенной задачи, связанной с обработкой данных [21, 22]. Для некоторых конкурсов предлагается финансовое вознаграждение за то или иное итоговое место.

Kaggle также предоставляет программный интерфейс (API) и инструменты командной строки для взаимодействия с ресурсом. Например, можно скачивать или создавать наборы данных, а также создавать и запускать на выполнение блокноты.

**2. Google Research** (<https://research.google/tools/datasets/>). На сайте исследовательского подразделения Google доступен каталог (рис. 2), включающий несколько десятков ресурсов с данными, которые можно использовать для различных изысканий, так или иначе связанных с компьютерными науками. В основном представлены данные, относящиеся к обработке:

- аудио; например, снабженная транскрипцией записанная речь на различных языках, в том числе малораспространенных типа баскского (Basque multi-speaker speech) или галисийского (Galician multi-speaker speech);
- текста; например, различные данные, извлеченные из страниц Wikipedia, в том числе Dictionaries for linking Text, Entities, and Ideas - база данных понятий (несколько миллионов) и связанных с ними слов и ссылок (более 100 миллионов);
- видео; например, YouTube-BoundingBoxes – сотни тысяч фрагментов видео из YouTube, которые снабжены миллионами аннотаций выделенных объектов различных классов (более 20) на кадрах;
- изображений; например, Quick Draw - многомиллионная коллекция ручных черно-белых рисунков-набросков, изображающих разнообразные предметы и понятия, относящиеся более чем к 300 категориям.

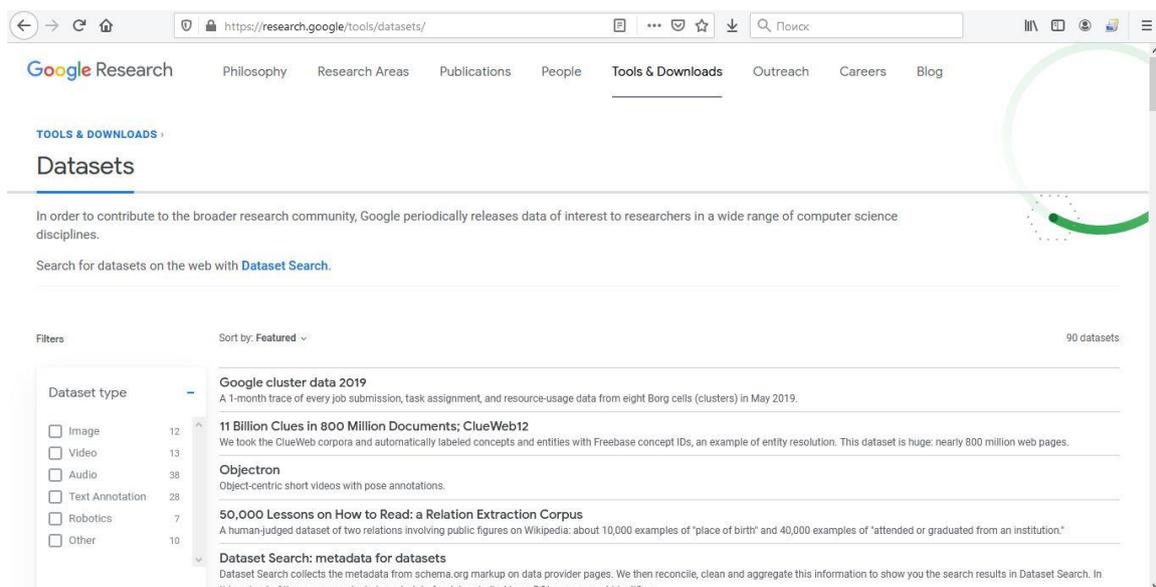


Рис. 2. Каталог наборов данных на сайте Google Research

В основном данные свободно доступны для скачивания. Однако в некоторых случаях для доступа требуется использование учетной записи Google или заполнения формы с информацией о пользователе и целях получения данных. Следует отметить, что наборы данных преимущественно характеризуются большими объемами, например, содержат большое количество файлов или же несколько файлов, размер которых исчисляется десятками и сотнями мегабайт или гигабайт.

**3. Microsoft Research Open Data** (<https://msropendata.com/datasets>). Компания Microsoft также создала репозиторий для публикации наборов данных, которые имеют отношения к её разработкам или исследованиям. Репозиторий (рис. 3) включает более 90 наборов, которые распределены по следующим категориям (в скобках приведено количество наборов на момент обращения): компьютерные науки (48), общественные науки (20), информатика (6), здравоохранение (5), физика (4), математика (3), биология (2), науки о Земле (2), образование (1), другое (1). Формат, в котором представлены данные, зависит от конкретного набора. Помимо CSV/TSV и JSON встречаются также данные в форматах DOCX, PDF, TXT и других. Часть данных доступна для просмотра непосредственно на сайте. Для скачивания файлов с данными необходимо зарегистрироваться на ресурсе.

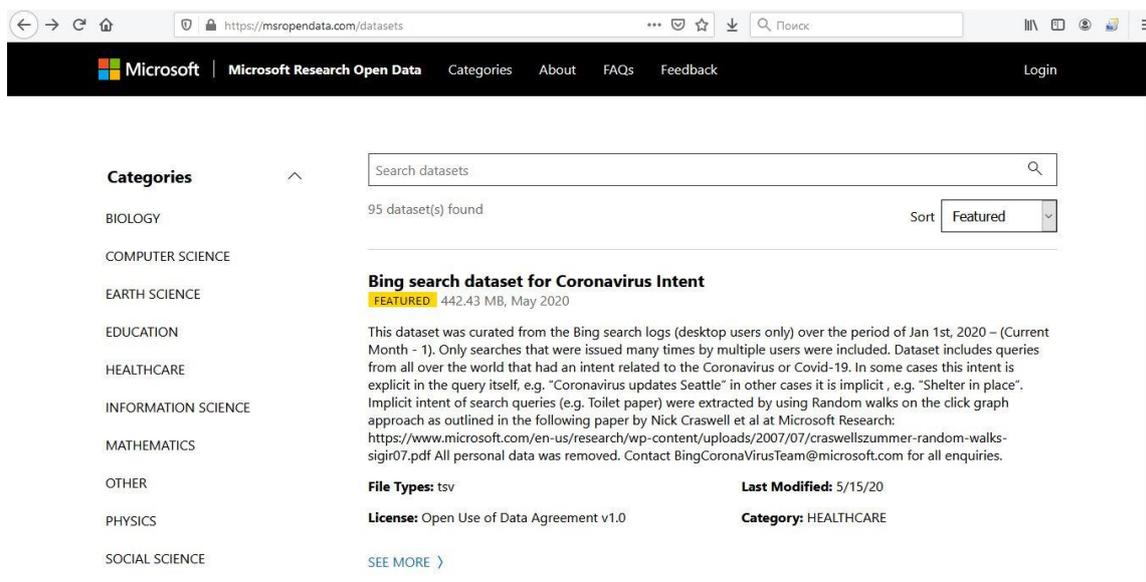


Рис. 3. Каталог наборов данных на сайте Microsoft Research Open Data

**4. Registry of Open Data on AWS** (<https://registry.opendata.aws/>). На данном ресурсе (рис. 4) можно найти более 200 наборов данных по различной тематике: от данных, относящихся к геному человека или раковым опухолям, до изображений клеточных мембран или спутниковых снимков поверхности Земли. Ключевая особенность заключается в том, что практически все наборы характеризуются большим объемом (гигабайты и терабайты), что накладывает определенные трудности при работе с ними. Данные размещаются в облачной инфраструктуре Amazon Web Services (AWS). Для каждого набора приведено описание, частота обновления, лицензия, определяющая условия использования, различные примеры использования (в том числе, связанные публикации), способ доступа к соответствующим ресурсам AWS. Для доступа и работы с данными могут использоваться различные инструменты, например, интерфейс командной строки или наборы средств разработки (SDK) для разных языков программирования и фреймворков. Для некоторых наборов данных встречаются специализированные инструменты для работы с ними.

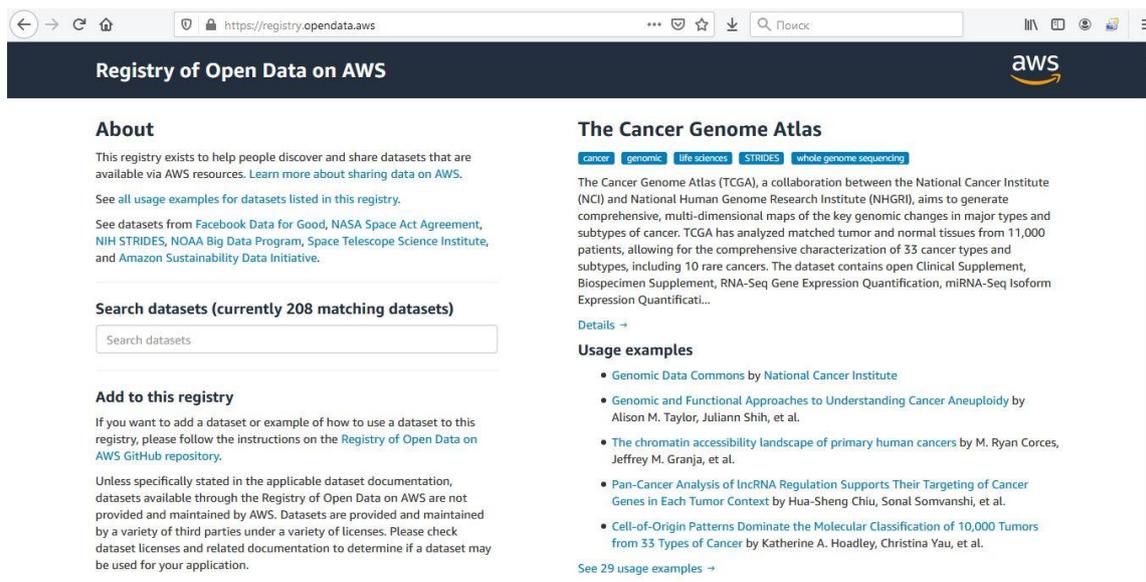


Рис. 4. Главная страница ресурса Registry of Open Data on AWS

**5. Harvard Dataverse Repository** (<https://dataverse.harvard.edu/dataverse/harvard>). Репозиторий данных Гарвардского университета включает больше 100 тысяч наборов

данных, связанных с исследованиями в различных областях науки и знаний (рис. 5). Около половины всех наборов относится к общественным наукам. Кроме того, по несколько тысяч наборов представлены для таких областей знаний, как медицина и здоровье, юриспруденция, сельскохозяйственные науки и науки о Земле. Данные доступны в самых разных форматах в зависимости от особенностей соответствующего исследования. В некоторых случаях с данными можно ознакомиться непосредственно на сайте. Любой набор доступен для свободного скачивания, как целиком, так и по частям, путем выбора только необходимых файлов.

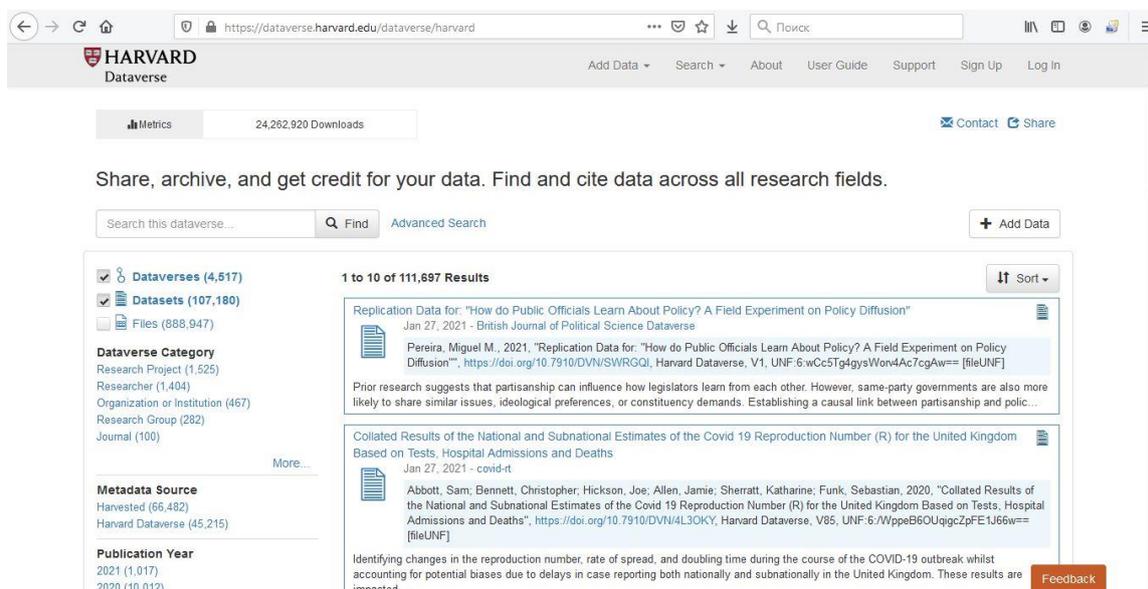


Рис. 5. Поисковая страница репозитория данных Гарвардского университета

Для каждого набора данных и составляющих его файлов сохраняется история связанных с ними изменений. В результате формируется множество версий одного и того же набора. При необходимости можно посмотреть и скачать данные для любой зафиксированной версии набора или конкретного файла из него.

Репозиторий открыт для публикации данных не только для представителей Гарвардского сообщества, но и для любых заинтересованных исследователей, желающих поделиться результатами своей работы. Для добавления набора данных требуется создать учетную запись на ресурсе.

**6. Zenodo** (<https://zenodo.org/search?type=dataset>). Данный ресурс, функционирующий под эгидой CERN, предоставляет возможность публиковать научные работы и результаты исследований в различной форме (статьи, книги, презентации, изображения, программное обеспечение и др.) [30]. В том числе на сайте доступно более 65 тысяч наборов данных (рис. 6). В основном представленные наборы доступны для свободного ознакомления и скачивания. В некоторых случаях данные могут быть просмотрены непосредственно на сайте. Каждый набор данных может иметь несколько отличающихся версий. Ресурс предоставляет средства для просмотра списка версий, а также выбранной версии набора данных. Однако эти средства не настолько функциональны, как в репозитории данных Гарвардского университета. Кроме того, существует программный интерфейс (REST API) для работы с ресурсом (например, для поиска, скачивания и загрузки данных).

Для публикации результатов исследований (например, нового набора данных) или использования программного интерфейса требуется регистрация на ресурсе. К недостаткам ресурса можно отнести то, что отсутствует возможность скачать сразу целиком все файлы,

связанные с конкретным набором данных. Каждый файл необходимо скачивать по отдельности.

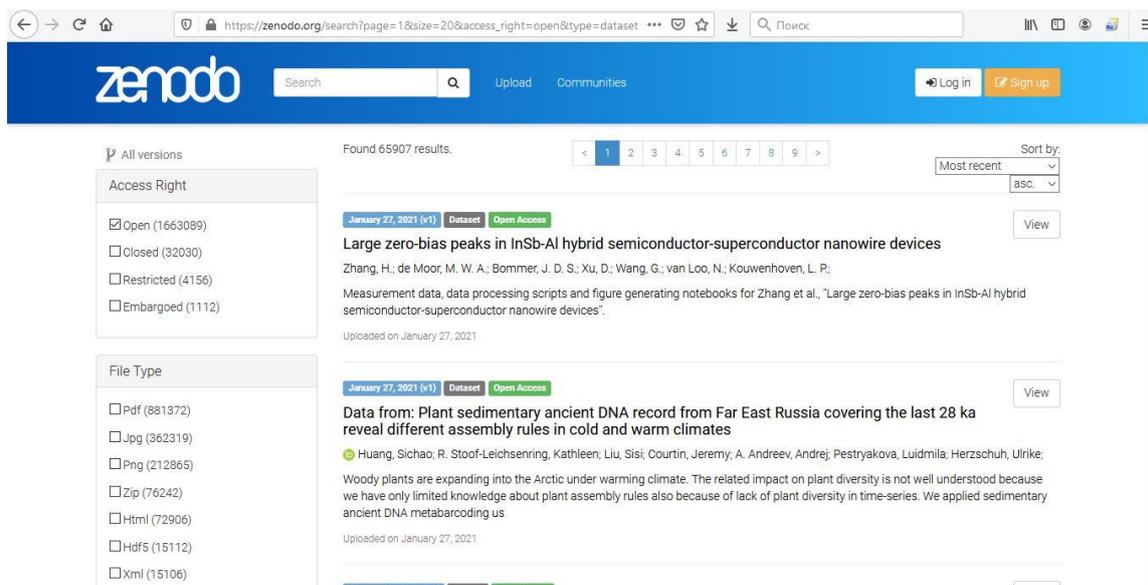


Рис. 6. Каталог наборов данных на сайте Zenodo

### 7. Портал открытых данных Российской Федерации (<https://data.gov.ru/opendata>).

Реестр на портале открытых данных Российской Федерации включает более 20 тысяч наборов данных [25], классифицированных по различным рубрикам (рис. 7). Преимущественно публикуются данные государственных органов власти, субъектов федерации или муниципальных органов власти. В основном данные относятся к категории «Государство» (15152 набора на момент обращения). Однако имеется много наборов, входящих в такие рубрики, как «Экономика» (1552 набора на момент обращения), «Образование» (1242), «Экология» (1229), «Здоровье» (673), «Культура» (630), «Транспорт» (625) и другие (всего представлено 16 рубрик). На портале можно найти, например, такие разнообразные данные, как «Единый реестр субъектов малого и среднего предпринимательства», «Государственный реестр лекарственных средств», «Государственный реестр сертифицированных средств защиты информации» или «Перечень стран и режимов въезда на их территорию». Данные представлены в различных форматах, но преобладают CSV (больше 15 тысяч наборов на момент обращения), XML и JSON. Для некоторых наборов доступны средства просмотра данных и их структуры непосредственно на портале. Есть возможность скачать в виде файла формата Excel или CSV информацию о наборах, входящих в реестр. Кроме того, портал предоставляет программный интерфейс для работы с данными, с помощью которого можно, например, получить сведения о том или ином наборе данных или загрузить его.

Для поиска, просмотра и скачивания данных не требуется регистрация на портале. Регистрация может понадобиться для пользования расширенными функциями портала, например для подачи заявки для публикации нового набора данных или применения программного интерфейса.

**8. World Bank** (<https://datacatalog.worldbank.org> <https://datatopics.worldbank.org/world-development-indicators/>). Сайт Всемирного банка предоставляет доступ к большому количеству экономических и статистических данных (рис. 8) [25]. Представлены несколько тысяч наборов данных, преимущественно касающихся различных показателей развития стран и их экономик, демографии, окружающей среды, а также отчеты и результаты исследований Всемирного банка. Например, можно найти гендерную статистику

относительно демографии, здоровья, экономического благополучия, а также различные экономические показатели типа валового национального дохода стран. Данные доступны в формате Excel или CSV. Кроме того, на сайте Всемирного банка представлен инструмент (<https://databank.worldbank.org>), позволяющий выполнять анализ и визуализацию на основе доступных данных. В частности, инструмент позволяет делать выборки и строить графики по различным показателям, странам и годам.

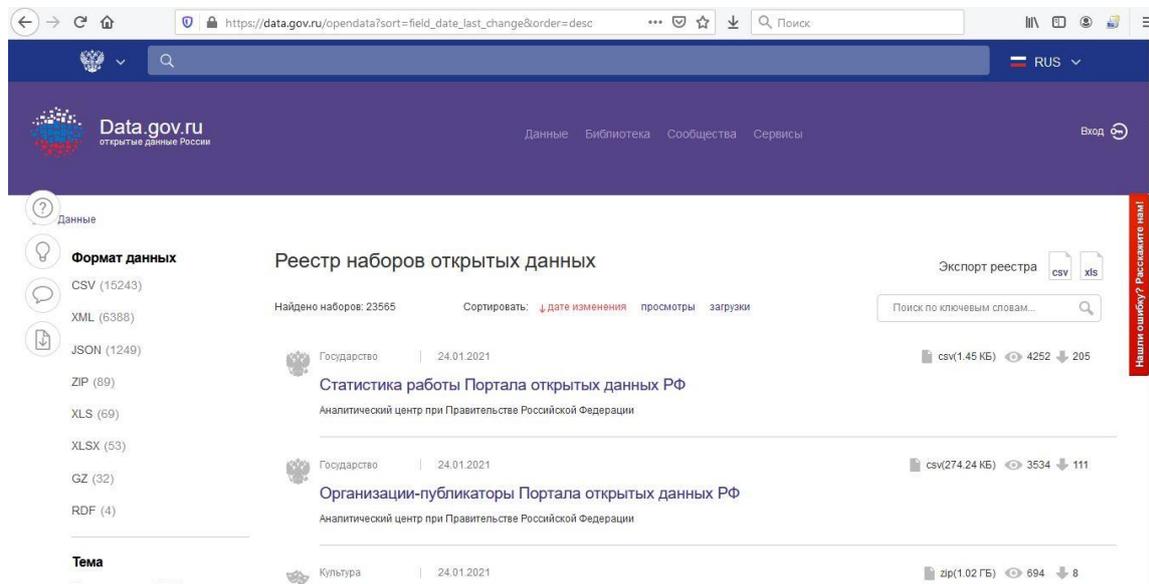


Рис. 7. Реестр наборов данных на Портале открытых данных России

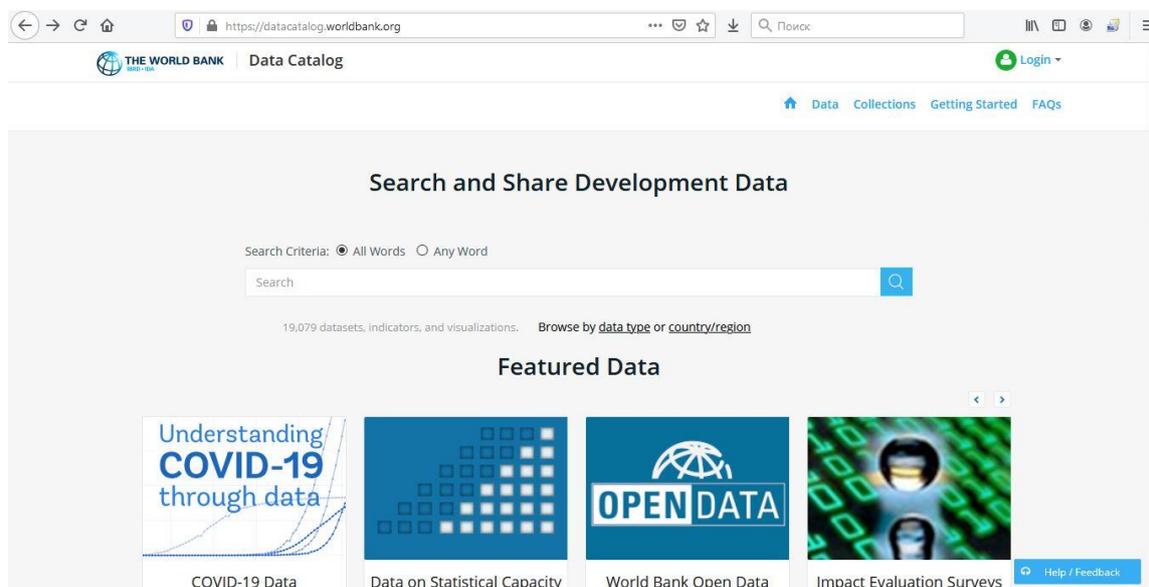


Рис. 8. Главная страница каталога данных на сайте Всемирного банка

**9. The Big Bad NLP Database** (<https://datasets.quantumstat.com>). Каталог ссылок на ресурсы, на которых можно найти наборы данных для разнообразных задач, относящихся к области обработки языка (преимущественно естественного). На сайте представлены более 800 ресурсов (рис. 9). Для каждого набора данных приведено описание, дата добавления в каталог, язык, объем данных (если известен), формат файлов с данными (если известен), категории целевых задач (например, выявление эмоциональной оценки, классификация, извлечение информации и т.п.), год формирования набора и ссылка на сайт, на котором можно непосредственно найти соответствующие данные. Большинство элементов каталога снабжены ссылками на сопутствующие публикации, в которых рассматривается тот или

иной набор данных. В основном наборы данных относятся к английскому языку (более 450 на момент посещения каталога) или сразу к нескольким языкам (более 80). Однако в каталоге встречаются наборы более чем для 100 разных языков, в том числе для китайского (21 на момент посещения каталога), арабского (19), индонезийского (14) и русского (12). Есть наборы для двух языков, например немецкий-английский (7 на момент посещения каталога). Кроме ресурсов, относящихся к естественным языкам, в каталоге представлены несколько наборов данных, ориентированных на задачи, связанные с обработкой языков программирования (например, выявление семантической эквивалентности или безопасности фрагментов кода).

The screenshot shows the homepage of 'The Big Bad NLP Database' on QuantumStat.com. The page features a search bar, a navigation menu, and a table of datasets. The table has columns for Dataset, Added, Lang, Description, Inst, Format, Task, Year, Creator, and Source. Four datasets are visible in the table:

Dataset	Added	Lang	Description	Inst	Format	Task	Year	Creator	Source
HOVER	11.23.20	English	Dataset is an open-domain, many-hop fact extraction and claim verification dataset built upon the Wikipedia corpus. The original 2-hop claims are adapted from question-answer pairs from HotpotQA.	26,171	JSON	Information Extraction	2020	Jiang, Bordia et al.	<a href="#">LINK</a> <a href="#">PAPER</a>
Stack Overflow Question-Code Pairs (StaQC)	11.23.20	English	Dataset contains 148K Python and 120K SQL domain question-code pairs, which were mined from Stack Overflow.	267,065	n/a	Language-to-Code	2020	Yao et al.	<a href="#">LINK</a> <a href="#">PAPER</a>
EmoT (IndoNLU)	11.23.20	Indonesian	Dataset used for emotion classification of tweets with 5 categories: anger, fear, happiness, love and sadness.	4,403	CSV	Classification, Sentiment Analysis	2018	Saputri et al.	<a href="#">LINK</a> <a href="#">PAPER</a>
SmSA (IndoNLU)	11.23.20	Indonesian	Dataset is a collection of comments and reviews in Indonesian obtained from multiple online platforms. The text was crawled and then annotated by several Indonesian linguists to construct this dataset. There are three	12,760	TSV	Classification, Sentiment Analysis	2019	Purwarianti and Orisdjayanti et al.	<a href="#">LINK</a> <a href="#">PAPER</a>

Рис. 9. Главная страница каталога The Big Bad NLP Database

**10. Common Crawl** (<https://commoncrawl.org> <https://index.commoncrawl.org>). Данный ресурс обеспечивает доступ к копиям web-страниц сети Интернет, которые автоматически собираются на регулярной основе, начиная с 2008 года. Набор содержит миллиарды страниц, представленных на различных сайтах на момент сбора данных. Кроме непосредственно самих сохраненных web-страниц, доступны связанные с ними метаданные, а также текст, извлеченный из страниц. В связи с этим данный набор может использоваться, в частности, для различных задач, связанных с обработкой естественного языка или поиска неструктурированной информации, представленной в Интернет. Собранные данные хранятся в специальном формате, описание которого приведено на сайте ресурса. Для работы с данными могут использоваться различные средства и инструменты (например, на базе Java или Python), которые перечислены на отдельной странице ресурса (рис. 10). Также представлен ряд обучающих материалов, поясняющих и демонстрирующих различные аспекты по работе с набором данных. Кроме того, есть отдельный сайт Common Crawl Index Server (<https://index.commoncrawl.org>), с помощью которого можно получить быстрый доступ к сведениям, относящимся к тому или иному домену или URL. Например, с его помощью можно проверить наличие страницы с определенным адресом в наборе данных.

**Закключение.** Рассмотренные ресурсы различаются по таким характеристикам, как количество и объем представленных наборов данных, предметные области и прикладные задачи, к которым относятся данные, удобство и особенности доступа к ним и др. В совокупности с сайтами, перечисленными в [27], данное множество ресурсов способно в значительной мере покрыть потребность в поиске данных, требуемых отладки методов и инструментария в разных сферах применения искусственного интеллекта и машинного

обучения. В том числе, указанные ресурсы могут быть полезны для нахождения данных с целью проверки научных гипотез или использования в процессе обучения. Дополнительно для поиска подходящих наборов данных можно воспользоваться следующими сайтами: Data Portals (<http://dataportals.org>), Dataset Search (<https://datasetsearch.research.google.com>), KEEL repository (<https://sci2s.ugr.es/keel/datasets.php>), Open Datasets (<https://wiki.pathmind.com/open-datasets>).

В работе [25] перечислены несколько ресурсов, на которых представлены социальные и экономические данные, относящиеся к Российской Федерации.

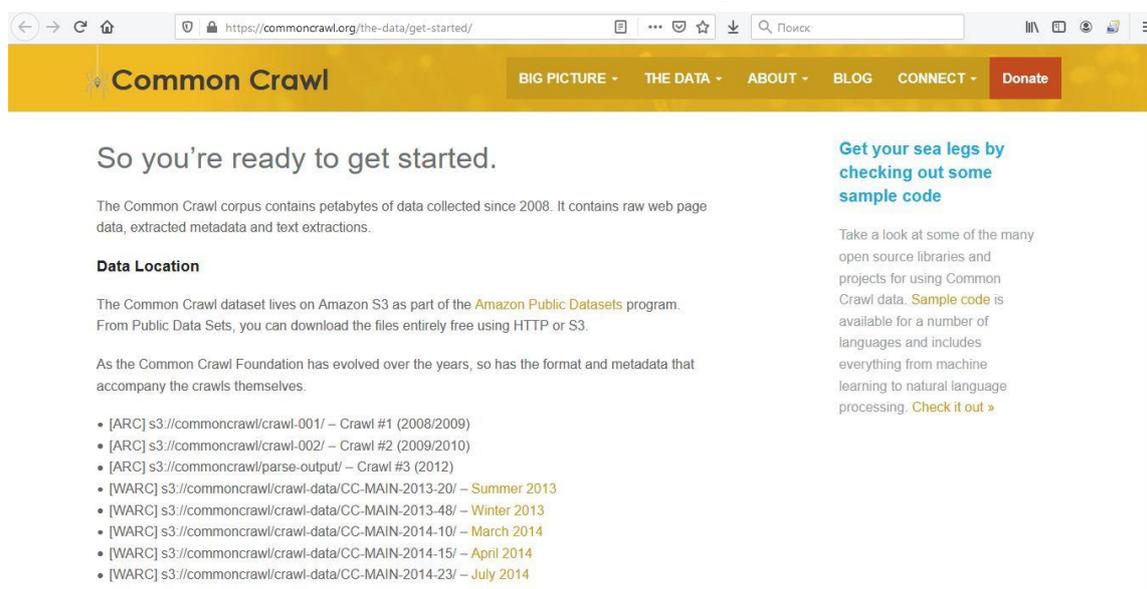


Рис. 10. Страница ресурса Common Crawl, предоставляющая доступ к данным и средствам для работы с ними

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Брюхина Н.Г., Рева П.В., Баранников В.А. Интеллектуальная автоматизация как драйвер экономики в условиях пандемии // Ресурсосбережение. Эффективность. Развитие. Матер. V республиканской науч.-практ. конф. 2020. С. 443-450.
2. Воробьева А.В. Поствирусные тенденции: отраслевые изменения // Инновации. Наука. Образование. 2020. № 16. С. 584-589.
3. Цогоева М.И., Галаова Э.О. Влияние пандемии covid-19 на использование информационных технологий в международном бизнесе // Актуальные вопросы современной экономики. 2020. № 5. С. 418-427. DOI:10.34755/IROK.2020.42.71.168.
4. Ашинов К.В. Цифровые технологии в условиях пандемии коронавируса // Проблемы и перспективы развития России: молодежный взгляд в будущее. Сб. науч. ст. 3-й Всероссийской науч. конф. Курск. 2020. С. 137-139.
5. Гусев А.В., Новицкий Р.Э. Технологии прогнозной аналитики в борьбе с пандемией COVID-19 // Врач и информационные технологии. 2020. № 4. С. 24-33. DOI:10.37690/1811-0193-2020-4-24-33.
6. Евсюков В.В., Свиридова Т.В., Богатенко Е.Р. Искусственный интеллект и коронавирус COVID-19 // Вестник Тульского филиала финуниверситета. 2020. № 1. С. 295-297.
7. Иванов М.В., Румянцева С.Ю. Новая экосистема цифровой недвижимости: этапы развития, технологии и перспективы // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2020. Т. 10. № 4. С. 524-533. DOI:10.21285/2227-2917-2020-4-524-533.

8. Козырева О.Н., Ольхова Л.А. Особенности применения дистанционного обучения в условиях пандемии // Общество, педагогика, психология. Сб. матер. Всероссийской науч.-практ. конф. 2020. С. 37-41.
9. Михайлов А.А., Федулов В.И. Подходы к управлению персоналом в условиях удаленной занятости // Естественно-гуманитарные исследования. 2020. № 29(3). С. 222-225. DOI: 10.24411/2309-4788-2020-10262.
10. Сингатулин В.Н., Дудаков Г.С. Влияние COVID-19 на цифровизацию в пищевой промышленности // Приоритеты экономического роста страны и регионов в период постпандемии. Сб. матер. Всероссийской науч.-практ. конф. 2020. С. 274-278.
11. Стародубов И.И., Данилов И.А. Тренды в банковском финтехе 2021 года // Матрица научного познания. 2021. № 2-1. С. 114-120.
12. Шалина Д.С., Степанова Н.Р. Теория и практика использования искусственного интеллекта в сфере недвижимости // Вестник Алтайской академии экономики и права. 2020. № 5-1. С. 193-200. DOI:10.17513/vaael.1128.
13. Качнов С.А. Методы машинного обучения в медицине // Наука молодых - будущее России. Сб. науч. ст. 5-й Межд. науч. конф. перспективных разработок молодых ученых. Курск. 2020. С. 47-50.
14. Самбурский С.Е., Сергунова К.А. Московский эксперимент по компьютерному зрению в лучевой диагностике // Московская медицина. 2020. № 4(38). С. 32-39.
15. Ярмухаметов Р.Р. Обзор применений искусственного интеллекта в медицине // Наукосфера. 2020. № 12-2. С. 172-178.
16. Иванникова В.П., Шелухин О.И. Бинарная классификация компьютерных атак на примере базы данных UNSW-NB15 // Телекоммуникации и информационные технологии. 2020. № 1. С. 10-18.
17. Лебедев Г.С., Маслюков А.П., Шадеркин И.А., Шадеркина А.И. Глубокое машинное обучение (искусственный интеллект) в ультразвуковой диагностике // Журнал телемедицины и электронного здравоохранения. 2020. № 2. С. 22-29. DOI:10.29188/2542-2413-2020-6-2-22-29.
18. Марахтанов А.Г., Паренченков Е.О., Смирнов Н.В. Определение электронного мошенничества методами машинного обучения в случае несбалансированного набора данных // Вестник пермского национального исследовательского политехнического университета. Электротехника, информационные технологии, системы управления. 2020. №36. С. 80-95.
19. Рунова К.В., Юрин А.А. Классификация сердечно-сосудистых заболеваний с помощью инструментальных методов обработки информации на основе различных методов машинного обучения // Colloquium-journal. 2019. № 13-3(37). С. 115-120.
20. Фомин В.В., Александров И.В. Об одном опыте применения web - инструментария машинного обучения // Моделирование и анализ сложных технических и технологических систем: сборник статей по итогам Международной научно-практической конференции. Самара. 2018. С. 131-137.
21. Saif M.A., Medvedev A.N., Medvedev M.A., Atanasova T. Classification of online toxic comments using the logistic regression and neural networks models // AIP Conference Proceedings 2048, 060011 (2018). DOI:10.1063/1.5082126.
22. Shtovba S., Shtovba O., Yahymovych O., Petrychko M. Impact of the syntactic dependencies in the sentences on the quality of the identification of the toxic comments in the social networks // Scientific works of Vinnytsia national technical university. 2019. № 4. Pp. 35-42. DOI: 10.31649/2307-5392-2019-4-35-42.

23. Аверина М.Д. Применение сверточных нейронных сетей в задаче классификации медицинских изображений // Заметки по информатике и математике. 2019. Вып. 11. С. 1-9.
24. Венцов Н.Н., Подколзина Л.А. Общий подход к созданию набора данных на примере формирования набора изображений линейных штрих-кодов // Journal of advanced research in technical science. 2020. № 18. С. 50-54. DOI:10.26160/2474-5901-2020-18-50-54.
25. Kashirina A.M., Kravchenko A.V. Problems of open data sources analysis for socio-economic and medical research // The European Proceedings of Social and Behavioural Sciences. Krasnoyarsk. 2020. Pp. 1604-1612. DOI:10.15405/epsbs.2020.10.03.184.
26. Tymchenko B., Marchenko Ph., Spodarets D. Segmentation of cloud organization patterns from satellite images using deep neural networks // Herald of Advanced Information Technology. 2020. Vol.3. № 1. Pp. 352-361.
27. Сикулер Д.В. Поиск данных для апробации интеллектуальных алгоритмов и технологий // Межд. науч. журнал «Символ науки». 2020. № 4. С. 49–54.
28. Багаев И.В., Коломенская И.Д., Шатров А.В. Алгоритм наивного метода Байеса в задачах бинарной классификации на примере набора данных Santander с платформы Kaggle // Искусственный интеллект в решении актуальных социальных и экономических проблем XXI века: сб. ст. по материалам Четвертой всерос. науч.-практ. конф. Пермь. 2019. С. 32-36.
29. Кесян Г.Р., Воронова Л.И., Трунов А.С. Прогнозирование наличия сахарного диабета с использованием нейронных сетей // Технологии информационного общества. Материалы XIII Международной отраслевой научно-технической конференции. 2019. С. 438-440.
30. Чадин И.Ф. Zenodo и GBIF: инструменты для публикации наборов первичных данных // Вестник Института биологии Коми НЦ УрО РАН. 2018. № 3(205). С. 34-36. DOI: 10.31140/j.vestnikib.2018.3(205).5.

---

**UDK 004.8+004.62**

**RESOURCES PROVIDING DATA FOR MACHINE LEARNING AND TESTING  
ARTIFICIAL INTELLIGENCE TECHNOLOGIES**

**Denis V. Sikuler**

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Information systems Department,  
e-mail: [rimol@km.ru](mailto:rimol@km.ru),  
Herzen State Pedagogical University of Russia,  
191186, Russia, St. Petersburg, 48 Moika Embankment.

**Annotation.** The work presents review of 10 Internet resources that can be used to find data for different tasks related to machine learning and artificial intelligence. There were examined some popular sites (like Kaggle, Registry of Open Data on AWS) and some less known and specific ones (like The Big Bad NLP Database, Common Crawl). All included resources provide free access to data. Moreover in most cases registration is not needed for data access. Main features are specified for every examined resource, including regarding data search and access. The following sites are included in the review: Kaggle, Google Research, Microsoft Research Open Data, Registry of Open Data on AWS, Harvard Dataverse Repository, Zenodo, Open Data portal of the Russian Federation, World Bank, The Big Bad NLP Database, Common Crawl.

**Keywords:** data search, dataset, data set, open data, data repository, dataset catalog, artificial intelligence, machine learning.

## REFERENCES

1. Bryukhina N.G., Reva P.V., Barannikov V.A. Intellektual'naya avtomatizatsiya kak drayver ekonomiki v usloviyakh pandemii [Intelligent automation as a driver of the economy in a pandemic] // Resursoberezhenie. Effektivnost'. Razvitie. Mater. V respublikanskoy nauch.-prakt. konf. = Resource saving. Efficiency. Development. Proceedings of V republican scientific and practical conf. 2020. Pp. 443-450.
2. Vorob'eva A.V. Postvirusnye tendentsii: otraslevye izmeneniya [Post-viral trends: industry changes] // Innovatsii. Nauka. Obrazovanie = Innovation. Science. Education. 2020. № 16. Pp. 584-589.
3. Tsogoeva M.I., Galaova E.O. Vliyanie pandemii covid-19 na ispol'zovanie informatsionnykh tekhnologiy v mezhdunarodnom biznese [Impact of the covid-19 pandemic on the use of information technology in international business] // Aktual'nye voprosy sovremennoy ekonomiki = Topical issues of the modern economy. 2020. № 5. Pp. 418-427. DOI:10.34755/IROK.2020.42.71.168.
4. Ashinov K.V. Tsifrovye tekhnologii v usloviyakh pandemii koronavirusa [Digital technologies in the context of the coronavirus pandemic] // Problemy i perspektivy razvitiya Rossii: molodezhnyy vzglyad v budushchee. Sb. nauch. st. 3-y Vserossiyskoy nauch. konf. Kursk = Problems and Prospects for the Development of Russia: a Youth Look into the Future. Proceedings of the 3rd Russian scientific conf. Kursk. 2020. Pp. 137-139.
5. Gusev A.V., Novitskiy R.E. Tekhnologii prognoznoy analitiki v bor'be s pandemiy COVID-19 [Predictive analytics technologies in the management of the COVID-19 pandemic] // Vrach i informatsionnye tekhnologii = Information technologies for the Physician. 2020. № 4. Pp. 24-33. DOI: 10.37690/1811-0193-2020-4-24-33.
6. Evsyukov V.V., Sviridova T.V., Bogatenko E.R. Iskusstvennyy intellekt i koronavirus COVID-19 [Artificial intelligence and COVID-19 coronavirus] // Vestnik Tul'skogo filiala finuniversiteta = Bulletin of the Tula branch of the financial university. 2020. № 1. Pp. 295-297.
7. Ivanov M.V., Rumyantseva S.Yu. Novaya ekosistema tsifrovoy nedvizhimosti: etapy razvitiya, tekhnologii i perspektivy [A new ecosystem of digital real estate: Developmental stages, technologies and prospects] // Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost' = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate. 2020. 10(4). Pp. 524-533. DOI:10.21285/2227-2917-2020-4-524-533.
8. Kozyreva O.N., Ol'khova L.A. Osobennosti primeneniya distantsionnogo obucheniya v usloviyakh pandemii [Specifics of the use of distance learning in a pandemic] // Obshchestvo, pedagogika, psikhologiya. Sb. mater. Vserossiyskoy nauch.-prakt. konf. = Society, pedagogy, psychology. Proceedings of Russian scientific and practical conf. 2020. Pp. 37-41.
9. Mikhaylov A.A., Fedulov V.I. Podkhody k upravleniyu personalom v usloviyakh udalennoy zanyatosti [Approaches to human resources management in remote employment] // Estestvenno-gumanitarnye issledovaniya = Natural humanitarian studies. 2020. № 29(3). Pp. 222-225. DOI:10.24411/2309-4788-2020-10262.
10. Singatulin V.N., Dudakov G.S. Vliyanie COVID-19 na tsifrovizatsiyu v pishchevoy promyshlennosti [Impact of COVID-19 on digitalization in the food industry] // Priority

- ekonomicheskogo rosta strany i regionov v period postpandemii. Sb. mater. Vserossiyskoy nauch.-prakt. konf. = Priorities for economic growth of the country and regions in the post-pandemic period. Proceedings of Russian scientific and practical conf. 2020. Pp. 274-278.
11. Starodubov I.I., Danilov I.A. Trendy v bankovskom fintekhe 2021 goda [Trends in banking fintech 2021] // *Matritsa nauchnogo poznaniya*. = Matrix of Scientific Cognition. 2021. № 2-1. Pp. 114-120.
  12. Shalina D.S., Stepanova N.R. Teoriya i praktika ispol'zovaniya iskusstvennogo intellekta v sfere nedvizhimosti [Theory and practice of using artificial intelligence in real estate] // *Vestnik Altayskoy akademii ekonomiki i prava* = Bulletin of the Altai Academy of Economics and Law. 2020. № 5-1.
  13. Kachnov S.A. Metody mashinnogo obucheniya v meditsine [Machine learning methods in medicine] // *Nauka molodykh - budushchee Rossii*. Sb. nauch. st. 5-y Mezhd. nauch. konf. perspektivnykh razrabotok molodykh uchenykh. Kursk = The science of the young is the future of Russia. Proceedings of 5th Int. scientific conf. of promising developments of young scientists. Kursk. 2020. Pp. 47-50.
  14. Samburskiy S.E., Sergunova K.A. Moskovskiy eksperiment po komp'yuternomu zreniyu v luchevoy diagnostike [Moscow Experiment with Using a Computer Vision in Diagnostic Radiology] // *Moskovskaya meditsina* = Moscow medicine. 2020. № 4(38). Pp. 32-39.
  15. Yarmukhametov R.R. Obzor primeneniya iskusstvennogo intellekta v meditsine [Overview of usages of artificial intelligence in medicine] // *Naukosfera* = Naukosfera. 2020. № 12-2. Pp. 172-178.
  16. Ivannikova V.P., Shelukhin O.I. Binarnaya klassifikatsiya komp'yuternykh atak na primere bazy dannykh UNSW-NB15 [Computer attacks binary classification on the UNSW-NB15 dataset example] // *Telekommunikatsii i informatsionnye tekhnologii* = Telecommunications and information technologies. 2020. № 1. Pp. 10-18.
  17. Lebedev G.S., Maslyukov A.P., Shaderkin I.A., Shaderkina A.I. Glubokoe mashinnoe obuchenie (iskusstvennyy intellekt) v ul'trazvukovoy diagnostike [Deep machine learning (artificial intelligence) in ultrasound diagnostics] // *Zhurnal telemeditsiny i elektronnoy zdravookhraneniya* = Journal of Telemedicine and E-Health. 2020. № 2. Pp. 22-29. DOI: 10.29188/2542-2413-2020-6-2-22-29.
  18. Marakhtanov A.G., Parenchenkov E.O., Smirnov N.V. Opredelenie elektronnoy moshennichestva metodami mashinnogo obucheniya v sluchae nesbalansirovannogo nabora dannykh [Fraud detection by machine learning methods in the case of an imbalanced dataset] // *Vestnik permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Elektrotehnika, informatsionnye tekhnologii, sistemy upravleniya* = PNRPU Bulletin. Electrotechnics, Informational Technologies, Control Systems. 2020. № 36. Pp. 80-95.
  19. Runova K.V., Yurin A.A. Klassifikatsiya serdechno-sosudistykh zabolevaniy s pomoshch'yu instrumental'nykh metodov obrabotki informatsii na osnove razlichnykh metodov mashinnogo obucheniya [Classification of cardiovascular diseases using instrumental information processing methods based on various machine learning methods] // *Colloquium-journal* = Colloquium-journal. 2019. № 13-3 (37). Pp. 115-120.
  20. Fomin V.V., Aleksandrov I.V. Ob odnom opyte primeneniya web - instrumentariya mashinnogo obucheniya [About an experience of using web-based machine learning tools] // *Modelirovanie i analiz slozhnykh tekhnicheskikh i tekhnologicheskikh sistem: sbornik statey po itogam Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*. Samara = Modeling

- and analysis of complex technical and technological systems: a collection of articles on the results of the International scientific and practical conference. Samara. 2018. Pp. 131-137.
21. Saif M.A., Medvedev A.N., Medvedev M.A., Atanasova T. Classification of online toxic comments using the logistic regression and neural networks models // AIP Conference Proceedings 2048, 060011 (2018). DOI:10.1063/1.5082126.
  22. Shtovba S., Shtovba O., Yahymovych O., Petrychko M. Impact of the syntactic dependencies in the sentences on the quality of the identification of the toxic comments in the social networks // Scientific works of Vinnytsia national technical university. 2019. № 4. Pp. 35-42. DOI:10.31649/2307-5392-2019-4-35-42.
  23. Averina M.D. Primenenie svertochnykh neyronnykh setey v zadache klassifikatsii meditsinskikh izobrazheniy [Application of convolutional neural networks in the problem of classification of medical images] // Zametki po informatike i matematike = Notes on computer science and mathematics. 2019. Issue 11. Pp. 1-9.
  24. Ventsov N.N., Podkolzina L.A. Obshchiy podkhod k sozdaniyu nabora dannykh na primere formirovaniya nabora izobrazheniy lineynykh shtrikh-kodov [The general approach to creating a dataset using an example of barcode images] // Journal of advanced research in technical science. 2020. № 18. Pp. 50-54. DOI:10.26160/2474-5901-2020-18-50-54.
  25. Kashirina A.M., Kravchenko A.V. Problems of open data sources analysis for socio-economic and medical research // The European Proceedings of Social and Behavioural Sciences. Krasnoyarsk. 2020. Pp. 1604-1612. DOI:10.15405/epsbs.2020.10.03.184.
  26. Tymchenko B., Marchenko Ph., Spodarets D. Segmentation of cloud organization patterns from satellite images using deep neural networks // Herald of Advanced Information Technology. 2020. Vol.3. № 1. Pp. 352-361.
  27. Sikuler D.V. Poisk dannykh dlya aprobatsii intellektual'nykh algoritmov i tekhnologiy [Search of data to test intellectual algorithms and technologies] // Mezhd. nauch. zhurnal "Simvol nauki" = International scientific journal "Symbol of science". 2020. № 4. Pp. 49-54.
  28. Bagaev I.V., Kolomenskaya I.D., Shatrov A.V. Algoritm naivnogo metoda Bayesa v zadachakh binarnoy klassifikatsii na primere nabora dannykh Santander s platformy Kaggle [Algorithm of naive Bayes methods in binary classification tasks on Santander dataset example from Kaggle platform] // Iskusstvennyy intellekt v reshenii aktual'nykh sotsial'nykh i ekonomicheskikh problem XXI veka: sb. st. po materialam Chetvertoy vseros. nauch.-prakt. konf. Perm' = Artificial intelligence in solving urgent social and economic problems of the XXI century: proceedings of the 4th Russia scientific and practical conf. Perm. 2019. Pp. 32-36.
  29. Kesyana G.R., Voronova L.I., Trunov A.S. Prognozirovanie nalichiya sakharnogo diabeta s ispol'zovaniem neyronnykh setey [Predicting the presence of diabetes mellitus using neural networks] // Tekhnologii informatsionnogo obshchestva. Materialy XIII Mezhdunarodnoy otraslevoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii = Information Society Technologies. Proceedings of the XIII International branch scientific and technical conference. 2019. Pp. 438-440.
  30. Chadin I.F. Zenodo i GBIF: instrumenty dlya publikatsii naborov pervichnykh dannykh [Zenodo and GBIF: tools for scientific primary data publication] // Vestnik Instituta biologii Komi NTs UrO RAN = Bulletin of the Institute of Biology of Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences. 2018. № 3(205). Pp. 34-36. DOI: 10.31140/j.vestnikib.2018.3(205).5.

УДК 51-74:004.942

## ЦИФРОВЫЕ МОДЕЛИ НАГРУЖЕННОСТИ ПРЕЦИЗИОННОЙ ЗЕРКАЛЬНОЙ АНТЕННЫ ДЛЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ПОДДЕРЖКИ СТАДИИ ЭКСПЛУАТАЦИИ

**Рейзмунт Елена Михайловна**

к.т.н., н.с., e-mail: [e.sigova@gmail.com](mailto:e.sigova@gmail.com),

**Доронин Сергей Владимирович**

к.т.н., доцент, в.н.с., e-mail: [sdoronin@ict.nsc.ru](mailto:sdoronin@ict.nsc.ru),

Красноярский филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения  
«Федеральный исследовательский центр информационных и вычислительных технологий»,  
660049 г. Красноярск, пр. Мира 53.

**Аннотация.** Рассматриваются условия нагружения зеркальных антенн воздушным потоком и тепловыми воздействиями с учетом вариабельности пространственного положения конструкции. Предложена концепция построения цифровых моделей нагруженности крупногабаритной прецизионной антенны наземных систем спутниковой связи. Определены возможности их интеграции в контуры принятия решений для интеллектуальной поддержки стадии эксплуатации.

**Ключевые слова:** цифровая модель нагруженности, антенна, поддержка жизненного цикла.

**Цитирование:** Рейзмунт Е. М., Доронин С. В. Цифровые модели нагруженности прецизионной зеркальной антенны для интеллектуальной поддержки стадии эксплуатации // Информационные и математические технологии в науке и управлении. 2021. № 2 (22). С. 53-60. DOI:10.38028/ESI.2021.22.2.005

**Введение.** Крупногабаритные прецизионные антенны – уникальные технические объекты, опыт создания и эксплуатации которых сравнительно мал. Поэтому многие аспекты обеспечения их работоспособности в течение эксплуатации, как одной из стадий жизненного цикла (ЖЦ), являются не только недостаточно проработанными, но и даже неосознанными. В настоящей работе предполагается попытка рассмотреть эти аспекты с точки зрения подходов, основанных на идеологии построения и использования цифровых моделей.

На сегодняшний день достаточно широкое распространение получили цифровые модели рельефа [1-2] и местности [3], свойств почв [4], месторождений [5], поверхностей [6], зданий и строительных сооружений [7-8], производств [9].

Перечисленные цифровые модели используются для информационного обеспечения построения карт и планов, ГИС разработок (электронных карт и навигаторов), определения любых геометрических параметров местности и объектов (расстояний, размеров, высот и т.п.), детального анализа экспозиции и уклонов склонов, осуществления расчета площадей и объемов земляных работ, анализа зон видимости, реконструкции палеорельефа, построения гидросетей, транспортных сетей и развязок, разработки рациональных вариантов строительства зданий и сооружений, расчета остаточного ресурса объектов строительства и производства, оптимизации режима работы оборудования, предотвращения поломок и аварий на производстве, проведения реконструкции производства, повышения надежности и эффективности эксплуатации и т.д.

Что касается прецизионных зеркальных антенн, разработка, изготовление и эксплуатация которых требует привлечения целого комплекса междисциплинарных знаний, отметим полное отсутствие публикаций о попытках построения цифровых моделей и использования их для принятия решений на различных стадиях ЖЦ.

В основе рассматриваемой в настоящей работе идеи построения цифровых моделей нагруженности прецизионных зеркальных антенн лежит опыт, накопленный при многовариантных расчетах их силовых конструкций на стадии НИОКР. Результаты

фрагментарных (выполненных в ограниченном объеме) расчетов зеркала на действие воздушного потока [10] и его фрагментов на тепловые воздействия [11-13] имеют ограниченное применение в пределах стадии поискового проектирования, но могут быть расширены для их использования на стадии эксплуатации.

### 1. Характеристика технического объекта для построения цифровой модели.

Силовая конструкция крупногабаритной (диаметр 12 м) прецизионной антенны наземных систем спутниковой связи (рис. 1) состоит из зеркала, стержневого каркаса и ступицы. Зеркало, в свою очередь, состоит из отдельных сегментов, поперечное сечение которых образовано двумя наружными слоями тканого полимерного композитного материала (ПКМ) и одним внутренним слоем пенопласта. Каждый сегмент независимо от других монтируется на пространственном стержневом каркасе, элементы которого (трубы) выполнены из однонаправленного ПКМ.



Рис. 1. Общий вид геометрической модели антенны

Условия использования антенны характеризуются возможностью ее поворота на опоре в вертикальной и горизонтальной плоскостях. Угол наклона фокальной оси антенны относительно горизонта составляет от 0 до 90° (угол места), поворота в горизонтальной плоскости – от 0 до 360° (азимут). Это приводит фактически к непрерывному множеству пространственных положений антенны.

Основными воздействиями, обуславливающими нагруженность (напряженно-деформированное состояние), геометрическую стабильность, прочность и долговечность прецизионных зеркальных антенн, являются солнечное излучение, воздушный поток (ветер) и температура окружающей среды. На стадии разработки величины этих воздействий для данного типа конструкции ограничены нормативами и могут принимать следующие значения: интегральная плотность потока солнечного излучения до 1120 Вт/м<sup>2</sup>, диапазон температур окружающей среды – от минус 50 до плюс 55 °С, максимальное значение скорости воздушного потока 50 м/с.

В соответствии с действующими нормами проектный расчет выполняется на независимое действие максимальных значений этих воздействий. Это позволяет решить задачи проектирования, но не дает возможность ответить на вопросы, возникающие на стадии эксплуатации для обеспечения длительного безотказного функционирования. В частности, неизвестной оказывается прогнозируемая история нагружения, формирующаяся при постоянном изменении внешних воздействий с учетом переменного пространственного положения антенны. А именно характер истории нагружения определяет интенсивность расходования ресурса элементов конструкции и техническое состояние объекта в целом в любой момент времени.

### 2. Концепция построения цифровой модели нагруженности зеркальной антенны.

Естественным и единственно возможным практическим способом преодоления затруднений, вызванных отмеченными непрерывностью множества пространственных положений антенны и достаточно большими диапазонами значений внешних воздействий, является

дискретизация всех входящих переменных задачи с некоторым шагом. Но и в этом случае количество рассматриваемых вариантов, порождаемых простым перебором и поиском всех возможных комбинаций дискретизированных входящих переменных, оказывается весьма велико.

Еще одно затруднение связано со следующим обстоятельством. Адекватная оценка силового воздействия воздушного потока на зеркало антенны с учетом вариации ее пространственного положения и направления ветра возможна путем численного решения задачи внешней аэродинамики. Это требует трехмерного моделирования всех элементов конструкции, что с учетом пространственной сложности и конфигурации каркаса приводит практически к непреодолимым вычислительным трудностям даже при решении задачи с одним набором входных данных.

С учетом рассматриваемых затруднений вычислительного характера при разработке концепции построения цифровой модели основываемся на следующих соображениях:

- давление воздушного потока на зеркало антенны определяется его пространственным положением, направлением и скоростью ветра;
- тепловое состояние антенны определяется значением интегральной плотности потока солнечного излучения и усредненным коэффициентом конвективной теплоотдачи;
- воздействия воздушного потока и солнечного излучения независимы друг от друга;
- расчет силовой конструкции осуществляется в линейной стадии деформирования, что позволяет, исходя из принципа линейной суперпозиции сил, осуществлять простое суммирование силовых факторов, получаемых при решении сопряженных задач внешней аэродинамики, термодинамики и линейной механики деформируемого твердого тела.

Основные положения концепции сформулированы следующим образом.

1. Цифровая модель нагруженности строится путем накопления и обобщения результатов многовариантных вычислительных экспериментов по анализу напряженно-деформированного состояния зеркальной антенны с использованием системы ее конечно-элементных моделей. С учетом особенностей постановок задач внешней аэродинамики, термодинамики и линейной механики деформируемого твердого тела используются конечно-элементные модели, основанные на трехмерных (объемные тела) или двумерных (оболочки) представлениях конструкции зеркала и ступицы, одномерных (балки) представлениях конструкции каркаса. Во всех моделях характер конечно-элементной дискретизации определяется из условий сеточной сходимости.
2. Дискретизация непрерывного множества пространственных положений антенны осуществляется варьированием угла места в диапазоне от 0 до 90° с шагом 15°, и азимута в диапазоне от 0 до 360° с шагом 15°. Таким образом, получается 168 вариантов пространственного положения антенны.
3. Дискретизация непрерывного множества скоростей воздушного потока осуществляется в диапазоне от 0 до 50 м/с с шагом 10 м/с. Поскольку нет необходимости рассматривать нулевую скорость, то получается 5 вариантов значений скоростей воздушного потока.
4. Дискретизация непрерывного множества условий теплового нагружения осуществляется варьированием температуры окружающей среды в диапазоне от минус 50 до 55 °С с шагом 15 °С, и интегральной плотности потока солнечного излучения в диапазоне от 0 до 1120 Вт/м<sup>2</sup> с шагом 224 Вт/м<sup>2</sup>. В итоге получается 48 вариантов сочетания температуры окружающей среды и интегральной плотности потока солнечного излучения.
5. Для дискретизированных значений воздействий воздушного потока и пространственного положения антенны для трехмерной модели зеркала осуществляется

многовариантный численный анализ задачи внешней аэродинамики, результаты которого (поля давлений на поверхности зеркала) сохраняются в виде усилий в узлах сетки конечных элементов ( $168 \cdot 5 = 840$  вариантов).

6. Для дискретизированных значений температуры окружающей среды и интегральной плотности солнечного излучения осуществляется многовариантный численный анализ сопряженной задачи радиационно-конвективного теплообмена и термоупругости, результаты которого также сохраняются в виде усилий в узлах сетки конечных элементов ( $168 \cdot 48 = 8064$  вариантов).

Результаты, описанные в пп. 5 и 6 можно считать цифровыми моделями нагруженности силовой конструкции антенны воздушным потоком и тепловыми воздействиями, полученные путем дискретизации как внешних воздействий, так и самой конструкции. При этом не накладываются требования идентичности сеток при решении задач по пп. 5 и 6.

**3. Применение цифровых моделей нагруженности зеркальной антенны для интеллектуальной поддержки стадии эксплуатации.** Стадия эксплуатации сложных крупногабаритных технических объектов характеризуется большой продолжительностью (обычно десятилетиями) и вариабельностью внешних условий, определяющих динамику состояния объекта. Для управления этим состоянием необходима дискретизация характеризующих его переменных по времени. При этом выбор переменных и величина шага дискретизации по времени зависит от целей управления.

Крупногабаритные зеркальные антенны целесообразно рассматривать как объекты, работающие в условиях квазистатического нагружения (с учетом высокой жесткости конструкции прецизионной антенны динамическими явлениями вследствие порывов ветра и вихреобразования можно пренебречь). Тогда с позиций дискретизации стадия эксплуатации может быть представлена последовательностью ситуаций, характеризующихся постоянными на текущем шаге дискретизации по времени значениями величин, являющихся входящими переменными задач, решаемых при построении цифровых моделей нагруженности.

Уточним значение понятия «ситуация». В толковом словаре Ожегова [14] под ситуацией понимается «совокупность обстоятельств, положение, обстановка», в словаре Ушакова [15] «совокупность обстоятельств, условий, создающих те или иные отношения, обстановку или положение». С учетом этого в настоящей работе будем рассматривать дискретизацию стадии эксплуатации с помощью ситуаций, характеризующихся множеством значений величин, являющихся входными данными (переменными) задач, решаемых при построении цифровых моделей нагруженности.

Логика построения и использования цифровых моделей нагруженности на стадии эксплуатации отражается двухконтурной схемой обработки информации (рис. 2), в которой собственно цифровые модели нагруженности принадлежат обоим контурам и объединяют их.

Ядром информационного контура использования цифровых моделей нагруженности на стадии эксплуатации является численная (конечно-элементная) модель силовой конструкции антенны. В общем случае сетка конечных элементов не идентична сетке, использованной при построении цифровых моделей нагруженности. Поэтому первой процедурой рассматриваемого информационного контура является интерполяция – приведение содержащихся в цифровых моделях нагруженности узловых усилий в соответствие с особенностями сеточных областей численной модели силовой конструкции антенны.

Следующая процедура заключается в суммировании интерполированных значений нагруженности воздушным потоком и тепловыми воздействиями на основании принципа линейной суперпозиции. На этом этапе формируется полная картина нагруженности, являющаяся входом для численной модели силовой конструкции антенны.

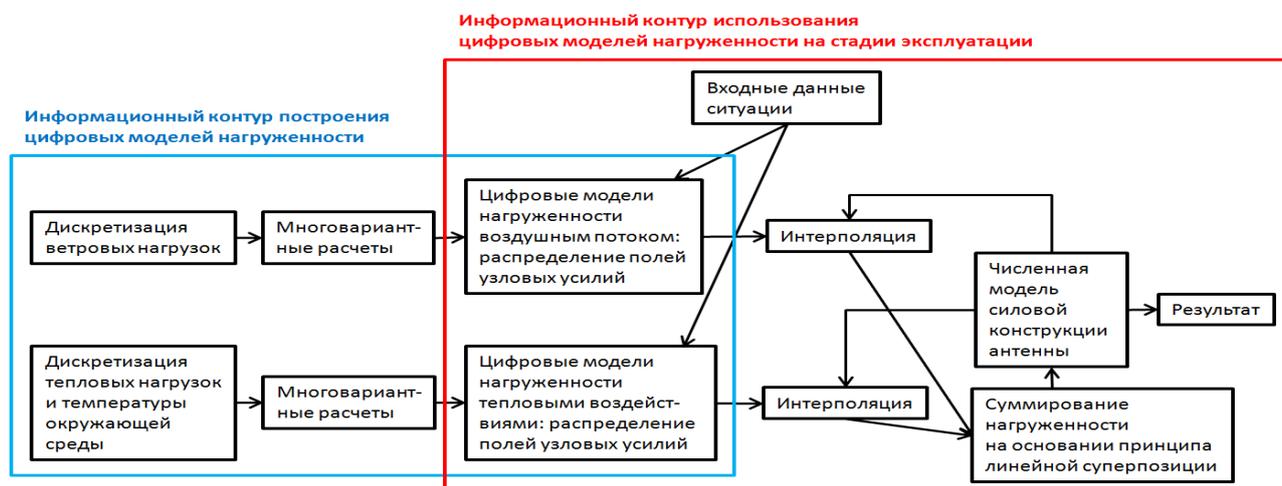


Рис. 2. Информационные контуры построения и использования на стадии эксплуатации цифровых моделей нагруженности

Наконец, реализация модели для сформированных описанным способом условий нагружения позволяет быстро (фактически в режиме реального времени с учетом скорости протекания рассматриваемых физико-технических процессов) получить детальную информацию о напряженно-деформированном состоянии всех структурных элементов силовой конструкции антенны.

Использование построенной таким образом цифровой модели нагруженности на стадии эксплуатации возможно с двух взаимосвязанных точек зрения – условно «взгляд в прошлое» (ретроспективной) и «взгляд в будущее» (перспективной). Взгляд в прошлое включает в себя фиксацию (мониторинг) с дискретным шагом по времени фактических значений температуры окружающей среды, уровня солнечного излучения, скоростей ветра, пространственного положения антенны. На основании этого в течение всей стадии эксплуатации формируется цифровая модель истории нагружения всех силовых элементов конструкции антенны, позволяющей оценивать уровень накапливаемых повреждений, определять стратегию дальнейшей эксплуатации. Взгляд в будущее основан на краткосрочном прогнозе значений внешних воздействий и уровня нагруженности для принятия тактических решений, предотвращающих нарушения работоспособности.

**Заключение.** Детальный, с требуемым уровнем точности, численный анализ деформирования крупногабаритной зеркальной антенны, подверженной воздействиям воздушного потока и солнечного излучения, требует значительных временных и вычислительных ресурсов. Это не позволяет использовать постановку задач и результаты такого анализа для оперативного прогнозирования и управления техническим состоянием объекта на стадии эксплуатации.

Разработка цифровых моделей нагруженности конструкции на ранних стадиях жизненного цикла для их использования в целях интеллектуальной поддержки стадии эксплуатации позволяет реализовать идею решения сложных технических задач для оперативного принятия управленческих решений в условиях дефицита времени (время решения задачи существенно превышает время, в течение которого должно быть принято решение). Возможность и эффективность таких решений обусловлена переносом части решения сложных ресурсоемких задач на более ранние стадии ЖЦ.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Селезнева Е.В., Лурье И.К., Панин А.В. Создание и исследование цифровых моделей рельефа для реконструкции палеорельефа острова Пор-Бажын / Геоинформатика. № 3. 2009. С. 37-44.

2. Нафиева Е.Н., Гречищев А.В. Построение цифровой модели рельефа методом радиолокационной интерферометрии / Экология. Экономика. Информатика. Серия: Геоинформационные технологии и космический мониторинг. 2020. Т. 2. № 5. С. 96-103.
3. Олейник А.М., Важенин Д.П. Применение цифровой модели местности при геодезическом обеспечении строительства транспортных развязок // Вестник научных конференций. 2019. № 5-3 (45). С. 68-70.
4. Фарбер С.К., Кузьмик Н.С. Формирование цифровой модели влажности почв на основе показателей рельефа местности и по материалам лесоустройства // «Известия вузов. Лесной журнал». 2020. № 4. С. 53-67. DOI: 10.37482/0536-1036-2020-4-53-67.
5. Нурсултанова С. Н., Сматуллина А. Б. Построение цифровой геологической модели месторождения с. Нуржанов // Геология и охрана недр. 2018. № 4 (69). С. 53-57.
6. Глазунова Е.М., Савоськин Е.М. Математическая модель процесса создания цифровой модели стопы в результате ее бесконтактного сканирования // «Современные информационные технологии в образовании, науке и промышленности». Сборник трудов VI международной конференции: IV международный конкурс научных и научно-методических работ. Международная академия информатизации. Московский государственный университет технологий и управления имени К.Г. Разумовского. 2016. С. 29-32.
7. Гурьева Ю.А. BIM-технологии в строительном комплексе: зарубежный и отечественный опыт // BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры: материалы III Международной научно-практической конференции. Санкт-Петербург: СПбГАСУ. 2020. С. 62-68. DOI: 10.23968/BIMAC.2020.006.
8. Черных А.Г., Корольков Д.И., Пакина А.С. Алгоритм расчета остаточного ресурса строительных конструкций при создании информационной модели здания или сооружения // BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры: материалы III Международной научно-практической конференции. Санкт-Петербург: СПбГАСУ. 2020. С. 174-180. DOI: 10.23968/BIMAC.2020.021.
9. Коновалова Г.И. Модель оперативного управления машиностроительным предприятием в условиях цифрового производства // Вестник Брянского государственного технического университета. 2019. № 5 (78). С. 79-85. DOI: 10.30987/article\_5cda64cfa6d2c9.23311329.
10. Прикладные задачи конструкционной прочности и механики разрушения технических систем. / В.В. Москвичев, Н.А. Махутов, Ю.И. Шокин, А.М. Лепихин и др. Новосибирск: Наука. 2021. 796 с.
11. Доронин С.В., Рейзмунт Е.М., Филиппова Ю.Ф. Построение информационно-вычислительной метамоделей деформирования и разрушения структурно-сложных конструкций // Информационные и математические технологии в науке и управлении. 2019. № 2 (14). С. 16-25.
12. Рейзмунт Е.М. Особенности деформированного состояния отражающих сегментов зеркала рефлектора при внешних температурных воздействиях / Решетневские чтения: материалы XXI Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. памяти генерального конструктора ракетно-космических систем академика М.Ф. Решетнева: в 2 ч. / под общ. ред. Ю.Ю. Логинова. Красноярск: СибГУ им. М.Ф. Решетнева. 2017. Ч. 1. С. 166-167.
13. Reyzmunt E.M., Doronin S.V. Numerical analysis of thermal deformation for constructive variants of mirror segments in a parabolic antenna // IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series 1050 (2018) 012069. DOI: 10.1088/1742-6596/1050/1/012069.
14. Ожегов С.И., Шведова Н.Ю. Толковый словарь русского языка. М.: ООО «А ТЕМП». 2006. 944 с.
15. Ушаков Д.Н. Толковый словарь современного русского языка. М.: Аделант. 2014. 800 с.

UDK 51-74:004.942

**DIGITAL LOAD MODELS OF PRECISION MIRROR ANTENNA FOR INTELLIGENT SUPPORT OF THE OPERATION STAGE**

**Elena M. Rejzmun**

PhD, Researcher, e-mail: [e.sigova@gmail.com](mailto:e.sigova@gmail.com),

**Sergey V. Doronin**

PhD, Assistant Professor, Leading Researcher, e-mail: [sdoronin@ict.nsc.ru](mailto:sdoronin@ict.nsc.ru),

Krasnoyarsk Branch of the Federal Research Center

for Information and Computational Technologies,

660049, Krasnoyarsk, Russia, Mira avenue, 53.

**Annotation.** The conditions for loading reflector antennas with air flow and thermal effects are considered, taking into account the variability of the spatial position of the structure. A concept is proposed for constructing digital models of the loading of a large-sized precision antenna for ground-based satellite communication systems. Possibilities of their integration into decision-making contours for intelligent support of the operation stage have been determined.

**Keywords:** digital load model, antenna, life cycle support.

REFERENCES

1. Selezneva E.V., Lur'e I.K., Panin A.V. Sozdanie i issledovanie cifrovyyh modelej rel'efa dlja rekonstrukcii paleorel'efa ostrova Por-Bazhyn [Creation and Research of Digital Elevation Models for Reconstruction of the Paleorelief of the Por-Bazhyn Island] / Geoinformatika = Geoinformatics. № 3. 2009. Pp. 37-44. (in Russian).
2. Nafieva E.N., Grechishchev A.V. Postroenie cifrovoj modeli rel'efa metodom radiolokacionnoj interferometrii [Creation of a Digital Elevation Model by the Method of Radar Interferometry] // Ecology Economy Informatics. Geoinformation Technologies and Space Monitoring. 2020. Vol. 2. № 5. Pp. 96-103. (in Russian).
3. Olejnik A.M., Vazhenin D.P. Primenenie cifrovoj modeli mestnosti pri geodezicheskom obespechenii stroitel'stva transportnyh razvjazok [Application of a digital terrain model for geodetic support of traffic intersections] // Vestnik nauchnyh konferencij = Scientific conference bulletin. 2019. № 5-3 (45). Pp.68-70. (in Russian).
4. Farber S.K., Kuzmik N.S. Formirovanie cifrovoj modeli vlazhnosti pochv na osnove pokazatelej rel'efa mestnosti i po materialam lesoustrojstva [Formation of a Digital Elevation Model of Soil Moisture Adopted from Terrain Parameters and Forest Management Materials] // Lesnoy Zhurnal = Russian Forestry Journal. 2020. № 4. Pp. 53-67. DOI: 10.37482/0536-1036-2020-4-53-67. (in Russian).
5. Nursultanova S. N., Smatullina A. B. Postroenie cifrovoj geologicheskoy modeli mestorozhdenija s. Nurzhanov [Construction of a Digital Geological Model of the Field s. Nurzhanov] // Geologiya i okhrana nedr = Geology and bowels of the earth. 2018. № 4 (69). Pp. 53-57. (in Russian).
6. Glazunova E.M., Savos'kin E.M. Matematicheskaja model' processa sozdaniya cifrovoj modeli stopy v rezul'tate ee beskontaktnogo skanirovanija [The Mathematical Model of the Process of Creating a Digital Foot Model as a Result of its Contactless Scanning] // «Sovremennye informacionnye tehnologii v obrazovanii, nauke i promyshlennosti». Sbornik trudov VI mezhdunarodnoj konferencii: IV mezhdunarodnyj konkurs nauchnyh i nauchno-metodicheskikh rabot = "Modern information technologies in education, science and industry." Proceedings of the VI International Conference: IV International Competition of Scientific and Scientific Methodological Works. Mezhdunarodnaja akademija

- informatizacii, Moskovskij gosudarstvennyj universitet tehnologij i upravlenija imeni K.G. Razumovskogo International Informatization Academy, K.G. Razumovsky Moscow State University of Technology and Management. 2016. Pp. 29-32. (in Russian).
7. Guryeva Yu.A. BIM-tehnologii v stroitel'nom komplekse: zarubezhnyj i otechestvennyj opyt [BIM Technologies in the Construction Industry: Foreign and Domestic Experience] // BIM-modelirovanie v zadachah stroitel'stva i arhitektury: materialy III Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii = BIM in Construction and Architecture: Proceedings of III International Conference. Sankt-Peterburg: SPbGASU = St. Petersburg: SPbGASU. 2020. Pp. 62-68. DOI: 10.23968/BIMAC.2020.006. (in Russian).
  8. Chernykh A.G., Korolkov D.I., Pakina A.S. Algoritm rascheta ostatochnogo resursa stroitel'nyh konstrukcij pri sozdanii informacionnoj modeli zdaniya ili sooruzhenija [Algorithm to Calculate the Residual Operating Life of Building Constructions When Creating an Information Model of a Building or Structure] // BIM-modelirovanie v zadachah stroitel'stva i arhitektury: materialy III Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii = BIM in Construction and Architecture: Proceedings of III International Conference. Sankt-Peterburg: SPbGASU = St. Petersburg: SPbGASU. 2020. Pp. 174-180. DOI: 10.23968/BIMAC.2020.021. (in Russian).
  9. Konovalova G.I. Model' operativnogo upravlenija mashinostroitel'nym predpriyatiem v uslovijah cifrovogo proizvodstva [Model of Engineering Enterprise Online Control under Digital Production Conditions] // Vestnik Brjanskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta = Bulletin of the Bryansk State Technical University. 2019. № 5 (78). Pp. 79-85. DOI: 10.30987/article\_5cda64cfa6d2c9.23311329. (in Russian).
  10. Prikladnye zadachi konstrukcionnoj prochnosti i mehaniki razrushenija tehničeskikh system [Applied problems of structural strength and fracture mechanics of technical systems] / V.V. Moskvichev, N.A. Mahutov, Ju.I. Shokin, A.M. Lepihin and others. Novosibirsk: Nauka = Novosibirsk: Science. 2021. 796 p. (in Russian).
  11. Doronin S.V. Reizmunt E.M. Filippova Yu.F. Postroenie informacionno-vychislitel'noj metamodeli deformirovanija i razrushenija strukturno-slozhnyh konstrukcij [Creation an Informational-Computational Metamodel of Deformation and Destruction of Structurally Complex Constructions] // Informacionnye i matematicheskie tehnologii v nauke i upravlenii = Information and mathematical technologies in science and management. 2019. № 2 (14). Pp. 16-25. (in Russian).
  12. Reizmunt E. M. Osobennosti deformirovannogo sostojanija otrazhajushhih segmentov zerkala reflektora pri vneshnih temperaturnyh vozdeystvijah [The Deformed State Features of the Reflector Mirror Segments at External Temperature Impact] // Reshetnevskie chtenija: materialy XXI Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii = Reshetnev Readings: Materials of the XXII International Scientific and Practical Conference. Krasnojarsk: SibGU im. M.F. Reshetneva = Krasnojarsk: Reshetnev Siberian State University of Science and Technology. 2017. Part 1. Pp. 166-167. (in Russian).
  13. Reizmunt E.M., Doronin S.V. Numerical analysis of thermal deformation for constructive variants of mirror segments in a parabolic antenna // IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series 1050 (2018) 012069. DOI: 10.1088/1742-6596/1050/1/012069.
  14. Ozhegov S.I., Shvedova N.Ju. Tolkovyj slovar' russkogo jazyka [Explanatory Dictionary of the Russian Language]. Moscow. OOO «A TEMP» = A TEMP. 2006. 944 p. (in Russian).
  15. Ushakov D.N. Tolkovyj slovar' sovremennogo russkogo jazyka [Explanatory Dictionary of the Modern Russian Language] Moscow. Adelant = Adelant. 2014. 800 p. (in Russian).

УДК 519.677

## ЭВРИСТИКА И ЧИСЛЕННЫЙ МЕТОД НОРМАЛИЗАЦИИ ЭМПИРИЧЕСКОГО $V^{TF}$ -КОНТЕКСТА В ОНТОЛОГИЧЕСКОМ АНАЛИЗЕ ДАННЫХ

Семенова Валентина Андреевна

м.н.с. лаборатории анализа и моделирования сложных систем,

e-mail: [queenbfjr@gmail.com](mailto:queenbfjr@gmail.com),

Самарский федеральный исследовательский центр РАН,  
Институт проблем управления сложными системами РАН  
443020 г. Самара, ул. Садовая, 61.

**Аннотация.** Областью исследования является онтологический анализ данных, заключающийся в построении формальных онтологий на основе эмпирических данных о слабоструктурированных предметных областях. Предметом исследования является нормализация эмпирического  $V^{TF}$ -контекста – нестрогого соответствия «объекты-свойства» – при ограничениях существования свойств. Задача исследования состоит в разработке численного метода, который реализует эвристический подход к нормализации эмпирических контекстов. В работе используются методы теории множеств и бинарных отношений, модели и методы анализа формальных понятий, а также существующая методология применения ограничений существования свойств для построения формальных онтологий. Отличие и новизна предложенного метода заключаются в более эффективной реализации эвристического подхода за счёт представления системы измеряемых свойств – множества фиксируемых у объектов исследуемой предметной области свойств с заданными на нём ограничениями существования – в виде совокупности субструктур, однородных по виду экзистенциального сопряжения свойств-членов.

**Ключевые слова:** онтологический анализ данных, эмпирический контекст,  $V^{TF}$ -логика, система измеряемых свойств, группа сопряженных свойств, нормальное множество, манхэттенская метрика.

**Цитирование:** Семенова В. А. Эвристика и численный метод нормализации эмпирического  $V^{TF}$ -контекста в онтологическом анализе данных // Информационные и математические технологии в науке и управлении. 2021. № 2 (22). С. 61- 69. DOI:10.38028/ESI.2021.22.2.006

**Введение.** Онтологический анализ данных (ОАД) – комплекс моделей и методов для выявления понятийной структуры, интересующей субъекта предметной области (ПрО) на основе эмпирических данных [1]. ОАД – прагматическая надстройка анализа формальных понятий (АФП) [2, 3], позволяющая обрабатывать неполные и противоречивые данные о ПрО. Двухаспектная векторная  $V^{TF}$ -логика [4, 5] используется в ОАД для отражения реалий накопления эмпирической информации, интерпретации её неполноты и противоречивости при формировании эмпирических контекстов (соответствий) «объекты–свойства» [6]. Такие контексты состояются из  $V^{TF}$ -оценок истинности так называемых базовых семантических суждений (БСС) вида «объект  $g$  имеет свойство  $m$ ». Из бинарной аппроксимации эмпирического  $V^{TF}$ -контекста АФП-методами может быть извлечено частично упорядоченное множество формальных понятий, которое составит скелет формальной онтологии исследуемой ПрО.

В [7, 8] показана необходимость совмещения этого подхода с менее известной методикой онтологического инжиниринга, основанной на концепции ограничений существования свойств (ОСС) [9, 10]. Это потребовало введение в ОАД еще одного «передела» в обработку эмпирических данных – нормализации исходного контекста «объекты-свойства».

Цель данной статьи – представить эффективный метод нормализации нестрогого формального контекста, который по природе является эвристическим (т.е. реализует

некоторые рациональные действия, гарантирующие решение задачи нормализации) и численным (т.е. доставляет решение лишь при конкретных исходных данных).

**1. Ограничения существования и нормальные множества свойств.** Постулатом при изучении актуальной ПрО является утверждение о существовании множества составляющих её объектов  $G$ . Однако «в поле зрения» субъекта обычно оказывается лишь конечное подмножество  $G^* \subseteq G$ , а, кроме того, субъект фактически не использует объекты как таковые, а эксплуатирует их свойства.

Согласно [7, 8] определение а ргіогу состава конечного множества  $M$  подлежащих измерению свойств объектов  $G^*$  в когнитивном плане есть не что иное, как выдвижение гипотез об искомой понятийной структуре актуальной ПрО. При этом, кроме очевидного комбинаторного синтеза гипотетических понятий, могут использоваться еще два (и согласно классической логике [11, 12] только два) приема их формирования: деление и ограничение гипотетических понятий. Эти способы и устанавливают ОСС – бинарные экзистенциальные отношения на множестве  $M$ :

- обусловленность  $C: M \times M \rightarrow \{\text{True}, \text{False}\}$ , когда наперед устанавливается, что, обладая свойством  $x \in M$ , всякий объект  $g \in G$  непременно обладает свойством  $y \in M$  (хотя обратное может быть неверно);
- несовместимость  $E: M \times M \rightarrow \{\text{True}, \text{False}\}$ , когда предопределяется, что, обладая свойством  $x$ , всякий объект  $g \in G$  заведомо не обладает свойством  $y$ , и наоборот.

Т.о., а ргіогу субъект формирует  $(M, C, E)$  – систему измеряемых свойств, далее СИС, естественным описанием которой служит граф, в котором множество  $M$  определяет вершины, а отношения  $C$  и  $E$  – дуги и ребра соответственно [13].

Система измеряемых свойств  $(M, C, E)$  гипотетически предопределяет, что всякий объект  $g \in G$  может обладать лишь «нормальным» подмножеством множества измеряемых свойств  $N \subseteq M$  [10]:  $N$  содержит все свойства, обусловленные любым его элементом, и любые два элемента  $N$  не связаны отношением несовместимости.

В общем случае, после применения порога доверия (рисунок 1 иллюстрирует это действие для  $V^{TF}$ -оценок истинности), заданного пользователем, объект может характеризоваться множеством свойств, которое не является нормальным, поэтому возникает необходимость в нормализации обрабатываемого эмпирического контекста.

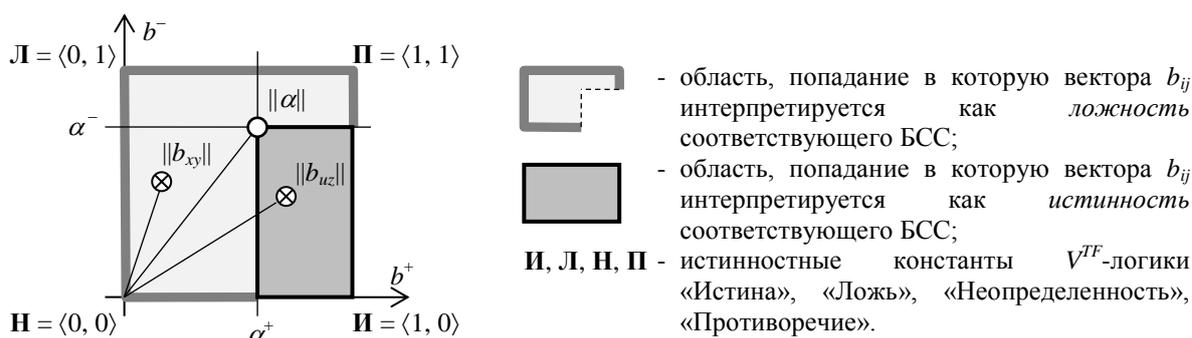


Рис. 1. Применение порога доверия  $\alpha = \langle \alpha^+, \alpha^- \rangle$

## 2. Задача нормализации эмпирического контекста и подходы к её решению.

Очевидно, что эта задача решается сепарабельно для каждого объекта в контексте, причем можно предложить два подхода:

- поиск всех нормальных подмножеств множества свойств объекта с последующим выбором по некоторым критериям одного из нормальных подмножеств в качестве суррогата, представляющего свойства объекта в эмпирическом контексте;

- эвристический подход [14, 15], заключающийся в последовательном выполнении шагов «поиск нарушителей ОСС во множестве свойств объекта / исключение из множества свойств объекта свойства-нарушителя по критерию минимального ужесточения порога доверия к данным, установленного субъектом» до тех пор, пока будут обнаруживаться свойства-нарушители ОСС.

Реализация первого подхода затруднена не только вследствие трудностей методического и вычислительного характера при поиске абсолютно всех нормальных подмножеств множества свойств объекта (задача связана с решением логических уравнений [9, 16]), но и, очевидно, связана с необходимостью решения многокритериальной задачи выбора лучшего нормального подмножества в качестве суррогата. Второй подход, в плане реализации свободен от подобных сложностей, но малоэффективен из-за «микроскопичности» своих шагов.

Такая оценка приводит к задаче поиска эффективной реализации эвристического подхода, когда за один шаг можно было бы удалять более, чем одно свойство, нарушающее нормальность множества свойств объекта.

**3. Группы сопряженных свойств.** В [13] замечено, что СИС можно представить в виде пересекающихся субструктур, однородных по характеру экзистенциального сопряжения свойств-членов. Для каждого вида таких субструктур, или, иначе, групп сопряженных свойств (ГСС), легко обосновывается связь с нормальностью содержащего их подмножества измеряемых свойств и на основании таких связей открывается возможность судить о нормальности множества свойств объекта, когда это множество пересекается с характерными ГСС СИС.

**Определение 1.** ГСС «ВЗО-группа» есть замкнутое подмножество взаимообусловленных (ВЗО) свойств.

В частности, каждое отдельно взятое измеряемое свойство является ВЗО-группой, поскольку оно естественно самообусловлено.

**Утверждение 1.** ВЗО-группа может принадлежать нормальному подмножеству измеряемых свойств только целиком.

**Определение 2.** В ГСС «О-группа» одна группа ВЗО-свойств обуславливает другую группу ВЗО-свойств (отношение обусловленности между ВЗО-группами обобщает это отношение между свойствами в том смысле, что каждое свойство-член одной группы обуславливает все свойства-члены другой; формальный анализ этого положения имеется в [10]).

**Утверждение 2.** О-группа либо входит в нормальное подмножество целиком, либо своей обуславливаемой частью.

**Определение 3.** ГСС «Н-группа» образуют попарно несовместимые измеряемые свойства.

**Утверждение 3.** Н-группа может быть представлена в нормальном подмножестве только одним своим членом.

Ключевым для констатации «нормальности» любого подмножества СИС является

**Утверждение 4.** Подмножество СИС нормально тогда и только тогда, когда для него и пересекающихся с ним ВЗО-, О- и Н-групп справедливы утверждения 1-3.

Тогда, на основе реструктуризованной с помощью ввода субструктур СИС можно предложить метод нормализации, соблюдающий принцип эвристического подхода, но работающий не с одним свойством за один шаг, а с целой группой.

**4. Метод нормализации  $V^{TF}$ -контекста на основе ГСС.** Принципиальное отличие и главное содержание этой задачи – выяснение нормально или нет некоторое определенное подмножество свойств, а не выявление *всех* нормальных подмножеств СИС как в [9].

Эффективное решение задачи нормализации эмпирического формального контекста предполагает предварительную реструктуризацию системы  $(M, C, E)$ , и состоит в выполнении для каждого объекта контекста цикла, включающего описываемые далее действия.

4.1. Путём сопоставления состава свойств объекта и состава каждой ГСС выявляется локальный (для рассматриваемого объекта) статус каждой субструктуры СИС. Анализ происходит с точки зрения утверждений и определений, приведенных в разделе 3. Локальный статус ГСС может оказаться одним из следующих:

- «беспроблемная» (ГСС не представлена у объекта ни одним свойством в случае ВЗО- и О-группы, или ГСС имеет в пересечении со свойствами объекта не более одного свойства – для Н-группы);
- «проблемная» (ГСС представлена у объекта, но требует отсечения части своих свойств);
- «критическая» (ГСС является проблемной, но требуемое в этом случае отсечение части её свойств невозможно из-за присутствия в контексте абсолютно достоверного БСС);
- «потенциально проблемная» (ГСС представлена у объекта и может стать проблемной в результате отсечения части свойств у объекта);
- «потенциально критическая» (ГСС является потенциально проблемной, но при обретении в результате отсечения свойств объекта статуса «проблемной», окажется, что требуемое в этом случае отсечение части её свойств невозможно).

Если будет обнаружена хотя бы одна «критическая» ГСС, то работа завершается, констатируется невозможность нормализации, т.к. в критической группе нужно отсекалть абсолютно достоверные данные, что противоречит здравому смыслу. В данном случае говорится об обнаруженном неустранимом противоречии ОСС эмпирическим данным.

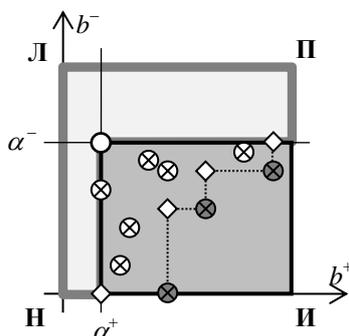
Для всех «проблемных» ГСС выявляется множество свойств-претендентов на отсечение, т.е. тех свойств, наличие которых делает ГСС «проблемной». У «проблемной» Н-группы число таких множеств будет равно количеству свойств из пересечения свойств рассматриваемой Н-группы и свойств объекта, у ВЗО-группы и О-группы устанавливается одно такое множество. Это объясняется тем, что для нормализации множества свойств объекта из состава Н-группы требуется оставить только одно свойство, применительно к ВЗО-группе – убрать все свойства из данной группы, присутствующие у объекта частично, а в случае О-группы – убрать лишь обуславливающую ВЗО-группу.

Локальные пороги доверия (ЛПД), которые необходимы для упомянутых выше отсечений, во-первых, отыскиваются как оптимальные по критерию минимального ужесточения порога доверия к эмпирическим данным, который субъект устанавливает для контекста, и, во-вторых, формируют множество конкурирующих ЛПД для действительной реализации отсечения.

4.2. Оптимизация выбора ЛПД, отсекающего часть свойств-членов «проблемной» ГСС для трансформации ее в «беспроблемную» группу у рассматриваемого объекта контекста, существенно определяется видом оценок истинности БСС. В  $V^{TF}$ -контексте в качестве этих оценок фигурируют вектора, или точки  $\langle b^+, b^- \rangle$  единичного квадрата (рис. 1), что делает задачу выбора искомого ЛПД двухкритериальной. Простейшей и в нашем случае адекватной метрикой в данном пространстве может служить метрика городских кварталов, или манхэттенская метрика [17].

На рис.2 демонстрируются основные идеи, подготавливающие выбор «лучшего» ЛПД для отсечения множества свойств «проблемной» ГСС:

- $\alpha = \langle \alpha^+, \alpha^- \rangle$  – порог доверия к эмпирическим данным, установленный субъектом для  $V^{TF}$ -контекста;
- множество кружков с перекрестием (далее множество  $X$ ) – векторные оценки истинности БСС, определяющие наличие у объекта множества свойств, предназначенных к отсечению;
- выделенные кружки с перекрестием – «юго-восточная» граница множества  $X$ , определяющая варианты порогов доверия, которые при любом сколь угодно малом ужесточении будут лишать рассматриваемый объект всех свойств, подлежащих отсечению;
- ромбами выделены так называемые «стыки» граничных элементов множества  $X$ , которые могут рассматриваться как действительные кандидаты для выбора «лучшего» ЛПД (с учетом необходимости их предельно малого ужесточения) для отсечения у рассматриваемого объекта множества свойств, предназначенных к отсечению.

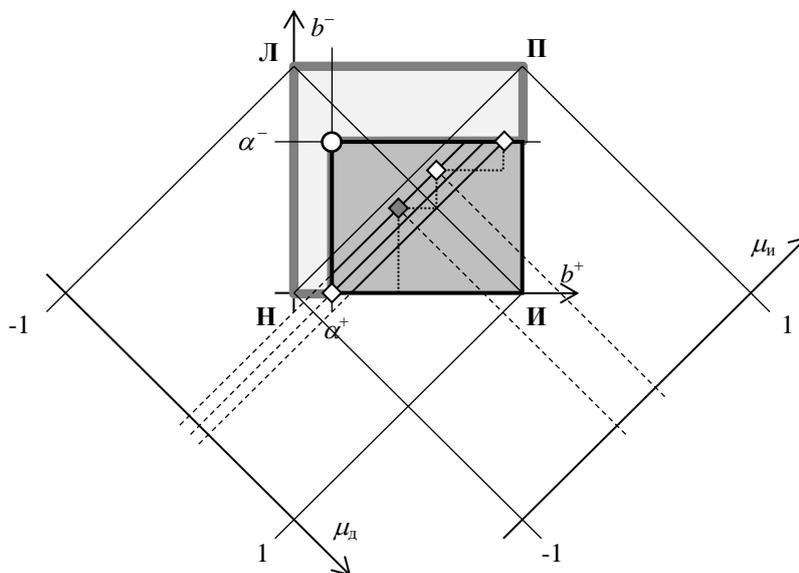


**Рис. 2.** Подготовка выбора лучшего локального порога доверия среди «стыков» «юго-восточного» Парето-множества векторов истинности, сопоставленных свойствам

Рис. 3 демонстрирует собственно выбор «лучшего» ЛПД среди «стыков» на основе сравнения манхэттенских расстояний « $\alpha$ -порог – «стык»», что, как нетрудно показать, в аппарате сравнения векторов истинности  $V^{TF}$ -логики эквивалентно поиску среди «стыков» вектора истинности, характеризующегося наименьшей достоверностью [4]:

$$\mu_d = c^+ - c^-,$$

где  $\langle c^+, c^- \rangle$  – вектор-«стык».



**Рис. 3.** Выбор «лучшего» локального порога доверия среди стыков

Наконец, на рисунке 3 показано использование  $V^{TF}$ -меры избыточности [4] для однозначного выбора «лучшего» ЛПД, если обнаружатся несколько векторов-«стыков» с наименьшей, но одинаковой достоверностью. В таком случае в качестве «лучшего» ЛПД предлагается принять вектор, представляющий «стык» (или несколько «стыков») с наименьшей избыточностью:

$$\mu_n = c^+ - c^- - 1,$$

субъективно отдавая тем самым предпочтение ЛПД-векторам с менее выраженными компонентами.

Таким образом, в результате описанных действий у каждой проблемной ГСС рассматриваемого объекта контекста отыскивается свой ЛПД (у Н-группы – несколько ЛПД), применение которого делает её «беспроблемной».

4.3. Из множества найденных ЛПД проблемных ГСС с помощью очерченного в предыдущем подразделе метода выбора лучшего «стыка», выбирается «наилучший» ЛПД, с помощью которого отсекается некоторое множество свойств рассматриваемого объекта. При этом изменится не только локальный статус ГСС, чей ЛПД был признан наилучшим и реализован, но, в общем случае, и локальные статусы других групп сопряженных свойств. Поэтому действия, описанные в подразделах 4.1-4.3, повторяются до тех пор, пока имеется хотя бы одна ГСС с локальным статусом «проблемная» (либо до обнаружения неустраиваемого противоречия между ОСС и эмпирическими данными – см. подраздел 4.1).

**Заключение.** В статье описан эффективный метод нормализации нестроого формального контекста, основанный на эвристическом подходе [14, 15] и реструктуризации СИС [13]. Перспективной задачей является количественное подтверждение достигнутой качественной интенсификации процесса нормализации  $V^{TF}$ -контекста в онтологическом анализе данных.

**Благодарности.** Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (регистрационный номер НИОКТР АААА-А19-119030190053-2).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Смирнов С.В. Онтологический анализ предметных областей моделирования // Известия Самарского научного центра РАН. 2001. Т. 3. №1. С. 62-70.
2. Ganter B., Wille R. Formal Concept Analysis. Mathematical foundations. Berlin-Heidelberg: Springer-Verlag. 1999. 290 p.
3. Ferré S., Huchard M., Kaytoue M., Kuznetsov S.O., Napoli A. Formal Concept Analysis: From Knowledge Discovery to Knowledge Processing // In: Marquis, P., Papini, O., Prade, H. (eds.): A Guided Tour of Artificial Intelligence Research. V. II. AI Algorithms. Springer Int. Publishing. 2020. Pp. 411-445. DOI: 10.1007/978-3-030-06167-8\_13.
4. Аршинский Л.В. Векторные логики: основания, концепции, модели. Иркутск: Иркутский гос. ун-т. 2007. 228 с.
5. Офицеров В.П., Смирнов С.В. Использование  $V^{TF}$ -логики для определения формальных контекстов и построения онтологий предметных областей // Труды XV международной конференции «Проблемы управления и моделирования в сложных системах». 2013. Самара: СамНЦ РАН. 2013. С. 291-297.
6. Семенова В.А. Выбор логической модели для представления эмпирической информации в онтологическом анализе данных // Труды XII Всероссийской научно-технической конференции аспирантов, студентов и молодых ученых «Информатика и вычислительная техника». Ульяновск: УлГТУ. 2020. С. 205-210.

7. Samoilov D.E., Semenova, V.A., Smirnov, S.V. Multilevel recursive model of properties existence constraints in machine learning. J. of Physics: Conf. Series. 1096: 012096. 2018. DOI: 10.1088/1742-6596/1096/1/012096.
8. Смирнов С.В. Две методологии вывода формальных понятий: когда и как они должны работать вместе // Материалы VII международной конференции «Знания – Онтологии – Теории». Новосибирск: Институт математики СО РАН, Новосибирский государственный ун-т. 2019. С. 355-363.
9. Lammari N., Metais E. Building and maintaining ontologies: a set of algorithms // Data & Knowledge Engineering. 2004. Vol. 48(2). P. 155-176. DOI: 10.1016/S0169-023X(03)00103-4.
10. Пронина В.А., Шипилина Л.Б. Использование отношений между атрибутами для построения онтологии предметной области // Проблемы управления. 2009. № 1. С. 27-32.
11. Гетманова А.Д. Логика. Углубленный курс. М.: КНОРУС. 2016. 192 с.
12. Ивин А.А., Никифоров А.Л. Словарь по логике. М.: Гуманит. изд. центр ВЛАДОС. 1997. 384 с.
13. Семенова В.А., Смирнов С.В. Алгоритмизация формирования и прагматической трансформации ограничений существования свойств предметной области // Онтология проектирования. 2020. Т. 10. №3(37). С. 361-379. DOI: 10.18287/2223-9537-2020-10-3-361-379.
14. Семенова В.А. Семантическая идентификация объекта в задачах концептуального моделирования // Труды Международной научно-технической конференции «Перспективные информационные технологии». Самара: СамНЦ РАН. 2016. С. 330-333.
15. Зубцов Р.О., Семенова В.А., Смирнов С.В. Алгоритмическое и программное обеспечение онтологического анализа данных // Материалы VI междунаод. науч.-тех. конф. «Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем = Open Semantic Technologies for Intelligent Systems». Минск: БГУИР. 2016. С. 83-88.
16. Закревский А.Д. Логические уравнения. М.: URSS. 2021. 96 с.
17. Деза Е.И., Деза М.М. Энциклопедический словарь расстояний. М.: Наука. 2008. 444 с.

---

**UDK 519.677**

**HEURISTICS AND NUMERICAL METHOD FOR NORMALIZING  
THE EMPIRICAL CONTEXT IN ONTOLOGICAL DATA ANALYSIS**

**Valentina A. Semenova**

Junior researcher of laboratory “analysis and modeling of complex systems”, e-mail:  
[queenbfjr@gmail.com](mailto:queenbfjr@gmail.com),

Samara Federal Research Scientific Center RAS,  
Institute for the Control of Complex Systems RAS  
443020, Samara, Russia, Sadovaya st., 61.

**Annotation.** The research field is ontological data analysis, which consists in the construction of formal ontologies based on empirical data on semi-structured subject domains. The subject of the research is the normalization of the empirical  $V^{TF}$ -context - a non-strict correspondence "objects-properties" - with properties existence constraints. The research objective is to develop a numerical method that implements

a heuristic approach to the normalization of empirical contexts. The work uses the methods of the theory of sets and binary relations, models and methods of formal concept analysis, as well as the existing methodology for applying the properties existence constraints to construct formal ontologies. The difference and novelty of the proposed method consists in the more efficient implementation of the heuristic approach by representing the system of measured properties - the set of properties fixed in the objects of the studied subject domain with the existence constraints on it - as a set of substructures that are homogeneous in the form of existential relation of member properties.

**Keywords:** ontological data analysis, empirical context,  $V^{TF}$ -logic, system of measured properties, group of related properties, normal set, Manhattan metric.

**Acknowledgements.** This research was funded by Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, R&D registration numbers AAAA-A19-119030190053-2.

## REFERENCES

1. Smirnov SV. Ontologicheskii analiz predmetnykh oblastey modelirovaniya [Ontological analysis of knowledge domains of modeling]. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra RAN = Bulletin of the Samara Scientific Center of RAS*. 2001. T. 3. № 1. P. 62-70.
2. Ganter B., Wille R. *Formal Concept Analysis. Mathematical foundations*. Berlin-Heidelberg: Springer-Verlag. 1999. 290 p.
3. Ferré S., Huchard M., Kaytoue M., Kuznetsov S.O., Napoli A. Formal Concept Analysis: From Knowledge Discovery to Knowledge Processing // In: Marquis, P., Papini, O., Prade, H. (eds.): *A Guided Tour of Artificial Intelligence Research. V. II. AI Algorithms*. Springer Int. Publishing. 2020. Pp. 411-445. DOI: 10.1007/978-3-030-06167-8\_13.
4. Arshinskiy LV. *Vektornye logiki: osnovaniya, kontseptsii, modeli [Vector logics: foundations, concepts, models]*. Irkutsk: Irkutskiy gos.un-t = Irkutsk: Irkutsk state. un-t. 2007. 228 p.
5. Ofitserov VP., Smirnov SV. Ispol'zovanie VTF-logiki dlya opredeleniya formal'nykh kontekstov i postroeniya ontologiy predmetnykh oblastey [Using VTF-logic to define formal contexts and build domain ontologies] // *Trudy XV mezhdunarodnoy konferentsii "Problemy upravleniya i modelirovaniya v slozhnykh sistemah" = Proceedings of the XV International Conference "Problems of Control and Modeling in Complex Systems"*. Samara: SamNTs RAN. 2013. P. 291-297.
6. Semenova VA. Vubor logicheskoy modeli dlya predstavleniya empiricheskoy informatsii v ontologicheskom analize dannykh [Choosing a logical model for representing empirical information in ontological data analysis] // *Trudy XII Vserossiyskoy nauchno-tehnicheskoy konferentsii aspirantov, studentov i molodykh uchyonnykh "Informatika i vychislitel'naya tehnika" = Proceedings of the XII All-Russian Scientific and Technical Conference of Postgraduates, Students and Young Scientists "Informatics and Computer Engineering"*. Ul'yanovsk: UIGTU. 2020. Pp. 205-210.
7. Samoilov D.E., Semenova, V.A., Smirnov, S.V. Multilevel recursive model of properties existence constraints in machine learning. *J. of Physics: Conf. Series*, 1096: 012096. 2018. DOI: 10.1088/1742-6596/1096/1/012096.
8. Smirnov SV. Dve metodologii vyvoda formal'nykh ponyatiy: kogda i kak oni dolzhny rabotat' vmeste [Two methodologies for the derivation of formal concepts: when and how they should work together] // *Materialy VII mezhdunarodnoy konferentsii "Znaniya – Ontologii – Teorii" = Materials of the VII International Conference "Knowledge - Ontology - Theories"*. Novosibirsk: Institut matematiki SO RAN, Novosibirskiy gos. un-t. 2019. Pp. 355-363.

9. Lammari N., Metais E. Building and maintaining ontologies: a set of algorithms // *Data & Knowledge Engineering*. 2004. Vol. 48(2). P. 155-176. DOI: 10.1016/S0169-023X(03)00103-4.
10. Pronina, VA., Shipilina, LB. Ispol'zovanie otnosheniy mezhdu atributami dlya postroeniya ontologii predmetnoy oblasti [Using the relationships between attributes to build domain ontology] // *Problemy upravleniya = Control problems*. 2009. № 1. Pp. 27-32.
11. Getmanova AD. Logika. Uglublennyy kurs [Logic. Advanced course]. M.: KNORUS. 2016. 192 p.
12. Ivin AA., Nikiforov AL. Slovar' po logike [Logic dictionary]. M.: Gumanit. izd. tsentr VLADOS. 1997. 384 p.
13. Semenova VA., Smirnov SV. Algoritmizatsiya formirovaniya i pragmaticheskoy transformatsii ogranicheniy suschestvovaniya svoystv predmetnoy oblasti [Algorithms for the formation and pragmatic transformation of Existence Constraints] // *Ontologiya proektirovaniya = Ontology of Designing*. 2020. T. 10. № 3(37). Pp. 361-379. DOI: 10.18287/2223-9537-2020-10-3-361-379.
14. Semenova VA. Semanticheskaya identifikatsiya ob'ekta v zadachah kontseptual'nogo modelirovaniya [Semantic identification of an object in problems of conceptual modeling] // *Trudy Mezhdunarodnoy nauchno-tehnicheskoy konferentsii "Perspektivnye informatsionnye tehnologii"* = *Proceedings of the International Scientific and Technical Conference "Advanced Information Technologies"*. Samara: SamNTs RAN. 2016. Pp. 330-333.
15. Zybtsov RO., Semenova VA., Smirnov SV. Algoritmicheskoe i programmnoe obespechenie ontologicheskogo analiza dannyh [Algorithmic and software for ontological data analysis] // *Materialy mezhdunarodnoy nauchno-tehnicheskoy konferentsii "Otkrytye semanticheskie tehnologii proektirovaniya intellektual'nyh system"* = *Materials of the International Scientific and Technical Conference "Open Semantic Technologies for Intelligent Systems"*. Minsk: BGUIR. 2016. Pp. 83-88.
16. Zakrevskiy AD. Logicheskie uravneniya [Logic equations]. M.: URSS. 2021. 96 p.
17. Deza E.I., Deza M.M. Entsiklopedicheskiy slovar' rasstoyaniy [Encyclopedic Dictionary of Distances]. M.: Nauka= Science. 2008. 444 p.

## ФОРМИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ОЦЕНКИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

**Туктарова Полина Андреевна**

к.э.н., доцент кафедры «Финансы денежное обращение и экономическая безопасность»,  
e-mail: [ptuktarova@gmail.com](mailto:ptuktarova@gmail.com)

**Мансурова Юлия Талгатовна**

к.э.н., доцент кафедры «Финансы денежное обращение и экономическая безопасность»,  
e-mail: [mansurova.j@mail.ru](mailto:mansurova.j@mail.ru)

Уфимского государственного авиационного технического университета,  
450077 г. Уфа, Респ. Башкортостан, ул. Карла Маркса, 12

**Аннотация.** На сегодняшний день применение ряда моделей диагностики состояния предприятия нецелесообразно в условиях российской экономики по следующим причинам. Во-первых, применение различных моделей приводит к противоречивым результатам. Во-вторых, прогнозная точность моделей значительно уменьшается при использовании для анализа финансового состояния данных за несколько лет до банкротства. В-третьих, зарубежные модели не учитывают специфику экономической ситуации и организацию предпринимательства в России, которые отличаются, в том числе, системами бухгалтерского учета и налогового законодательства, что находит отражение как в наборе факторов-признаков, так и в весовых коэффициентах при них. В-четвертых, в моделях используются данные за один год, и не учитываются изменения показателей в динамике за несколько лет. В-пятых, существующие модели используют в своем анализе ограниченный спектр показателей, определяющих ликвидность, платежеспособность, рентабельность и, как правило, являются расширенными или измененными западными моделями 60–80 гг. XX в. Круг факторов, определяющих риск потери степени устойчивости, заметно больше, это обуславливает необходимость совершенствования моделей его оценки за счет расширения его дополнительными параметрами.

**Ключевые слова:** устойчивость предприятий, регрессия, корреляция, факторы уравнения регрессии

**Цитирование:** Туктарова П. А., Мансурова Ю. Т. Формирование системы показателей оценки деятельности промышленного предприятия // Информационные и математические технологии в науке и управлении. 2021. № 2 (22). С. 70-76. DOI:10.38028/ESI.2021.22.2.007

**Введение.** Промышленное предприятие, являясь важной составляющей экономики, представляет собой открытую систему, находящуюся в активном взаимодействии с внешней средой.

В соответствии с общей теорией систем, любая система обладает некоторым порогом устойчивости, который негативные факторы преодолеть не могут. Таким образом, промышленное предприятие, как открытая система, обладает способностью сопротивляться факторам, которые могут привести ее к кризису. Следовательно, категорию устойчивости промышленного предприятия можно рассматривать, как его способность противостоять действию негативных факторов внутренней и внешней среды [1].

Степень устойчивости промышленного предприятия будем определять, как его способность минимизировать последствия влияния кризиса и его негативных факторов, а также предотвращать их наступление. Для этого необходимо проведение своевременной идентификации возникновения кризиса или его факторов, определение степени их влияния, определение возможности реализации наиболее эффективных противодействующих мероприятий.

Модели, предлагаемые западными специалистами, при их использовании применительно к отечественным промышленным предприятиям, дают невысокую точность прогнозирования, поскольку не адаптированы к российским условиям. Модели, разработанные оте-

качественными специалистами, не являются универсальными. Оценки, полученная при использовании этих моделей, не позволяют разработать управленческие мероприятия по улучшению сложившейся ситуации и уменьшению риска потери степени устойчивости [2, 3].

Помимо этого, используемые в российской практике методы анализа и оценки предприятия не учитывают размер промышленных предприятий, сферу деятельности, тенденцию и характер изменения во времени, а также причины возрастания риска потери степени устойчивости [4 – 7].

Среди отечественных и зарубежных ученых можно выделить различные подходы по формированию групп коэффициентов, описывающих финансовое состояние предприятия.

Часто при определении степени устойчивости используются только финансовые коэффициенты. Выбор показателей индивидуален для каждого предприятия. В модель могут включаться как количественные, так и качественные показатели с присвоением им количественных оценок.

**1. Постановка задачи.** Задачей является выбор оптимального числа показателей настоящего исследования. Возможны два метода: метод включения и метод исключения. Согласно методу включения, сначала строится уравнение регрессии с одним наиболее влияющим фактором (фактор, для которого значение парного коэффициента корреляции с резуль- тативным признаком больше по модулю). Затем в него последовательно вводятся следующие факторы и определяется пара наиболее влияющих факторов. На следующем к первым двум добавляется еще по одному фактору и определяется наилучшая тройка факторов и т. д. [8]

Согласно методу исключения сначала строится уравнение регрессии с полным набором факторов, из числа которых затем последовательно исключаются незначимые (наименее значимые) факторы. На каждом шаге исключается только один фактор, так как после исключения какого-либо фактора другой фактор, бывший до этого незначимым, может стать значимым. Процесс заканчивается, когда не остается факторов, которые следует исключить из модели.

Не рекомендуется включать в модель очень большое число факторов, так как это может затруднить выявление качественных закономерностей и возрастает опасность включения в модель несущественных случайных факторов. При отборе факторов рекомендуется пользо- ваться правилом: число включаемых факторов в 6-7 раз меньше объема совокупности, по которой строится регрессия. Если это соотношение нарушено, то число степеней свободы оста- точной вариации ( $n-m-1$ ) очень мало [9].

Метод исключения, на взгляд авторов, является наиболее действенным методом для определения оптимального числа показателей.

Схему отбора показателей предлагается строить по следующим этапам, представлен- ным в табл. 1.

**Таблица 1.** Процесс отбора факторов для модели множественной регрессии

Этап	Описание	Результат
1	1.1 Выбор исходного набора факторов для модели	Набор всех возможных факторов
	1.2 Определение корреляционной связи между анализируемыми факторами	Расчёт коэффициентов корреляции между факторами
	1.3 Определение мультиколлинеарности	Если мультиколлинеарность присутствует, то исключение факторов
	1.4 Исключение факторов из модели	Исключение сильно зависимых факто- ров
	1.5 Определение мультиколлинеарности повторно	Если мультиколлинеарность присут- ствует, то исключение факторов

2	2.1 Определение влияния набора факторов на результат	Расчёт коэффициентов корреляции между факторами и результатом
	2.2 Определение типа связи	При слабой связи исключение факторов из модели
3	Расчёт частного F-критерий Фишера	Если фактор не значим, исключение фактора из модели
4	Расчёт критерия Стьюдента	Если параметр не значим исключение фактора из модели
5	Построение модели	

**2. Реализация задачи.** По данной схеме построим модель определения степени устойчивости для конкретного предприятия. Пусть имеется набор показателей деятельности предприятия за  $n$  количество периодов.

**Таблица 2.** Пример подбора факторов в модель

Показатель	1 период	....	n период
Фактор 1	$x_{11}$		$x_{1n}$
Фактор 2	$x_{21}$		$x_{2n}$
...			
Фактор $m$	$x_{m1}$		$x_{mn}$
Результат	$y_1$		$y_n$

Первый этап – определение корреляционной связи между анализируемыми факторами.

Для этого необходимо построить матрицу линейных парных коэффициентов корреляции между факторами и найти ее определитель (1):

$$\begin{array}{cccccc}
 r_{x_1x_1} & r_{x_1x_2} & r_{x_1x_3} & \dots & r_{x_1x_m} \\
 r_{x_2x_1} & r_{x_2x_2} & r_{x_2x_3} & \dots & r_{x_2x_m} \\
 r_{x_3x_1} & r_{x_3x_2} & r_{x_3x_3} & \dots & r_{x_3x_m} \\
 \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\
 r_{x_mx_1} & r_{x_mx_2} & r_{x_mx_3} & \dots & r_{x_mx_m}
 \end{array} \quad (1)$$

Чем ближе к нулю определитель матрицы межфакторной корреляции, тем сильнее мультиколлинеарность факторов и ненадежнее результаты множественной регрессии. И, наоборот, чем ближе к единице определитель матрицы, тем меньше мультиколлинеарность факторов [9].

После построения матрицы парных коэффициентов корреляции определяется наличие мультиколлинеарности и при ее наличии производится сокращение показателей.

Один из двух сильно коррелирующих факторов исключается из множества, на основе которого создается модель для определения вероятности потери степени устойчивости предприятия. Выбор показателя для исключения обусловлен его сильной связью не только со вторым показателем, но и с другими. Это позволит сократить количество показателей без снижения информативности модели. Для составления группировки коэффициентов можно использовать шкалу Чеддока (табл. 2).

Общепринято считать, что если коэффициент корреляции меньше 0,3, связь между показателями слабая, а если больше 0,7, то взаимосвязь двух показателей сильная. Однако выбор оптимальной связи должен учитывать количество показателей в модели, выбор экспертов, масштаб предприятия. Возможно включение факторов в модель показателей со связью не более 0,5.

Если при исключении всех факторов, имеющих сильную связь между собой, определитель матрицы мультиколлинеарности станет более 0,1, то можно переходить к следующему этапу построения линейной зависимости. Если даже после исключения факторов определи-

тель матрицы мультиколлинеарности меньше 0,1, то продолжаем процедуру исключения [10].

**Таблица 3.** Шкала Чеддока оценки коэффициентов корреляции

Коэффициент корреляции	Качественная мера силы связи
1 - 0,9	Весьма высокая
0,9 - 0,7	Высокая
0,7 - 0,5	Заметная
0,5 - 0,3	Умеренная
0,3 - 0	Слабая

Второй этап – определение влияния набора факторов на результат. Для этого необходимо определить коэффициенты парной линейной корреляции между результативным показателем и факторами, оставшимися после исключения.

**Таблица 4.** Определение корреляционной связи между факторами и результатом

Показатель	Значение	Вывод по тесноте связи	Вывод по направлению связи	Исключаем / не исключаем
$r_{yx_1}$	0,95	сильная	прямая	не исключаем
$r_{yx_2}$	- 0,96	сильная	обратная	не исключаем
$r_{yx_3}$	0,3	слабая	прямая	исключаем
...	...	...	...	...
$r_{yx_m}$	- 0,2	слабая	обратная	исключаем

После расчёта коэффициентов парной корреляции исключаем из модели те факторы, которые имеют слабую связь с результативным признаком. Связь будем считать слабой, если коэффициент парной корреляции меньше 0,3.

Третий этап – расчет частного F-критерия Фишера.

Критерий построен на сравнении прироста факторной дисперсии, обусловленного влиянием дополнительно включенного в модель фактора, с остаточной дисперсией на одну степень свободы по регрессионной модели в целом. Если величина частного F-критерия оказывается меньше табличного значения, то дополнительное включение в модель того или иного фактора нецелесообразно.

**Таблица 5.** Определение частного F-критерия Фишера для оценки значимости факторов

Показатель	Значение	Табличное значение F-критерия Фишера	Вывод по значимости	Исключаем / не исключаем
$F_{x_1}$	7,89	2,38	значим	не исключаем
$F_{x_2}$	2,31		не значим	исключаем
$F_{x_3}$	1,94		не значим	исключаем
...	...		...	...
$F_{x_m}$	8,30		значим	не исключаем

Для определения значимости фактора необходимо найти критическое значение из таблицы Фишера, где  $n-m-1$  – это номер строки, а  $m$  – номер столбца. За  $m$  принимается число факторов в модели;  $n$  – число наблюдений. Допустим, что в модели 10 факторов, а выборка составляет 30, тогда за критическое значение принимается 2,38. Все факторы, для которых

частный F-критерий Фишера меньше критического (табличного) значения принимаются не значимыми и исключаются из модели.

Четвертый этап – расчет t-критерия Стьюдента.

Отсев факторов при построении уравнения регрессии методом исключения можно осуществлять не только по частным коэффициентам корреляции, но и по величинам частного F – критерия Фишера и t-критерия Стьюдента. Критерий Стьюдента определяет значимость параметров регрессии при соответствующих факторах, если параметр не значим, значит соответствующий ему фактор можно исключить.

**Таблица 6.** Определение t-критерия Стьюдента для оценки значимости параметров

Показатель	Значение	Табличное значение t-критерия Стьюдента	Вывод по значимости	Исключаем / не исключаем
$t_{b_1}$	2,8	2,09	значим	не исключаем
$t_{b_2}$	1,51		не значим	исключаем
$t_{b_3}$	1,39		не значим	исключаем
...	...		...	...
$t_{b_m}$	2,88		значим	не исключаем

Для определения значимости параметра необходимо найти критическое значение из таблицы Стьюдента, где  $n-m-1$  – это номер строки, а  $\alpha$  – номер столбца (вероятность ошибки задается экспертным путем). За  $m$  принимается число факторов в модели;  $n$  – число наблюдений. Допустим, что в модели 10 факторов, а выборка составляет 30. Вероятность ошибки примем на уровне 5%. Тогда за критическое значение Стьюдента принимается 2,09. Все параметры, для которых расчетное значение критерия Стьюдента меньше критического (табличного) значения принимаются не значимыми, а факторы, им соответствующие, исключаются из модели.

Таким образом, используя такую схему определения оптимального набора факторов, для включения в модель регрессии можно выделить наиболее существенные факторы. Также можно избежать следующих нежелательных последствий при построении модели прогноза:

- Оценки параметров становятся ненадежными. Данная ненадежность выражается через большие стандартные ошибки, в то время как модель в целом представляется значимой, т. е. значение множественного коэффициента корреляции завышено.
- Небольшое изменение исходных данных приводит к существенному изменению оценок параметров модели (показатель неустойчивости).
- Оценки параметров модели имеют неоправданно большие значения, что делает модель непригодной для анализа и прогнозирования.
- Становится невозможным определить изолированное влияние факторов на результирующий показатель.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Воробьев А.А. Идентификация наличия и определение причин кризиса на промышленном предприятии // Проблемы современной экономики. 2014. № 4 (52). С. 127–130.
2. Ковалев А. М. Финансовый менеджмент. Москва. 2004. 443 с.
3. Кендалл М. Дж., А. Стьюарт. Многомерный статистический анализ и временные ряды. Москва. 1976. 736 с.
4. Глазов М.М. Методика финансового анализа: новые подходы. Спб.: Изд-во Санкт-Петербургского государственного университета экономики и финансов. 2011. 164 с.

5. Давыдова Г. В., Беликов А. Ю. Методика количественной оценки риска банкротства предприятий // Управление риском. 1999. № 3 С.13–20 .
6. Пястолов С. М. Экономический анализ деятельности предприятий: учеб. пособие. Москва. 2003. 336 с.
7. Лисицина Е. В. Статистический подход к коэффициентному методу в финансовом экспресс-анализе предприятия // Финансовый менеджмент. 2001. № 1. С. 48–52.
8. Туктарова П. А., Мансурова Ю. Т. Формирование системы показателей деятельности промышленного предприятия в процессе идентификации кризисных явлений // Вопросы экономики и права. 2018. № 4. С. 97-101.
9. Туктарова П. А., Иванова А. Р., Дмитриева И. В., Мансурова Ю. Т. Эконометрический анализ: учебное пособие для студентов очной и заочной форм обучения, обучающихся по направлению подготовки 38.05.01 «Экономическая безопасность» // Уфа: РИК УГАТУ. 2018. 131 с.
10. Мансурова Ю. Т., Туктарова П. А., Телявлиня Г. Р., Фаттахова Э. Р., Сахаутдинова А. Р. Финансовая безопасность хозяйствующих субъектов: учебное пособие для студентов очной и заочной форм обучения, обучающихся по специальности 38.05.01 «Экономическая безопасность» // Уфа: УГАТУ. 2019. 151 с.

**UDK 519.86**

## **FORMATION OF THE INDUSTRIAL ENTERPRISE PERFORMANCE INDICATORS SYSTEM**

**Polina A. Tuktarova**

PhD, Associate Professor chair «Finance, money circulation and economic security»,  
e-mail: [ptuktarova@gmail.com](mailto:ptuktarova@gmail.com)

**Juliya T. Mansurova**

PhD, Associate Professor chair «Finance, money circulation and economic security»,  
e-mail: [mansurova.j@mail.ru](mailto:mansurova.j@mail.ru)

Ufa State Aviation Technical University (USATU),  
450077, Ufa, Rep. Bashkortostan, st. Karl Marx, 12

**Annotation.** To date, the use of a number of models for diagnosing the state of an enterprise is impractical in the conditions of the Russian economy for the following reasons. First, the use of different models leads to conflicting results. Secondly, the predictive accuracy of the models is significantly reduced when using data for the analysis of the financial condition of several years before bankruptcy. Thirdly, foreign models do not take into account the specifics of the economic situation and the organization of entrepreneurship in Russia, which differ, among other things, in the systems of accounting and tax legislation, which is reflected both in the set of factor-signs and in the weight coefficients for them. Fourth, the models use data for one year, and do not take into account changes in indicators over several years. Fifth, the existing models use in their analysis a limited range of indicators that determine liquidity, solvency, profitability and, as a rule, are extended or modified Western models of the 60–80s. XX century. The range of factors that determine the risk of losing the degree of stability is much larger, this necessitates the improvement of models for its assessment by expanding it with additional parameters.

**Keywords:** stability of enterprises, regression, correlation, factors of the regression equation

## **REFERENCES**

1. Vorob'yev A. A. Identifikatsiya nalichiya i opredeleniye prichin krizisa na promyshlennom predpriyatii [Identification of the presence and determination of the causes of the crisis at an

- industrial enterprise] // Problemy sovremennoy ekonomiki = Problems of modern economics. 2014. № 4 (52). Pp. 127–130.
2. Kovalev A. M. Finansovyy menedzhment [Financial management]. Moskva. 2004. 443 p.
  3. Kendall M. Dzh., St'yuart A. Mnogomernyy statisticheskiy analiz i vremennyye ryady [Multivariate statistical analysis and time series]. Moskva. 1976. 736 p.
  4. Glazov M. M. Metodika finansovogo analiza: novyye podkhody [Financial analysis methodology: new approaches]. Spb.: Izd-vo Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo universiteta ekonomiki i finansov = Publishing house of the St. Petersburg State University of Economics and Finance. 2011. 164 p.
  5. Davydova G. V., Belikov Y.U. Metodika kolichestvennoy otsenki riska bankrotstva predpriyatiy [Methodology for quantitative assessment of the risk of bankruptcy of enterprises] // Upravleniye riskom = Risk Management. 1999. № 3. Pp. 13–20.
  6. Pyastolov S. M. Ekonomicheskiy analiz deyatel'nosti predpriyatiy: ucheb. posobiye [Economic analysis of enterprises' activity: textbook. Allowance]. Moskva. 2003. 336 p.
  7. Lisitsina Ye. V. Statisticheskiy podkhod k koeffitsiyentnomu metodu v finansovom ekspress-analize predpriyatiya [Statistical approach to the coefficient method in financial express-analysis of an enterprise] // Finansovyy menedzhment = Financial management. 2001. № 1. Pp. 48–52.
  8. Tuktarova P.A., Mansurova YU. T. Formirovaniye sistemy pokazateley deyatel'nosti promyshlennogo predpriyatiya v protsesse identifikatsii krizisnykh yavleniy [Formation of a system of indicators of the activity of an industrial enterprise in the process of identifying crisis phenomena] // Voprosy ekonomiki i prava = Voprosy ekonomiki i prava. 2018. № 4. Pp. 97-101.
  9. Tuktarova P. A., Ivanova A. R., Dmitriyeva I. V., Mansurova YU. T. Ekonometricheskii analiz: uchebnoye posobiye dlya studentov ochnoy i zaочноy form obucheniya, obuchayushchikhsya po napravleniyu podgotovki 38.05.01 «Ekonomicheskaya bezopasnost'» [Econometric analysis: a textbook for full-time and part-time students studying in the direction of preparation 38.05.01 "Economic security"] / // Ufa: RIK UGATU = RICK UGATU. 2018. 131 p.
  10. Mansurova YU. T., Tuktarova P. A., Telyavlina G. R., Fattakhova E. R., Sakhautdinova A. R. Finansovaya bezopasnost' khozyaystvuyushchikh sub"yektov: uchebnoye posobiye dlya studentov ochnoy i zaочноy form obucheniya, obuchayushchikhsya po spetsial'nosti 38.05.01 «Ekonomicheskaya bezopasnost'» [Financial security of business entities: a textbook for full-time and part-time students studying in the specialty 38.05.01 "Economic security"] Ufa: UGATU. 2019. 151 p.

УДК 004.02, 621.039

**МЕТОДИКА ПОИСКА ОПТИМАЛЬНОЙ КОНФИГУРАЦИИ  
СИСТЕМЫ АТОМНЫХ СТАНЦИЙ С УЧЕТОМ ВЛИЯНИЯ РИСКОВ,  
КАПИТАЛЬНЫХ ЗАТРАТ И УЩЕРБОВ ОТ АВАРИЙ**

**Расторгуев Иван Александрович**

к.ф.-м.н., старший научный сотрудник, e-mail: [rastorguev\\_ia@nrcki.ru](mailto:rastorguev_ia@nrcki.ru)

**Щепетина Татьяна Дмитриевна,**

к.т.н., нач. лаборатории «Перспективных концепций», e-mail: [Schepetina\\_TD@nrcki.ru](mailto:Schepetina_TD@nrcki.ru)

НИЦ «Курчатовский институт»

123182, Москва, пл. Курчатова, д.1,

**Аннотация.** Задача поиска оптимального спектра мощностей атомных реакторов для развивающейся энергосистемы страны с большой долей вклада АС формализована и представлена в виде задачи многокритериальной оптимизации. Оценивается снижение потенциального ущерба от различных факторов риска и затрат на строительство при максимальной выработке электроэнергии. Предложена концепция поиска решения при помощи генетического алгоритма. На основе проведенных расчетов даны рекомендации по оптимизации мощностного ряда реакторных установок (РУ), которые позволят снизить совокупные риски эксплуатации АС при стратегическом планировании.

**Ключевые слова:** атомная энергетика, реакторные установки, единичная мощность блока, безопасность, ущерб, риск, капитальные вложения, минимизация ущерба, эволюционный алгоритм, оптимизация.

**Цитирование:** Расторгуев И.А., Щепетина Т.Д. Методика поиска оптимальной конфигурации системы атомных станций с учетом влияния рисков, капитальных затрат и ущербов от аварий // Информационные и математические технологии в науке и управлении. 2021. № 2 (22). С. 77-88. DOI:10.38028/ESI.2021.22.2.008

**Введение.** Безопасность атомной энергетики как Системы становится трансграничной проблемой всего мирового сообщества. Крупные аварии разного рода стали реальной опасностью существования человечества. Побудительными мотивами для написания статьи стали необходимость анализа тенденций развития атомной энергетики и предполагаемых путей реализации, сопряженных с управленческими решениями и недостаточно системным подходом к учету интегрального риска по жизненному циклу атомных станций (АС).

Очевидно, что стратегии развития могут составляться с разными концептуальными установками, а также с постановкой реальных или ошибочных приоритетов. Задача предложенного материала – с помощью расчетных моделей показать, как учет или неучет различных системных рисков проектов АС, а особенно риска возможного аварийного ущерба при планировании приводят к существенно различным структурным составам АС будущей Системы атомной энергетики и, соответственно, к разным уровням угроз в будущем.

Часто проектировщики строящихся АС «стараятся не замечать» возрастающей технической аварийности, тогда как их главное назначение - видеть всю картину целиком. С учетом множества рисков, окружающих перспективные проекты АС и сопровождающих их по всему жизненному циклу, стратегический выбор состава АС для обеспечения стабильного и безопасного функционирования атомного (и не только) энергокомплекса является многопараметрической и даже междисциплинарной задачей оптимизации. Как правило, есть несколько ключевых параметров/«требований» по экономичности, надежности и безопасности, которые относятся как к финансовым категориям, так и нефинансовым, т.е. «немонетизируемым».

Есть два основных направления/«возможности» развития атомного реакторостроения – сооружение АС с блоками большой мощности (блоки по 700 – 2000 МВт эл.) или АС с РУ малой и средней мощности (соответственно в интервалах 10 – 100 и 300 – 700 МВт эл.). Каждое «требование» и «возможность» имеют свои плюсы и минусы, найти грамотный баланс которых необходимо при стратегическом планировании и определенном целеполагании.

Задача выбора компоновки проектируемой АС осложняется разнонаправленностью требований и средств их удовлетворения: например, стремление построить дешевую АС неизбежно приведет к экономии на системах безопасности. Стремление создать совершенно безопасную АС приводит к её высокой стоимости. Далее вступают в игру показатели стабильности энергоснабжения (необходимый резерв энергосистемы и её устойчивость к внезапным отключениям энергогенерации большой мощности); возможности по приему большой мощности и возможности площадки размещения по отводу сбросного тепла; показатели совокупного риска, квалификация персонала и приемлемость обществом [1] \*), и многие другие показатели. (\*)В английском языке это иногда называют NIMBY – not in my back yard – «Не у меня на заднем дворе».)

**1. Основные определения.** В данном исследовании применен дифференцированный подход к оценке вероятного ущерба от крупной аварии для блоков АС различной мощности в соответствии с «принципом Хаттори» [2], гласящем, что при снижении мощности блока в 10 раз его интегральная безопасность повышается в 1000 раз. Рассмотрены блоки АС условной мощности 1000, 500, 100 и 10 МВт эл.

Обычно под термином «риск» в современном определении понимается либо вероятность неблагоприятного события, либо возможные серьезные последствия такого события или аварии объекта, либо их произведение. Это понятие можно применить тогда, когда вероятность инцидента с большей или меньшей точностью может быть определена и ущерб квантифицирован (оцифрован). Но если рассматриваются комплексные негативные последствия, то квантификации поддается лишь малая их часть и её денежное выражение не будет воспринято как истинное. Что касается вероятности, то не считаются вероятными довольно многие события вплоть до их наступления.

В данном исследовании все категории риска учтены как «возможность неблагоприятного исхода по определенному параметру» и представлены как проценты/баллы, выставленные экспертами при анкетном опросе. Затем значения с наибольшей повторяемостью были введены в качестве исходных данных в оптимизационную программу, описание которой представлено ниже.

**2. Подход к оптимизации.** Задача поиска оптимального набора блоков РУ для выбранного размера Системы АЭ (или как более частный случай – малого государства, изолированной энергосистемы или площадки строительства АС) формализована и представлена в виде задачи многокритериальной оптимизации: снижения потенциального ущерба от различных факторов риска, затрат на строительство при максимальной выработке электроэнергии. Решение задачи было найдено численно, при помощи эволюционного алгоритма.

Известно, что любые сложные задачи, в том числе касающиеся масштабной атомной энергетики, решаются, как правило, в условиях значительных неопределенностей и для этого необходимо применение современных вычислительных технологий.

Существуют различные алгоритмы поиска решения с помощью оптимизационных процедур, например, представленные в Интернете коды PEST [3] и Ostrich [4]. Из-за их долговременных расчётов было решено разработать собственные коды для оптимизации на языке C++ с использованием генетического алгоритма.

Генетические алгоритмы (ГА) [5, 8 - 10] представляют собой адаптивные методы поиска, при которых реализуются эволюционные вычисления, имеющие основой генетические процессы биологических организмов. Они являются одними из самых современных приемов решения многокритериальных оптимизационных задач (МКО). Это эвристический алгоритм поиска, используемый для решения задач оптимизации и моделирования путем последовательного подбора, комбинирования и вариации искомым параметров с помощью механизмов, напоминающих биологическую эволюцию. Отличительной особенностью генетического алгоритма является способ поиска новых точек путем комбинирования и «мутации» наилучших решений-кандидатов. В ГА используются генетические операторы (такие как скрещивание и мутации), реализующие переборную часть ГА, и эволюционный оператор отбора. Смысл параметров зависит от характера решаемой конкретной задачи. Его применение к задачам, связанным с АЭС, было продемонстрировано в [1].

Описание условий применения эволюционного алгоритма для задач МКО при подборе оптимального набора РУ

Основная цель данной задачи – выявить оптимальный по рангу мощности набор реакторных установок (РУ) при следующих условиях. В качестве поискового набора предлагаются 4 ранга РУ:

мощностью 1000 МВт ( $n_1$ ) – тип №1;

мощностью 500 МВт ( $n_2$ ) – тип №2;

мощностью 100 МВт ( $n_3$ ) – тип №3;

мощностью 10 МВт ( $n_4$ ) – тип №4.

Все ранги РУ имеют свои особенности, связанные с капиталовложениями, различными рисками и вероятным ущербом вследствие аварий. Поэтому условия многокритериальной оптимизации (МКО) состоят в нахождении соответствующего набора рангов РУ требуемой суммарной выходной мощности и с минимальными величинами рисков, ущерба и капитальных затрат.

Задача поиска оптимальных конфигураций системы РУ может быть представлена в виде оптимизационной задачи  $F(\vec{n}) \rightarrow \min$ , где  $\vec{n}$  – вектор входных параметров, т. е. набора возможных РУ разных типов ( $n_1, n_2, n_3, n_4$ ), каждая из которых обладает своим набором функций рисков/ущерба/затрат.

Целевая функция  $F(\vec{n})$  представляет собой в данном случае «вектор целей». Он строится как набор функций с учетом требований к оптимальности системы при условии их одинаковой важности (в данном случае – это максимальная выработка электроэнергии при минимально возможном уровне рисков/ущерба/затрат). Таким образом, имеет место задача многокритериальной оптимизации (МКО) [5, 6, 11 - 16].

$$\begin{aligned}
 &F(\vec{n}) \rightarrow \min \\
 &\vec{n} = (n_1, n_2, n_3, n_4) \\
 &n_{1,2,3,4} \in D \\
 &0 \leq n_1 \leq N_1, \\
 &0 \leq n_2 \leq N_2, \\
 &0 \leq n_3 \leq N_3, \\
 &0 \leq n_4 \leq N_4,
 \end{aligned} \tag{1}$$

Многокритериальная оптимизация представляет собой минимизацию некоего вектора целей  $F(x)$ , при этом могут быть наложены дополнительные ограничения или предельные значения:

Где  $N_{1-4}$  максимально-допустимое количество РУ определенного типа.

Поскольку  $F(\vec{n})$  – это вектор, любые его компоненты являются конкурирующими, поэтому единого решения поставленной задачи нет. Взамен этого для описания характеристик целей вводится концепция множества неулучшаемых решений – оптимальность по Парето [5].

Оптимальность по Парето – это такое состояние некоторой системы, при котором значение каждого показателя (ущерб, риск, капитальные затраты), характеризующего систему, не может быть улучшено без ухудшения других.

Множество Парето представляет собой весь набор оптимальных решений (набора РУ) с минимальной функцией качества или функцией качества, удовлетворяющей определенным критериям с точки зрения критериев риска, ущерба, капитальных затрат.

Методики поиска неулучшаемых решений в многокритериальной оптимизации разнообразны. Среди наиболее используемых методов можно выделить стратегию взвешенных сумм, метод эpsilon-ограничений, метод достижения цели и др. Наиболее распространенный способ решения задачи многокритериальной оптимизации – сведение ее к задаче скалярной оптимизации, т. е. построение скалярной функции, минимум которой соответствует точке неулучшаемого решения исходной многокритериальной задачи.

При поиске оптимального набора рангов РУ при были выделены следующие критерии **оптимальности**:

наименьший ущерб –  $F_1(\vec{n})$ ;

наибольшая производящая мощность набора РУ –  $F_2(\vec{n})$ ;

наименьшие риски –  $F_3(\vec{n})$ ;

наименьшие затраты –  $F_4(\vec{n})$ .

Как уже было сказано,  $\vec{n}$  – набор РУ различных рангов мощности. Большинству анализируемых критериев оптимальности в дальнейшем будет назначена система оценок. За неимением опытного распределения этих величин будут назначены характерные показатели, определяющие тот или иной вес критерия по балльной системе, априори заданной на основе экспертных оценок.

*Балльная оценка ущерба.* Балльная система оценки ущерба соотносится с каждым из рангов РУ и характеризует ущерб в результате его аварии. Априори предполагается, что ущерб от аварии РУ большой мощности существенно выше, чем ущерб от аварии РУ меньшей мощности. Задается выражением  $U = x \cdot K \cdot P$ ,  $x$  – коэффициент, характеризующий тяжесть последствий – может быть выбран от 1 до 100 по усмотрению исследователя согласно литературным данным [5] по оценке ущерба от аварий на АС,  $K$  – капитальные затраты на блок определенной мощности;  $P$  – вероятность запроектной аварии, расчетное значение вероятности берется согласно проектным данным вероятностного анализа безопасности или экспертно при их отсутствии.

*Количественная оценка затрат.* Закладывается, как совокупность всевозможных инвестиций для строительства АС. Учитывает стоимость оборудования, монтажа, строительства, изысканий, проектных и исследовательских работ, т.е. капитальная стоимость строительства.

Предварительная экспертная оценка групп рисков. Балльная система оценки характеризует различные группы рисков/вызовов и показана в таблице 1. В данный момент риски систематизированы по 6 группам – экономика, безопасность, воздействие на окружающую среду (ОС), риски от отработавшего ядерного топлива (ОЯТ) и радиоактивных отходов (РАО), инфраструктура, нераспространение ядерных материалов. Каждой из групп для оценки их взаимовлияния на общий показатель риска задан определенный вес.

**Таблица 1.** Балльная оценка рисков/вызовов для основных групп и показателей с интервалами неопределенности для четырех рангов мощности блоков АС

Критерии	Весы по группам	АС БМ (В-1000)	АС СМ (В-500)	АС ММ (В-100)	АС ММ (В-10)
<b>Экономика</b>	<b>0,1-0,7</b>	<b>20</b>	<b>30</b>	<b>40</b>	<b>40</b>
Капитальная составляющая стоимости э/э		10-20	40-60	70-90	70-90
Эксплуатационная составляющая стоимости э/э		40-60	30-50	20-30	10-20
Найти инвестора		90-70	40-60	7-15	5-10
Срок строительства		90-80	50-60	5-10	1-5
Страхование имущественное		100-95	40-60	1-5	1-2
Экспортные возможности		70-50	10-20	1-5	1-2
<b>Безопасность</b>	<b>0,2-0,7</b>	<b>70</b>	<b>50</b>	<b>10</b>	<b>5</b>
Пассивные системы		80-90	40-50	5-10	1-5
Последствия тяжелой аварии		70-90	60-40	5-10	5-10
Останов по общей причине (упущенная выгода)		70-80	60-40	1-5	1-5
Физическая безопасность		10-20	40-60	10-20-30	10-20-30
<b>Воздействие на ОС</b>	<b>0,1-0,2</b>	<b>70</b>	<b>40</b>	<b>5</b>	<b>1</b>
Наличие площадок		70-80	40-60	1-5	1-2
Диверсификация СТВС		70-80	20-30	3-5	1-3
<b>Радиационные от ОЯТ и РАО</b>	<b>0,2-0,3</b>	<b>70</b>	<b>50</b>	<b>10</b>	<b>5</b>
Обращение		80-90	40-60	10-20	5-10
Восприятие новых видов топлива		70-90	40-60	5-10	5-10
Вывод из эксплуатации		80-90	40-60	10-15	10-15
Приемлемость обществом		60-70	40-60	5-10	5-10
<b>Инфраструктура</b>	<b>0,1-0,5</b>	<b>20</b>	<b>40</b>	<b>10</b>	<b>5</b>
Институциональная среда		10-20	50-70	80-90	80-90
Материально-техническая		40-50	40-60	1-5	1-5
Сетевая приемлемость		80-90	30-40	0-5	0-1
Неэлектрическое применение		90-80	40-50	1-5	1-5
Контур преобразования энергии		95	50	1-5	1-5
<b>Нераспространение ЯМ</b>	<b>0,1-0,05</b>				
Специфика топливного цикла		40-50	40-50	10-20	10-20

Критерии оптимальности  $F_{1-4}$  вычисляются по формулам:

$$\begin{aligned}
 F_1 &= \min \left| \sum_{i=1}^4 n_i d_i \right|, \\
 F_2 &= \min \left| P - \sum_{i=1}^4 n_i p_i \right|, \\
 F_3 &= \min \left| \sum_{i=1}^4 \sum_{j=1}^6 n_i w_j r_{ij} \right|, \\
 F_4 &= \min \left| \sum_{i=1}^4 n_i c_i \right|,
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

Где  $d_i$  - величина ущерба от определенного ранга РУ;

$p_i$  - величина мощности определенного ранга РУ;

$r_{ij}$  - показатель j-ой группы риска для определенного ранга РУ;

$w_j$  - вес j-ой группы риска;

$c_i$  - капитальные затраты на строительство определенного ранга РУ.

Общий процесс МКО может быть произведен для всех функций  $F_{1-4}$  и записан следующим образом:

$$\Phi = \min(\alpha_1 F_1 + \alpha_2 F_2 + \alpha_3 F_3 + \alpha_4 F_4) \quad (3).$$

Где  $\alpha_{1-4}$  весовые коэффициенты, отражающие удельный вес величин той или иной функции. Их (весовые коэффициенты  $\alpha_{1-4}$ ) предстоит задавать, чтобы обезразмерить сумму функций и исследовать отдельно влияние той или иной функции на общий процесс МКО:

$\alpha_1$  - весовой коэффициент для функционала ущербов -  $F_1$ ;

$\alpha_2$  - весовой коэффициент для функции, отвечающей за суммарную мощность всего набора РУ -  $F_2$ ;

$\alpha_3$  - весовой коэффициент для функции, отвечающей за интегральный риск для всего набора РУ -  $F_3$ ;

$\alpha_4$  - весовой коэффициент для функции, отвечающей за инвестиционные затраты на строительство блока -  $F_4$ .

Даже в условиях небольшого диапазона изменения каждого из входных параметров  $(n_1, n_2, n_3, n_4)$  число вариантов, которое нужно было бы просчитать для отыскания «самого оптимального» набора РУ простым перебором, равно  $n_1 * n_2 * n_3 * n_4$  и слишком велико.

В подобных условиях для ускорения поиска решения, когда необходимо выполнить численную оптимизацию функции в пространстве большой размерности, часто предпочтение отдается генетическому (или эволюционному) алгоритму.

По принципу действия ГА - это в первую очередь эволюционный алгоритм. Основная особенность алгоритма - скрещивание (комбинирование) полученных результатов. Сама идея алгоритма взята у природы. Путем перебора и отбора получается правильная и наиболее оптимальная «комбинация». Алгоритм (рис. 1) делится на три этапа: скрещивание, селекция (отбор) и формирование новой популяции. Если результат работы ГА не устраивает, эти этапы повторяются до тех пор, пока результат не начнет удовлетворять или произойдет одно из ниже перечисленных условий:

- количество поколений (циклов) достигнет заранее выбранного максимума;
- будет достигнуто минимальное значение функции качества  $< \varepsilon$ .

Далее следует более детально сказать об этапах работы ГА.

Создание начальной популяции. На этом шаге создается начальная популяция, которая, вполне возможно, окажется совсем не оптимальной, однако в дальнейшем алгоритм эту проблему должен исправить. Главное, чтобы популяция соответствовала заданному «формату» (соответствовала диапазону заданной конфигурации рангов РУ).

**Скрещивание.** Для этого используются 2 особи текущей популяции так, чтобы следующая особь могла унаследовать у родителей их черты. Для выбора родительских особей выбираются все особи из популяции.

**Мутация.** Мутация схожа со скрещиванием. Для получения мутирующих особей выбирают некоторое количество особей из популяции и изменяют их в соответствии с заранее определенными критериями.

**Селекция.** Финальный этап. Выбираются из популяции (мутировавших и скрещенных особей) те, кто «пойдет дальше». При этом доля «выживших» после отбора определяется заранее и задается в виде параметра. Лишние особи отбрасываются.

Для решения задачи (3) при помощи генетического алгоритма была написана специальная программа алгоритм которой приведен на рис. 1.

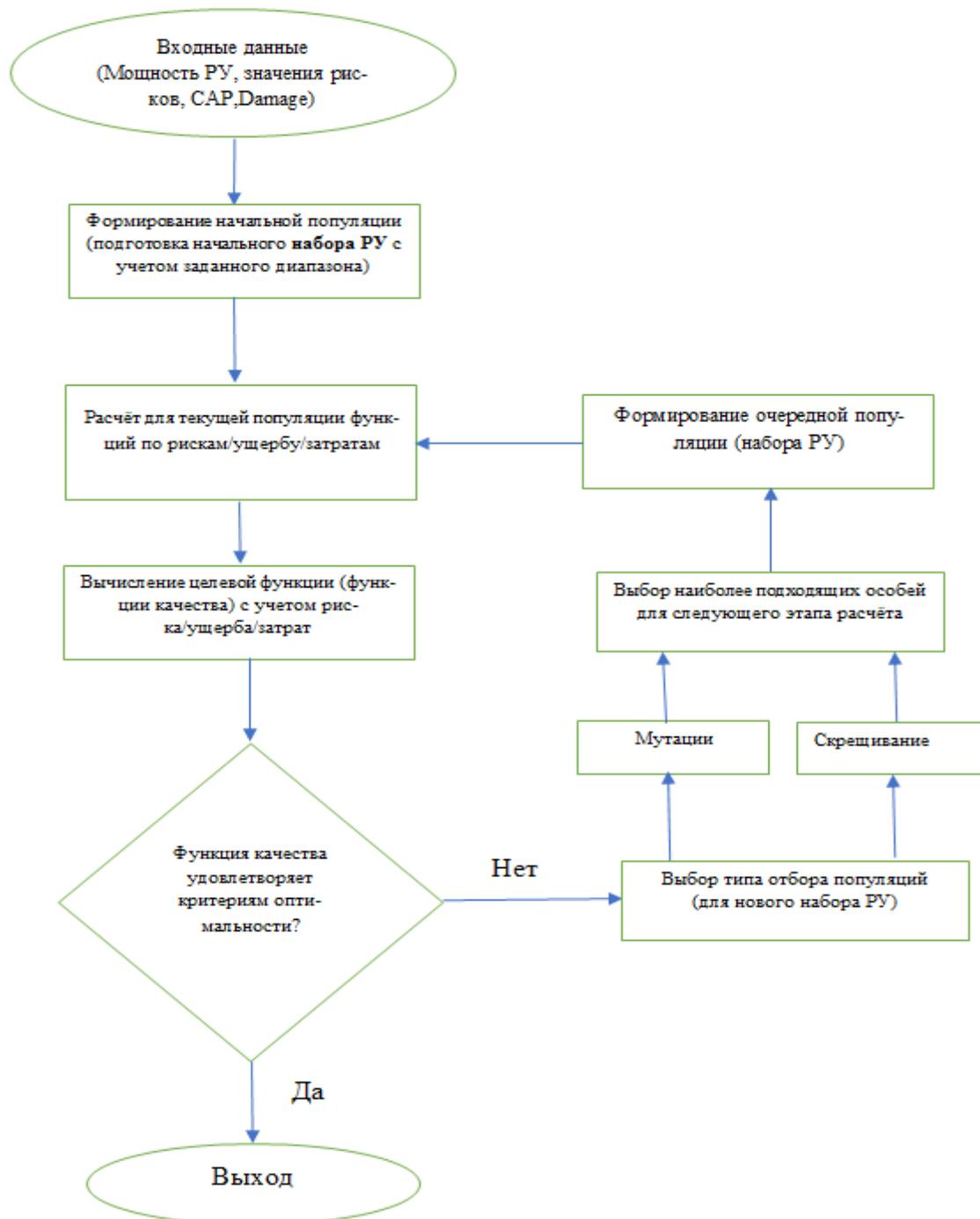


Рис. 1. Схема работы алгоритма МКО-ГА для поиска оптимальной конфигурации РУ

Пример расчета оптимальной конфигурации системы РУ.

Приведенные далее численные результаты МКО иллюстрируют качественно-понятные и интуитивно ожидаемые результаты конфигурации мощностной инфраструктуры системы АЭ при сочетании означенных рисков и приоритетов.

В качестве примера рассматривается задача подбора оптимальной конфигурации мощностей РУ для системы АС с выработкой 15 000 МВт электрической мощности. В качестве возможных вариантов рассматриваются 4 ранга РУ с мощностью 1000, 500, 100 и 10 МВт эл. Остальные входные параметры для расчёта приведены в таблице 2.

**Таблица 2.** Входные параметры для МКО определения набора РУ

Параметр		Вес групп, $w_j$	Ранг РУ по мощности, $p_i$ , МВт			
			1000	500	100	10
Балльные оценки рисков по группам, $g_j$	Экономика	0,1-0,7	20	30	40	50
	Безопасность	0,2-0,7	70	50	10	1
	Воздействие на окружающую среду	0,1-0,2	70	40	5	1
	ОЯТ и РАО	0,2-0,3	70	50	10	1
	Инфраструктура	0,1-0,5	20	40	10	1
	Нераспространение ядерных материалов	0,05-0,1	50	50	5	2
Удельные капитальные затраты, у.е., $c_i$			$5 \cdot 10^3$	$10^4$	$15 \cdot 10^3$	$20 \cdot 10^3$
Ущерб×Вероятность, у.е., $d_i$			$2 \cdot 10^{11} \times 5 \cdot 10^{-7} = 10^5$	$7 \cdot 10^{10} \times 5 \cdot 10^{-8} = 3,5 \cdot 10^3$	$2 \cdot 10^9 \times 5 \cdot 10^{-9} = 10$	1

Целевые приоритеты и предпочтения построения системы устанавливаются через назначение коэффициентов важности  $\alpha_1, \alpha_3, \alpha_4$  соответствующих критериев безопасности, риска и экономичности (табл. 3). Для этих параметров задан диапазон изменений от 0 до 4-х, где 0 – отсутствие влияния данной величины, 4 – максимальное влияние. Для параметра  $\alpha_2$  всегда задается максимальная величина 4, т.е. соблюдение требуемой мощности системы РУ (15 000МВт).

В качестве калибровочных рассмотрены два противоположных по смыслу варианта для иллюстрации качественно-понятных результатов – превалирование капитальных затрат (приоритет «минимальная стоимость», весовые коэффициенты  $\alpha_{1-4}$ , увеличивающие влияние той или иной функции качества, задаются следующим образом:  $\alpha_1 = 4, (\alpha_2 = 4), \alpha_3 = 0, \alpha_4 = 0$ ); и превалирование ущерба (приоритет «максимальная безопасность», весовые коэффициенты:  $\alpha_1 = 0, (\alpha_2 = 4), \alpha_3 = 0, \alpha_4 = 4$ ), результаты которых представлены в строках 1 и 2 табл. 3.

Вариант № 3 с превалированием совокупного риска в чистом виде нельзя считать калибровочным, так как этот параметр имеет много возможных вариаций с непредсказуемым заранее результатом и множество этих результатов являются основным объектом исследования.

Приведенные в табл. 3 численные результаты оптимизации иллюстрируют интуитивно ожидаемую инфраструктуру АЭ при сочетании указанных рисков и приоритетов: в первом случае при приоритете экономичности строительства оптимальны РУ большой мощности с наименьшей удельной стоимостью; при включении влияния параметра ущерба (вариант № 2) оптимальны оказались РУ малой мощности. Результаты расчётов приведены для лучших (по сходимости расчетов) конфигураций системы АЭ с РУ разной мощности, что объясняет количественный разброс числа представленных решений (от 1 до 4 решений по вариантам).

Путем изменения весовых коэффициентов параметров можно рассмотреть мощностной ряд системы АС с разным уровнем приоритетов ( $\alpha_i = 4$ ) или предпочтений ( $\alpha_i = 2$  или 3), выставляемых лицами принимающими решения, начиная от экстремальных, например,

предпочтение экономичности перед другими критериями (в-т. 4), предпочтение безопасности (в-т. 5), или совокупному риску перед другими (в-т. 6), или когда все факторы равноважны (в-т. 7, 8), или наоборот – пренебрежимы (в-т. 9). Расчетный алгоритм также позволяет варьировать весомость разных групп рисков.

**Таблица 3.** Итоги расчёта мощностного спектра РУ ( $n_i$ ) для вариантов с приоритетами и преимуществами при заданной мощности системы 15 ГВт

Степень важности критериев	№ вар.	Критерии	Коэф-ты важности ущерб/риск/затраты $\alpha_1 / \alpha_3 / \alpha_4$	Ранг мощности блока, МВт			
				1000	500	100	10
Приоритет критерия:	1	Экономика	0/0/4	14	2	0	0
				13	4	0	0
	2	Безопасность	4/0/0	0	0	137	130
	3	Риск	0/4/0	0	0	127	230
Преимущество критерия:	4	Экономика	2/2/4	0	30	0	0
				1	28	0	0
				2	26	0	0
	5	Безопасность	4/2/2	0	0	149	17
	6	Риск	2/4/2	0	2	140	0
Равнозначность критериев	7	Равноважны	все=4	0	0	148	32
	8	Равнозначны	все=2	0	1	143	20
				1	1	144	22
	9	Пренебрежимы	все=0	6	0	85	50
				8	8	7	230
				2	5	98	70
			7	11	20	50	

Примечание:  $\alpha_2 = 4$  для всех вариантов.

Для некоторых вариантов приведены несколько близких к оптимуму решений.

**Заключение.** Применение методов математического моделирования для поддержки принятия решений на разных уровнях управления энергетическим комплексом страны имеет большой научный и практический потенциал. При этом нахождение и применение новых подходов к оптимизации обогащает этот опыт и открывает новые сферы применения. Рассмотренный в статье генетический алгоритм применительно к проблеме нахождения оптимального спектра мощностей атомных реакторов с учетом глобальных рисков, затрат и выгод показал, что возможно добиваться снижения рисков управленческими решениями при использовании многокритериального подхода при разработке стратегий. В условиях смены концепций и переосмысления энергетического уклада появляется аргументированная основа перехода к локальной и распределенной энергогенерации, как эффективного пути снижения потерь в тепло- и электро-сетях; упрощения инфраструктурных проблем.

Помощь результатов оптимизационных исследований для смещения интереса проектировщиков в сторону использования блоков средней и малой мощности позволит создать своего рода «превентивную страховку» от возникновения тяжелых ядерных аварий с крупными ущербами экономике, здоровью, окружающей среде (в отличие от традиционной страховки после инцидента). Также это направление атомной энергетики позволит расширить зоны применимости АЭ в региональной энергетике и, соответственно, рыночные

ниши. Но всё же основная преследуемая цель такой структурной переориентации – снижение совокупного риска развивающейся широкомасштабной Системы АЭ.

**Благодарности.** Работа выполнена при поддержке гранта НИЦ «Курчатовский институт» (№ 2220 от 23.10.2020)

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Locatelli, G. and Mancini, M. The role of the reactor size for an investment in the nuclear sector: an evaluation of not-financial parameters./ ELSEVIER Ltd. Progress in Nuclear Energy. 2011. 53 (2). Pp. 212–222
2. Energy source for human demand. Sadao Hattori /in Advanced Nuclear Systems Consuming Excess Plutonium/ Kluwer Academic Publishers, Netherlands. 1997. Pp. 69 – 77.
3. Домашняя страница оптимизационного модуля PEST. Режим доступа: <https://pesthhomepage.org/software> (дата обращения 20.04.2021).
4. Домашняя страница оптимизационного модуля Ostrich. Режим доступа: <https://www.civil.uwaterloo.ca/envmodelling/Ostrich.html> (дата обращения 20.04.2021).
5. Кононюк А.Е. Дискретно-непрерывная математика. Учебное пос. Кн. 5. Ч. 3. Киев: Освіта України. 2012. 520 с.
6. Е. В. Волкова, И. А. Расторгуев, А. В. Расторгуев. Численное моделирование для обоснования системы инженерной защиты г. Казани. Водоснабжение и санитарная техника. 2010. №12.
7. Саркисов А.А. Феномен восприятия общественным сознанием опасности, связанной с ядерной энергетикой //Научно-технические ведомости СПбГПУ. 2012 г. №3-2(154). С. 9-21.
8. Догов А.А. Разработка и применение алгоритмов, методов и средств компоновки технологического оборудования и организации помещений АЭС - АО ИК «АСЭ» (АО «НИАЭП»). Режим доступа: <http://www.innov-rosatom.ru/vertical/niaep/89c97b30fb4919d2317397df639bccab.pdf> (дата обращения 20.04.2021).
9. Ю.Б. Воробьев, П. Кудинов, М. Ельцов, К. Кёоп, К.Н. Чыонг Ван. Применение информационных технологий (генетические алгоритмы, нейронные сети, параллельные вычисления) в анализе безопасности АЭС // Труды Института системного программирования РАН, .с. 137 – 156. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/v/primenenie-informatsionnyh-tehnologiy-geneticheskie-algoritmy-neyronnye-seti-parallelnye-vychisleniya-v-analize-bezopasnosti-aes> (дата обращения 20.04.2021).
10. Емельянов В. В., Курейчик В. В., Курейчик В. М. Теория и практика эволюционного моделирования. М.: Физматлит. 2003.
11. Баланин А.Л., Гроль А.В., Гурин А.В., Крылов Д.А., Невиница В.А., Теплов П.С., Фомиченко П.А., Марова Е.В., Маслов А.М., Шепелев С.Ф. Развитие многокритериальных подходов к оценке конкурентоспособности электростанций с атомным и неатомным энергоисточником // Энергетические установки и технологии. 2018. 4(4). С. 67-82.
12. Б.И. Яцало, С.В. Грицюк, В.И. Диденко. Система многокритериального анализа решений DecernsMCDA и ее практическое применение // Программные продукты и системы. 2014г. № 2.
13. В.А. Шакиров, П.С. Панкратьев. Методика многокритериального двухуровневого анализа пунктов размещения электростанций //Искусственный интеллект и принятие решений. 1/2017.

14. Кравченко Т.К., Авдеев Ю.В. Развитие систем поддержки принятия решений с использованием метода PROMETHEE // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2010. № 9. С. 67-70.
15. Е.А. Елтаренко. Оценка и выбор решений по многим критериям. Учебное пособие. Москва. МИФИ. 1995. 111с.
16. Methodology for the assessment of innovative nuclear reactors and fuel cycles. Report of Phase 1B (first part) of the International Project on Innovative Nuclear Reactors and Fuel Cycles (INPRO). Vienna: IAEA. 2004. IAEA-TECDOC-1434.

---

UDK 004.02, 621.039

**METHODOLOGY OF SEARCHING FOR THE OPTIMAL CONFIGURATION OF A NUCLEAR PLANT SYSTEM TAKING INTO ACCOUNT THE INFLUENCE OF RISKS, CAPITAL COSTS AND DAMAGE FROM ACCIDENTS**

**Ivan A. Rastorguev**

Ph.D., senior researcher, e-mail: [rastorguev\\_ia@nrcki.ru](mailto:rastorguev_ia@nrcki.ru)

**Tatiana D. Shchepetina**

Ph.D., head of laboratory "Perspective Concepts" e-mail: [Schepetina\\_TD@nrcki.ru](mailto:Schepetina_TD@nrcki.ru)

National Research Center "Kurchatov Institute"

123182, Moscow, sq. Kurchatova, 1

**Annotation.** The problem of finding the optimal power spectrum of nuclear reactors for the projecting power system for the whole country is presented. It considers a large contribution of NPP and formalized in the form of a multicriteria optimization problem. Potential damage reduction from various risk factors and construction costs at maximum power generation is estimated. The genetic algorithm is proposed as solver algorithm. Recommendations are given for optimizing the power range of reactor plants on the basis of the performed calculations and reduce the overall risks of NPP operation during strategic planning.

**Keywords:** nuclear power, reactor plants, power capacity of a unit, safety, damage, risk, capital investments, damage minimization, evolutionary algorithm, optimization.

**Acknowledgments.** This work was supported by a grant from the National Research Center "Kurchatov Institute" (No. 2220 dated 23.10.2020)

REFERENCES

1. Locatelli, G. and Mancini, M. The role of the reactor size for an investment in the nuclear sector: an evaluation of non-financial parameters./ ELSEVIER Ltd. Progress in Nuclear Energy. 2011. 53 (2). Pp. 212-222
2. Energy source for human demand. Sadao Hattori /in Advanced Nuclear Systems Consuming Excess Plutonium/ Kluwer Academic Publishers, Netherlands. 1997. Pp. 69 - 77.
3. Homepage of PEST optimization module. Available at: <https://pesthomepage.org/software> (accessed 20.04.2021).
4. Homepage of optimization module Ostrich. Available at: <https://www.civil.uwaterloo.ca/envmodelling/Ostrich.html> (accessed 20.04.2021).
5. Kononyuk A.E. Diskretno-nepreryvnaya matematika. Uchebnoe pos. Kn. 5. CH. 3. [Discrete-continuous mathematics. Educational encyclopedia. Book 5. Part 3.] Kiev: Osvita Ukrainy. 2012. 520 p.
6. E. B. Volkova, I. A. Rastorguev, A. V. Rastorguev. Chislennoe modelirovanie dlya obosnovaniya sistemy inzhenernoj zashchity g. Kazani. [Numerical modeling for

- justification of engineering protection system of Kazan]. *Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika* =Water supply and sanitary engineering. 2010. № 12.
7. Sarkisov A.A. Fenomen vospriyatiya obshchestvennym soznaniem opasnosti, svyazannoy s yadernoj ener-getikoj [Phenomenon of Public Perception of Danger Associated with Nuclear Power Engineering] // *Nauchno-tekhnicheskie vedomosti SPbGPU* = Scientific and Technical Bulletin of Saint Petersburg State Polytechnic University. 2012 г. №3-2(154). Pp. 9-21.
  8. A.A. Dogov. Razrabotka i primeneniye algoritmov, metodov i sredstv komponovki tekhnologicheskogo oborudovaniya i organizatsii pomeshchenij AES - AO IK «ASE» (AO «NIAEP»). [Development and Application of Algorithms, Methods and Means of Layout of Technological Equipment and Organization of NPP Premises - JSC NIAEP]. Available at: [http://www.innov-rosatom.ru/vertical/niaep\\_/89c97b30fb4919d2317397df639bccab.pdf](http://www.innov-rosatom.ru/vertical/niaep_/89c97b30fb4919d2317397df639bccab.pdf) (accessed 20.04.2021).
  9. Y.B. Vorobyov, P. Kudinov, M. Eltsov, K. Koop, K.N. Truong Van. Primeneniye informatsionnykh tekhnologiy (geneticheskie algoritmy, nejronnye seti, parallel'nye vychisleniya) v analize bezopasnosti AES. [The Application of Information Technologies (Genetic Algorithms, Neural Networks, Parallel Computing) in Analysis of NPP Safety] // *Trudy Instituta sistemnogo programmirovaniya RAN* = Proc. Pp.137 - 156. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/v/primeneniye-informatsionnykh-tehnologiy-geneticheskie-algoritmy-nejronnye-seti-parallelnye-vychisleniya-v-analize-bezopasnosti-aes> (accessed 20.04.2021).
  10. Emelyanov V.V., Kureichik V.V., Kureichik V.M. Teoriya i praktika evolyucionnogo modelirovaniya [Theory and practice of evolutionary modeling]. Moscow: Fizmatlit. 2003.
  11. Balanin A.L., Grol A.V., Gurin A.V., Krylov D.A., Nevinitza V.A., Teplov P.S., Fomichenko P.A., Marova E.V., Maslov A.M., Shepelev S.F. Razvitiye mnogokriterial'nykh podhodov k ocenke konkurentosposobnosti elektro-stancij s atomnym i neatomnym energoistochnikom [Development of multi-criteria approaches to assessing the competitiveness of power plants with nuclear and non-nuclear power sources] // *Energeticheskie ustanovki i tekhnologii* = Power Plants and Technologies. 2018. 4(4). Pp. 67-82.
  12. B.I. Yatsalo, S.V. Gritsyuk, V.I. Didenko. Sistema mnogokriterial'nogo analiza reshenij DecernsMCDA i ee prakticheskoe primeneniye [DecernsMCDA multicriteria solution analysis system and its practical application] // *Programmnye produkty i sistemy* = Software products and systems. 2014. № 2.
  13. V.A. Shakirov, P.S. Pankratiev. Metodika mnogokriterial'nogo dvuhurovneвого analiza punktov razmeshcheniya elek-trostantsij [Methodology of multi-criteria two-level analysis of power plant locations] // *Iskusstvennyj intellekt i prinyatie reshenij* = Artificial Intelligence and Decision Making. 1/2017.
  14. Kravchenko T.K., Avdeev Yu.V. Razvitiye sistem podderzhki prinyatiya reshenij s ispol'zovaniem metoda PROMETHEE [Development of decision support systems using PROMETHEE method] // *Aktual'nye problemy gumanitarnykh i estestvennykh nauk* = Actual problems of the humanities and the natural sciences. 2010. № 9. Pp. 67-70.
  15. E.A. Eltarenko. Ocenka i vybor reshenij po mnogim kriteriyam. Uchebnoe posobie [Evaluation and choice of decisions by multiple criteria. Tutorial]. Moscow. MEPHI. 1995. 111p.
  16. Methodology for the assessment of innovative nuclear reactors and fuel cycles. Report of Phase 1B (first part) of the International Project on Innovative Nuclear Reactors and Fuel Cycles (INPRO). Vienna: IAEA. 2004. IAEA-TECDOC-1434.

УДК 004.056

## ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ КОНКУРЕНЦИИ ДВУХ ФИРМ С УЧЕТОМ ИХ ВЗАИМНОЙ ОСВЕДОМЛЕННОСТИ

**Борисоглебская Лариса Николаевна**

д. э. н., к.т.н., профессор, проректор по научной и проектно-инновационной деятельности,  
e-mail: [boris-bleb@rambler.ru](mailto:boris-bleb@rambler.ru),

**Данилевич Денис Владимирович**

к.т.н., директор Инжинирингового центра технологий цифровой среды для обеспечения комплексной безопасности телекоммуникации, средств связи и энергоэффективности  
e-mail: [ddanilevich@yandex.ru](mailto:ddanilevich@yandex.ru),

**Пахолкин Евгений Васильевич**

к.т.н., начальник отдела сопровождения НИОКР  
e-mail: [eugene\\_p@bk.ru](mailto:eugene_p@bk.ru),

Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева,  
302026 г. Орел, ул. Комсомольская, д. 95.

**Сергеев Сергей Михайлович**

к.т.н., старший научный сотрудник, доцент  
e-mail: [sergeev2@yandex.ru](mailto:sergeev2@yandex.ru)

Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева,  
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,  
195251 г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29.

**Аннотация.** Исследование посвящено математическому моделированию ситуации конкурентного присутствия в рамках рыночной дуополии. Рассматривается ситуация чистой конкуренции и вариант взаимной осведомленности о стратегии конкурента. Результаты исследования имеют практическое значение для деятельности Инжинирингового центра технологий цифровой среды для обеспечения комплексной безопасности телекоммуникации, средств связи и энергоэффективности Орловского государственного университета им. И.С. Тургенева. Основные положения могут применяться при выборе стратегии поведения на рынке стратегически важных инновационных продуктов. Представленные в рамках данного исследования материалы и математическая модель, разработанные в соответствии с программой деятельности Инжинирингового центра, созданного на базе ОГУ им. И.С. Тургенева, по направлению технологий цифровой среды для обеспечения комплексной безопасности телекоммуникации, средств связи и энергоэффективности дают возможность осуществить прогнозный расчет экономически важных показателей и сопутствующих издержек в условиях конкурентного окружения.

**Ключевые слова:** информация, конкуренция, инновации, экономика.

**Цитирование:** Борисоглебская Л. Н., Данилевич Д. В., Пахолкин Е. В., Сергеев С. М. Постановка задачи исследования конкуренции двух фирм с учетом их взаимной осведомленности // Информационные и математические технологии в науке и управлении. 2021. № 2 (22). С. 89-93. DOI:10.38028/ESI.2021.22.2.009

**Введение.** Базовый мировой тренд консолидации предприятий как в производственной, так и в других сферах, будет сохраняться долгое время [1]. Достаточно обратиться к примерам таких известных игроков на рынке коммерческих сетей, как Wal-Mart Stores Inc - масштабная ритейлерская сеть, G4S plc - крупнейшая сеть оказания услуг безопасности и облачный хостинг Amazon. Всех этих участников коммерческой деятельности отличает не только огромное влияние на экономику и социальную сферу, но и постоянная работа в направлении защиты информации и сохранения коммерческой тайны. Такое укрупнение бизнеса отличается возросшим уровнем ответственности за разработку комплекса долгосрочных мер и подходов в рамках стратегического менеджмента, реализация функций которого является еди-

ной для входящих в коммерческие сети предприятий. При этом соответственно возрастают риски, обусловленные возможной утечкой важной для коммерческой деятельности информации, являющейся конфиденциальной. Одновременно издержки, связанные с принятием мер по защите информации, относятся к балансу убытков. Задачей исследования является поиск рационального соотношения расходов на меры по защите информации и сохранения конкурентных позиций в целевом сегменте бизнеса. Актуальность данной области исследования инжинирингового центра обусловлена действующими рамками Национальной программы «Цифровая экономика Российской Федерации» [2], а также направленностью результатов на решение конкретных практических задач.

**1. Направление исследования.** При формировании бизнес-планов и в целом прогнозном планировании, основной проблемой является недостаток сведений о рынке сбыта, о динамике спроса и стратегиях конкурентов. Решение этих вопросов лежит в области применения научно-обоснованных методик, математического моделирования и методов стохастической оптимизации [3]. При формировании ассортиментной матрицы необходимо тщательное планирование в рамках выбора стратегии выхода на рынок с инновационным продуктом. Такое решение меняет не только структуру потребительского спроса, но и сегментацию рынка [4]. В любом случае замена прежних технологий и поколений продуктов инновациями является драйвером коммерции. Вместе с тем, отсутствуют гарантии устойчивости любой экономической системы на продолжительном плановом горизонте. С другой стороны, единое руководство сетевых структур и тиражирование менеджмента способствуют разработке математически обоснованных решений системного управления [5]. Прогнозирование спроса на базе маркетингового мониторинга дают значимую оценку объема сбыта и финансовых показателей. При этом для поиска стратегических решений менеджеров на конкурентном рынке могут применяться игровые задачи.

**2. Постановка задачи.** Рассматривается вывод инновационного, содержащего ноу-хау продукта, на массовый рынок. При этом действуют конкурирующие предприятия, занимающие свои рыночные доли. Каждый участник выделяет бюджет на проведение научно-исследовательских изысканий с целью либо сохранить присутствие в данном сегменте экономики, либо расширить его за счет вытеснения конкурента. С учетом инерции потребителей и рисков при выводе нового продукта конкурирующие предприятия участвуют с продукцией прежнего поколения и следующего, инновационного. Менеджмент обоих предприятий старается определить максимально возможную с точки зрения экономической выгоды маркетинговую политику.

**3. Формализация.** Обозначим участников  $P$  и  $S$  (соответственно prime/second). Прежнее поколение продуктов при этом обозначим  $PF$  и  $SF$ . Инновационное поколение будет  $PN$  и  $SN$  соответственно. Потребность рынка обозначим  $T_v$ . Решим матричную игровую задачу [6].

Для этого сформируем матрицу  $P$  потребительского спроса для текущего вектора  $(PF, SF, PN, SN)$  в виде предпочтений одного продукта другому:

$$P = \begin{pmatrix} * & 1 - p_{21} & 1 - p_{31} & 1 - p_{41} \\ p_{21} & * & 1 - p_{32} & 1 - p_{42} \\ p_{31} & p_{32} & * & 1 - p_{43} \\ p_{41} & p_{42} & p_{43} & * \end{pmatrix}$$

где элементы  $p_{ij}$  – полученные статистической обработкой данных маркетологов по потребительским предпочтениям  $j$ -го продукта  $i$ -му,  $i, j = \overline{1..4}$ ,  $i \neq j$ .

Реалии бизнеса как правило таковы, что конкуренты прикладывают значительные усилия и производят затраты на поиск сведений о бизнесе конкурента, в том числе методами промышленного шпионажа. Для решения задачи с учетом возможного данного обстоятельства определим доли рыночного присутствия в условиях недоступности сведений о бизнесе конкурента. Для определения сегментации потребительского спроса как выигрыша, введем необходимые информационные состояния в виде матрицы:

$$\begin{array}{cc} SF & SN \\ PF & \begin{pmatrix} 1-p_{21} & 1-p_{41} \\ p_{32} & 1-p_{43} \end{pmatrix} \\ PN & \end{array} \quad (1)$$

Для поиска максимина, дающего равновесное стратегическое решение, введем смешанные рыночные стратегии. Обозначим их [7] как  $(\sigma_P, 1-\sigma_P)$  и  $(\sigma_S, 1-\sigma_S)$  соответственно для обоих конкурентов, рассчитаем выигрыш:

$$M_1 = (1-p_{21})\sigma_P + p_{32}(1-\sigma_P) + (1-p_{41})\sigma_S + (1-p_{43})(1-\sigma_S). \quad (2)$$

Формула (2) позволяет рассчитать величины  $\sigma_P, \sigma_S$  стратегии конкурирующих предприятий в ситуации равновесия. Далее рассчитывается значимый показатель игры  $M_1^*$ . Следующим этапом рассчитаем аналогично  $M_2^*$  при условии осведомленности одного из конкурентов после получения конфиденциальной информации о деятельности другого участника рынка.

В случае, если  $S$  добыл информацию о деятельности  $P$ , поменяется представленный в (1) набор информационных состояний, характеризующих принятие решений. Соответствующая матрица выглядит при этом:

$$\begin{array}{cc} PF & \begin{pmatrix} 1-p_{21} & 1-p_{21} & 1-p_{41} & 1-p_{41} \\ p_{32} & 1-p_{43} & p_{32} & 1-p_{43} \end{pmatrix} \\ PN & \end{array} = \|q_{ij}\|_{\text{б}}$$

Решая задачи при этих условиях, рассчитаем новые значения:  $M_2^* = \max_i [\min_j (q_{ij})]$ ,  $i = \overline{1, 2}, j = \overline{1, 4}$ . Используем их для расчета той доли рыночного присутствия фирмы  $S$  равной  $Tv(1-M_2^*)$ , которая минимально гарантирована.

Анализ [7] показывает, что всегда выполняется неравенство  $M_2^* < M_1^*$ . Данный факт обусловлен приобретением информации о бизнесе конкурентов, которыми овладели менеджеры фирмы  $S$ . Далее рассчитаем экономический эффект от выгоды при реализации  $Tv(M_2^* - M_1^*)$  дополнительного количества продукции. Отметим, что с точки зрения  $S$  этот показатель отражает уровень затрат на приобретение инсайдерской информации относительно фирмы  $P$ . С точки зрения  $P$  этот показатель характеризует уровень издержек на мероприятия по поддержанию необходимого уровня сохранения конфиденциальной бизнес информации.

**Заключение.** Представленные в статье материалы и математическая модель, разработанные в соответствии с программой деятельности Инжинирингового центра, созданного на базе ОГУ им. И.С. Тургенева, по направлению технологий цифровой среды для обеспечения комплексной безопасности телекоммуникации, средств связи и энергоэффективности дают возможность осуществить прогнозный расчет распределения долей рынка в условиях дуополии с учетом влияния сведений о деятельности конкурирующего предприятия.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Стохастическая оптимизация в информатике /под редакцией О.Н.Граничина. СПб: издательство Санкт –Петербургского университета. 2005г.. Т.1. 296с.
2. Паспорт национального проекта Национальная программа "Цифровая экономика Российской Федерации" (утв. протоколом заседания президиума Совета при Президенте Российской Федерации по стратегическому развитию и национальным проектам от 4 июня 2019 г. № 7). Режим доступа: <http://www.consultant.ru/>
3. Блауг М. Теория дуополии //Экономическая мысль в ретроспективе. М.: Дело. 1994. С. 296-297.
4. Печерский С.Л., Беляева А.А. Теория игр для экономистов. Вводный курс / Учебное пособие // СПб.: Изд-во Европ. Ун-та в С-Петербурге, 2001. - 342 с.
5. Сергеев С.М. Выбор инновационной маркетинговой стратегии предприятий на основе экономико-математического моделирования // Инновации. 2013. № 3 (173). С. 116-119.
6. Петросян Л.А. и др. Теория игр: Учеб. пособие для ун-тов:/ Л.А. Петросян, Н.А. Зенкевич, Е.А. Семина.- М.: Высшая школа, Книжный дом "Университет", 1998. - 304 с.
7. Friedman J.W. Game Theory with Application to Economics. 2-th edition. New York: Oxford University Press, 262 p.p.

---

### UDK 004.056

#### FORMULATION OF THE PROBLEM FOR RESEARCHING THE COMPETITION OF TWO FIRMS TAKING INTO ACCOUNT THEIR MUTUAL AWARENESS

**Larisa N. Borisoglebskaya**

Doctor of economics, candidate of technical sciences, professor, vice-rector for scientific and design and innovation activities,  
e-mail: [boris-bleb@rambler.ru](mailto:boris-bleb@rambler.ru),

**Denis V.Danilevich**

Candidate of technical sciences, director of the Engineering center for digital environment technologies to ensure comprehensive security of Telecommunications, Communications Facilities and Energy Efficiency  
e-mail: [ddanilevich@yandex.ru](mailto:ddanilevich@yandex.ru),

**Evgeny V. Pakholkin**

Candidate of technical sciences, head of R&D support department  
e-mail: [eugene\\_p@bk.ru](mailto:eugene_p@bk.ru)

Oryol State University named after I.S. Turgenev,  
302026, Oryol, Russia, Komsomolskaya st., 95.,

**Sergei M. Sergeev**

Candidate of technical sciences, senior researcher, associate professor,  
e-mail: [sergeev2@yandex.ru](mailto:sergeev2@yandex.ru)

Oryol State University named after I.S. Turgenev, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University,  
195251, Russia. St. Petersburg, Polytechnic st., 29.

**Annotation.** The study is devoted to mathematical modeling of the situation of competitive presence within the framework of a market duopoly. The situation of pure competition and the variant of mutual awareness of the competitor's strategy is considered. The results of the study are of practical importance for the activities of the Engineering Center for Digital Environment Technologies to ensure the integrated security of telecommunications, communications and energy efficiency of the Oryol State University. I.S. Turgenev. The main provisions can be applied when choosing a strategy of behavior in the market of stra-

tegically important innovative products. The materials and mathematical model presented in the framework of this research, developed in accordance with the program of activities of the Engineering Center, created on the basis of the OSU named after I.S. Turgenev, in the direction of digital environment technologies to ensure integrated security of telecommunications, communications and energy efficiency, make it possible to carry out a predictive calculation of economically important indicators and associated costs in a competitive environment.

**Keywords:** information, competition, innovation, economics.

#### REFERENCES

1. Stokhasticheskaya optimizatsiya v informatike /pod redaktsiyey O.N.Granichina [Stochastic optimization in computer science / edited by ON Granichin]. SpB: iz-datel'stvo Sankt – Peterburgskogo universiteta = Publishing House of St. Petersburg University. 2005. Vol.1. P. 296.
2. Passport of the national project National Program "Digital Economy of the Russian Federation" (approved by the minutes of the meeting of the Presidium of the Council under the President of the Russian Federation for Strategic Development and National Projects № 7 dated June 4. 2019). Availabel at: <http://www.consultant.ru/>
3. Blaug M. Teoriya duopolii [The theory of duopoly] // Ekonomicheskaya mysl' v retrospektive = Economic theory in retrospect. M.: Delo = Business. 1994. Pp. 296-297.
4. Pecherskiy S.L., Belyaeva A.A. Teoriya igr dlya ekonomistov [Game theory for economists] Vvodnyiy kurs. Uchebnoe posobie. SPb.: Izd-vo Yevrop. Un-ta v S-Peterburge = SPb. : Publishing house of Europe. University in St. Petersburg. 2001. 342 p.
5. Sergeev S.M. Vyibor innovatsionnoy marketingovoy strategii predpriyatiy na osnove ekonomiko-matematicheskogo modelirovaniya [The choice of an innovative marketing strategy of enterprises on the basis of economic and mathematical modeling]. Innovatsii = Innovations. 2013. № 3 (173). Pp. 116-119.
6. Petrosyan L.A., Zenkevich N.A., Semina Ye.A. Teoriya igr: Ucheb. posobiye dlya un-tov [Game theory: Textbook. manual for high fur boots]. M.: Vysshaya shkola, Knizhnyy dom "Universitet" = Moscow: Higher School, Book House «University». 1998. 304 p.
7. Friedman J.W. Game Theory with Application to Economics. 2-th edition. New York: Oxford University Press. 262 p.

УДК 005.8:65.015

## МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ВКЛАДА УЧАСТНИКОВ ПРОЕКТНОЙ КОМАНДЫ В ДОСТИЖЕНИЕ ЦЕЛЕЙ ИТ-ПРОЕКТА

**Никулина Наталья Олеговна**

к.т.н., доцент кафедры автоматизированных систем управления,  
e-mail: [nikulinano@outlook.com](mailto:nikuliano@outlook.com)

**Малахова Анна Ивановна**

к.т.н., доцент кафедры автоматизированных систем управления,  
e-mail: [aimalakhova@gmail.com](mailto:aimalakhova@gmail.com)

ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет»,  
450008, г. Уфа, ул. К. Маркса, 12

**Баталова Валерия Игоревна**

ведущий специалист отдела тестирования управления разработки ПО,  
e-mail: [valeralevr@gmail.com](mailto:valeralevr@gmail.com)

ООО ИК «СИБИНТЕК»,

450047, г. Уфа, ул. Бакалинская, 9/8

**Аннотация.** Конкурентоспособность ИТ-компании, основной деятельностью которой является разработка и внедрение программного обеспечения, в современных условиях определяется ее возможностью реализовывать несколько проектов одновременно, предоставляя потребителям качественный продукт в минимальные сроки с минимальными затратами. Однако особенности разработки программного обеспечения (нематериальность конечного продукта, зависимость от взаимоотношений между участниками команды проекта, сжатые сроки и ограниченное число ресурсов), не позволяют эффективно отслеживать ход выполнения проекта с помощью общепринятых методик. Поэтому необходима разработка альтернативного инструмента оценки состояния ИТ-проектов, а также способа своевременного выявления причин изменения отдельных показателей проектов. Проблема может быть решена путем совместного применения методов процессного и проектного управления в рассматриваемой предметной области. В частности, предлагается разработать систему сбалансированных показателей ИТ-компании, опираясь не только на показатели структурных подразделений, но и на показатели ИТ-проектов. В свою очередь, система сбалансированных показателей каждого ИТ-проекта увязывается с функциональной структурной декомпозицией работ каждой из итераций разработки ПО, ведущейся с использованием Scrum-методологии. Это позволяет на уровне отдельных показателей ИТ-проекта установить роль и вклад каждого из участников проектной команды в достижение оперативных целей проекта и стратегических целей ИТ-компании в целом. Предлагаемая методика применима для установления приоритетов параллельно выполняющихся проектов с целью своевременного перераспределения ресурсов, а также обоснования распределения бюджета ИТ-компании по проектам вплоть до отдельных сотрудников с учетом системы грейдов в рамках профессионального стандарта проектных ролей.

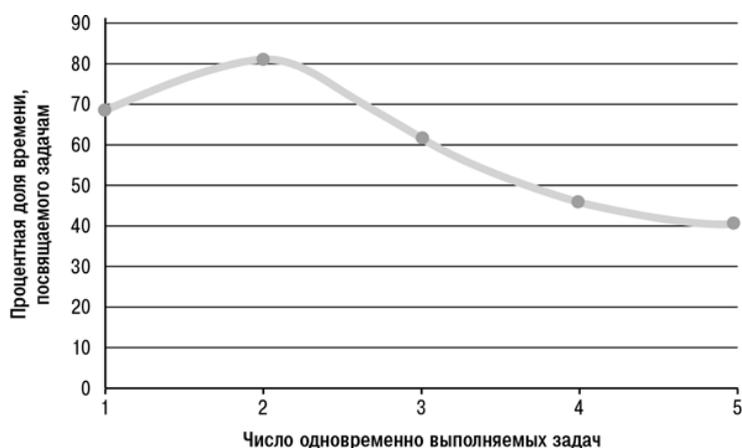
**Ключевые слова:** ИТ-проект, сбалансированная система показателей, проектная команда, структурная декомпозиция работ проекта, ключевые показатели эффективности, матрица ответственности, роли участников проектной команды.

**Цитирование:** Никулина Н. О., Малахова А. И., Баталова В. И. Методика оценки вклада участников проектной команды в достижение целей ИТ-проекта // Информационные и математические технологии в науке и управлении. 2021. № 2 (22). С. 94 - 104. DOI:10.38028/ESI.2021.22.2.010

**Введение.** Главной целью любой компании является предоставление потребителю наиболее качественного продукта в минимальные сроки с минимальными затратами. Симбиоз этих условий дает лучший результат как для компании, так и для заказчика. Однако в процессе реализации проекта необходимо отслеживать соблюдение множества ограничений, что представляет особую сложность для некоторых предметных областей, например, для консалтинговой компании, занимающейся разработкой и поддержкой

программного обеспечения (ПО) и использующей гибкие методологии разработки. Высокая степень неопределенности, присущая ИТ-проектам, не позволяет на ранних этапах спланировать все работы заранее, а затем отслеживать состояние проекта с помощью известных методик, нашедших широкое применение в промышленном производстве и строительстве (например, методики оценки освоенного объема). Часто дело осложняется необходимостью отслеживания состояния параллельно выполняющихся проектов, каждый из которых проходит свой жизненный цикл в соответствии со спиральной моделью. Поэтому необходим альтернативный инструмент оценки состояния проектов, а также способ выявления причин изменения отдельных показателей проектов.

Жизненный цикл ИТ-проектов, вне зависимости от предназначения ПО, состоит из следующих этапов: разработка, модификация функциональности, интеграция, сопровождение. Сотрудники привлекаются для решения поставленных задач согласно своей проектной роли в соответствии с применяемой в ИТ-компании методологией разработки на срок реализации проекта, указанный в договоре с заказчиком. Стремление руководства компании снизить издержки, высокая текучесть кадров зачастую приводят к невозможности обеспечить каждый из проектов высококвалифицированными трудовыми ресурсами в полном объеме. Поэтому ключевые сотрудники, хорошо изучившие предметную область и имеющие опыт работы на аналогичных проектах, привлекаются в несколько проектов одновременно. Таким образом, многие сотрудники работают в режиме многозадачности, что отрицательно сказывается на производительности сотрудника: время, посвящаемое создающей стоимость работе, быстро сокращается, когда человек занимается более чем двумя задачами одновременно (рис.1) [1]. В основном это связано с тем, что значительное количество энергии и времени затрачивается на переключение между задачами, погружение в контекст задачи и взаимодействие с участниками разных проектных команд.



**Рис. 1.** Влияние многозадачности на производительность труда

Однако степень данного влияния очень индивидуальна и зависит как от характера человека и его навыков тайм-менеджмента, так и от уровня сложности проектов. Для одного сотрудника может быть вполне комфортным выполнение задач на трех-четырёх проектах одновременно, в то время как для другого участие в двух параллельных проектах уже становится непосильной задачей.

При этом необходимость участия одного сотрудника в нескольких проектах одновременно в любом случае приводит к его перегрузке, что негативным образом влияет на показатели каждого проекта.

В соответствии с вышесказанным, целью исследования является разработка методики анализа влияния загрузки сотрудника на ключевые показатели эффективности (*KPI – Key Performance Indicators*) одновременно выполняемых им проектов. Результаты такого анализа необходимы для одного из основных этапов организации поддержки принятия коллективных решений – определения взаимодействующих проектов и расстановки приоритетов в случае выявления конфликтов за выделяемые ресурсы [2]. Применение методики позволит связать

изменения значений *KPI* по проектам сотрудника с общей загрузкой сотрудника, что даст лицу, принимающему решения (ЛПР), информацию о необходимости перераспределения ресурсов между проектами в пользу улучшения состояния одного или нескольких проектов.

### **1. Общие принципы разработки ИТ-проектов в консалтинговой компании.**

Вначале необходимо определиться с тем, каким образом фиксировать деятельность сотрудников на параллельных проектах по разработке ПО. В большинстве своем в проектных командах применяются гибкие методологии разработки семейства *Agile* [3], чаще всего *Scrum*. Применение этой методологии позволяет за фиксированные небольшие промежутки времени, называемые спринтами (*sprints*), предоставлять заказчику работоспособный продукт с новыми бизнес-возможностями, для которых определён наибольший приоритет [4]. Согласно *Scrum*, в проектной команде выделяются следующие роли: владелец продукта, скрам-мастер, команда создания продукта. Команда продукта в идеале должна представлять из себя взаимозаменяемых специалистов, то есть, внутри команды должна быть только одна роль – *developer*. Других должностей, ролей, подкоманд быть не должно. Однако зачастую полное следование принципам *Scrum* в данном аспекте невозможно, так как каждый из работников, являющихся членом команды продукта, имеет основную квалификацию, соответствующую профессиональным стандартам и зафиксированную в трудовых договорах и штатном расписании ИТ-компании (разработчик, тестировщик, аналитик). Каждый участник проекта может иметь как профессиональную, так и организационную роль, поддерживающую процесс [5]. Например, в одном проекте сотрудник может занимать роли архитектора системы и разработчика, а в другом – только разработчика или тестировщика. Таким образом, на каждом из этапов в итерации разработки сотрудник вносит свой вклад в соответствии с ролями, которые он выполняет в проекте.

Проектная команда разрабатывает функциональность итерационно в рамках спринтов. Так или иначе, спринт имеет типовую структуру и чаще всего сводится к классическим последовательным этапам жизненного цикла ПО. Деятельность в рамках этих этапов можно описать с помощью функциональной структурной декомпозиции работ (СДР, или *WBS – Work Breakdown Structure*) – представления проекта в виде иерархической структуры работ, полученной путем последовательной декомпозиции [6, 7]. СДР разрабатывается на стадии инициации проекта и предназначена для детального планирования, оценки стоимости и обеспечения персональной ответственности исполнителей. Возможно построение СДР в различных аспектах – продуктовом, функциональном, организационном либо смешанном. Функциональный подход с точки зрения планирования деятельности наиболее интересен, поскольку в качестве элементов СДР выбираются операции технологического цикла производства продукта проекта. Далее для каждого из элементов СДР назначается длительность, сроки, ограничения, а также ресурсы. В предлагаемой статье описывается СДР для типовой итерации по разработке ПО, а в качестве ресурсов приведены вышеописанные проектные роли.

**2. Методика оценки вклада участников проектной команды в достижение целей ИТ-проекта.** Разрабатываемая методика включает алгоритм определения влияния загрузки сотрудника на состояние его проектов. Приведенные в методике показатели и элементы, а также количественные значения характерны для исследуемого объекта. Для применения в реальных условиях требуется конфигурирование и настройка под конкретный проект с учетом методов управления, принятых в ИТ-компании.

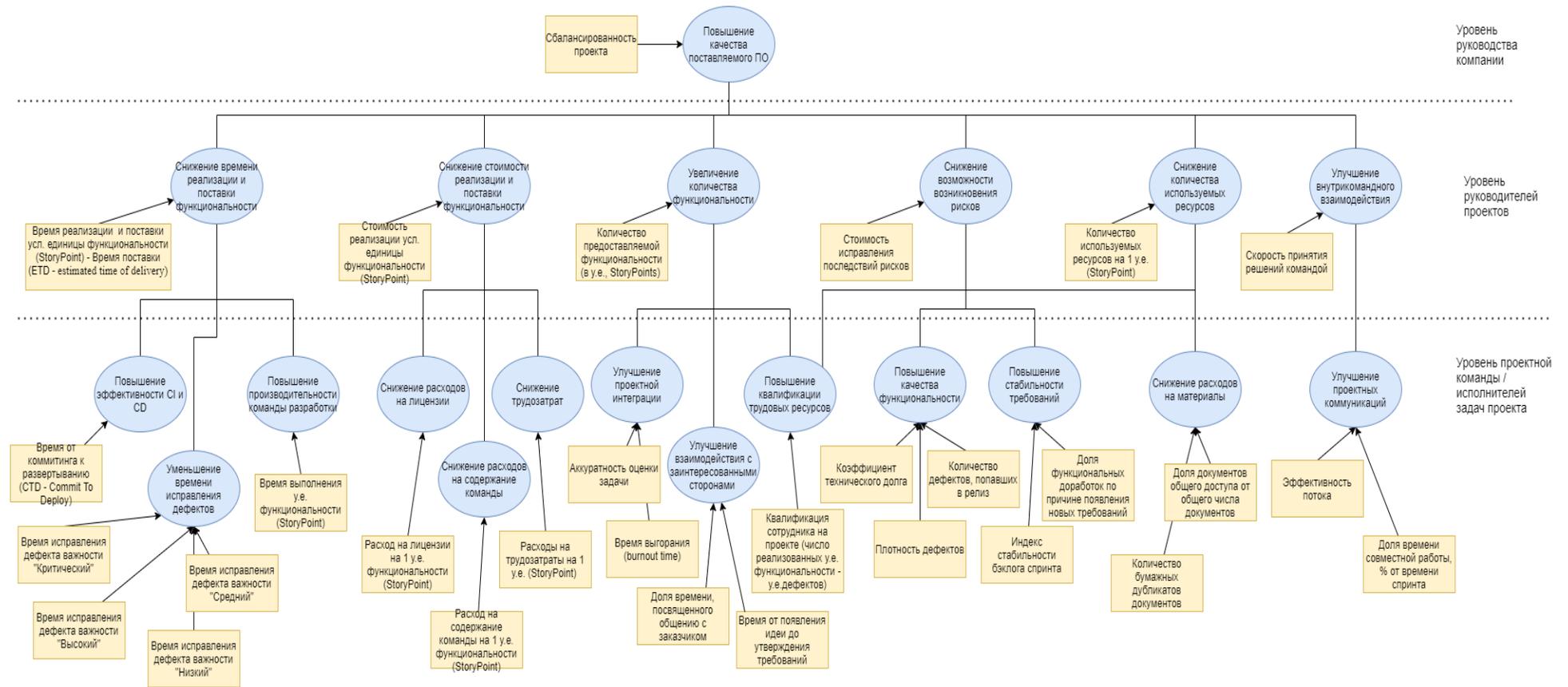


Рис. 2. Система сбалансированных показателей типового проекта по разработке ПО

**Шаг 1.** Составить систему сбалансированных показателей (ССП) [8] типового для рассматриваемой ИТ-компании проекта по разработке ПО (рис. 2). ССП представляет собой трехуровневую иерархию целей проекта: уровня компании, уровня проектного менеджмента, уровня исполнителей задач [9]. Необходимо выделить цели каждого уровня и определить ключевые показатели эффективности, отражающие ход достижения цели

**Шаг 2.** Составить функциональную СДР для итерации разработки ПО в соответствии с применяемой методологией (в данном случае, Scrum). На рис. 3 представлена функциональная СДР одной итерации разработки ПО, включающей работы, выполняемые циклично с периодичностью 2 недели.



Рис. 3. Функциональная СДР одной итерации разработки ПО

**Шаг 3.** Составить перечень проектных ролей. Выделение проектных ролей возможно с различных точек зрения [4, 10].

С одной стороны, важно определить функциональные обязанности каждого участника проектной команды, связанные с определенной профессиональной деятельностью – образованием, специализацией, полученными знаниями и навыками. С этой точки зрения существуют следующие роли, которые исполняют участники проектных команд в ИТ-компаниях: архитектор системы, тимлид команды аналитики, аналитик, тимлид команды разработки, программист, тестировщик, эксперт.

С другой стороны, существует разделение обязанностей участников проектной команды с точки зрения организации процесса проектирования и разработки ПО. Этот набор ролей определяется выбранной методологией разработки ПО. В случае использования наиболее популярной методологии *Scrum* перечень ролей будет следующим:

- владелец продукта (*Product Owner*) – отвечает за список требований к продукту и результат работы команды;
- скрам-мастер (*Scrum Master*) – отвечает за организацию эффективного процесса разработки;
- команда создания продукта (*Development Team*) – самоорганизующаяся кросс-функциональная команда, которая на выходе каждой итерации создает потенциально продаваемый вариант продукта.

**Шаг 4.** Определить тип и степень ответственности отдельных проектных ролей за каждый из элементов функциональной СДР.

Необходимо выделить набор типов ответственности для элементов СДР в соответствии со спецификой рассматриваемого проекта. Для каждого из типов ответственности необходимо определить степень ответственности различных проектных ролей. В рамках данного исследования выделен перечень степеней ответственности (табл. 1). В модель расчета введены следующие ограничения:

- для каждого элемента СДР определены по одному ответственному, исполнителю, контролеру, а также выделены два консультанта – владелец продукта и скрам-мастер;
- для типа ответственности Наблюдатель определен вес 0.

**Таблица 1.** Степень ответственности за элементы СДР

Тип	Описание	Доля участия в КРІ
О	Ответственный – полностью отвечает за исполнение этапа/задачи, вправе принимать решения по способу реализации;	0,4
И	Исполнитель – решает задачу, не несет ответственности за выбор способа её решения, но отвечает за качество и сроки реализации;	0,3
Кр	Контролер – контролирует выполнение задач, несет ответственность;	0,2
К	Консультант – оказывает консультации в ходе решения задач проекта по мере обращения к нему, не несет ответственности;	0,1
Н	Наблюдатель – находится в курсе решения задач проекта, не вмешиваясь в его ход, не несет ответственности.	0

Далее необходимо определить, какую ответственность каждая из ролей несет за отдельные элементы функциональной СДР (табл. 2). Для упрощения расчетов принято, что на элементах СДР зафиксированы по одному ответственному, исполнителю, контролеру. Также принято, что на каждом из элементов СДР выделены два консультанта – владелец продукта и скрам-мастер, так как они должны быть вовлечены в процесс на каждом этапе разработки.

**Таблица 2.** Матрица ответственности на элементах СДР.

№	Элемент СДР	Участники (роли на проекте)								
		Владелец продукта	Команда создания продукта							
			Тимлид команды аналитики	Аналитик	Архитектор системы	Тимлид команды разработки	Разработчик	Тестирующий	Эксперт предметной области	Скрам-мастер
1	Анализ требований	Кр	О	И	К	Н	Н	Н	Н	Кр
2	Проектирование	Кр	К	Н	О	И	Н	Н	Н	Кр
3	Разработка	Кр	Н	Н	К	О	И	Н	Н	Кр
4	Тестирование	Кр	Н	Н	Н	К	И	О	Н	Кр
5	Поставка обновлений	Кр	К	Н	Н	О	И	Н	Н	Кр
6	Техническая поддержка	Кр	Н	О	К	К	И	К	Н	Кр

1 ур.	Цели		KPI	Доля вклада в KPI на каждом этапе СДР						
	2 уровень	3 уровень		Анализ требований	Проектирование	Разработка	Тестирование	Поставка обновлений	Техническая поддержка	
Повышение качества поставляемого ПО	Функциональность	Улучшение проектной интеграции	Аккуратность оценки задачи	0,8	0,2	-	-	-	-	
			Время сгорания (burnout time)	1	-	-	-	-	-	
		Улучшение взаимодействия с заинтересованными сторонами	Доля времени, посвященного общению с заказчиком	0,7	0,3	-	-	-	-	
			Время от появления идеи до утверждения требований	0,8	0,2	-	-	-	-	
	Повышение квалификации трудовых ресурсов	Повышение квалификации трудовых ресурсов	Квалификация сотрудника на проекте (число реализованных у.е. функциональности - у.е. дефектов)	-	-	1	-	-	-	
			Кoeffициент технического долга	-	0,1	0,6	0,3	-	-	
	Риски	Снижение возможности возникновения рисков	Повышение качества функциональности	Плотность дефектов	-	-	1	-	-	-
				Количество дефектов, попавших в релиз	-	-	-	1	-	-
		Повышение стабильности требований	Повышение стабильности требований	Индекс стабильности бэклога спринта	0,6	0,4	-	-	-	-
				Доля функциональных доработок по причине появления новых требований	1	-	-	-	-	-
	Ресурсы	Снижение количества используемых ресурсов	Снижение расходов на материалы	Количество бумажных дубликатов документов	0,6	0,2	-	0,2	-	-
				Доля документов общего доступа от общего числа документов	0,6	0,2	-	0,2	-	-
	Взаимод.	Улучшение внутрикомандного взаимодействия	Улучшение проектных коммуникаций	Эффективность потока	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
				Доля времени совместной работы, % от времени спринта	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
	Сроки	Снижение времени реализации и поставки функциональности	Повышение эффективности CI и CD	Время от коммитинга к развертыванию (CTD - Commit To Deploy)	-	-	0,6	0,2	0,2	-
				Уменьшение времени исправления дефектов	Время исправления дефекта важности "Критический"	-	-	1	-	-
			Время исправления дефекта важности "Высокий"		-	-	1	-	-	-
			Время исправления дефекта важности "Средний"		-	-	1	-	-	-
			Время исправления дефекта важности "Низкий"		-	-	1	-	-	-
			Повышение производительности команды разработки	Время выполнения у.е. функциональности (StoryPoint)	-	-	1	-	-	-
Стоимость	Снижение стоимости реализации и поставки функциональности	Снижение расходов на лицензии	Расход на лицензии на 1 у.е. функциональности (StoryPoint)	0,2	-	0,6	-	0,2	-	
			Расход на содержание команды на 1 у.е. функциональности (StoryPoint)	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	
		Снижение трудозатрат	Расходы на трудозатраты на 1 у.е. (StoryPoint)	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	

Рис. 4. Доля вклада в KPI на каждом из этапов итерации разработки ПО

**Шаг 5.** Определить вклад в проектные *KPI* на каждом из этапов/элементов СДР. Оценка вклада в *KPI* на разных этапах итерации разработки ПО (рис. 4) проводится экспертным путём, так как для каждого проекта эти значения могут быть индивидуальными. Сумма вкладов на каждом из этапов СДР (общий вклад в *KPI*) должна быть всегда равна 1. Пример экспертной оценки для типового проекта приведен в табл. 3.

**Шаг 6.** Вычислить коэффициенты участия каждой из проектных ролей в отдельных *KPI* проекта.

Зная долю участия в *KPI* в соответствии с типом ответственности, а также вклад в *KPI* на каждом из этапов разработки, становится возможным вычислить коэффициент участия проектных ролей в конкретных *KPI* (1):

$$k_{\text{уч в KPI}} = \sum_{i=1}^n (w_i \times h_i), \quad (1)$$

где  $w_i$  – доля вклада в *KPI* на  $i$ -ом этапе (рис. 4);

$h_i$  – доля участия типа ответственности проектной роли в формировании *KPI* (таблица 1).

В результате определяются коэффициенты участия проектных ролей в формировании проектных *KPI*. В качестве примера в табл. 3 приведен расчет вклада проектных ролей в два *KPI*.

**Таблица 3.** Коэффициенты участия проектных ролей в *KPI*

№	KPI	Участники (роли на проекте)								
		Владелец продукта	Команда создания продукта							
			Тимлид команды аналитики	Аналитик	Архитектор системы	Тимлид команды разработки	Разработчик	Тестирующий	Эксперт предметной области	Скрам-мастер
1	Аккуратность оценки задачи	0,1	0,34	0,24	0,16	0,06	-	-	-	0,1
2	Время от коммитинга к развертыванию	0,1	0,02	-	0,06	0,34	0,3	0,08	-	0,1

**Шаг 7.** Проанализировать зависимость значений *KPI* отдельных проектов от общего количества закрепленного за сотрудником *KPI* всех проектов.

Владение информацией о том, какие роли выполняет сотрудник на каждом из параллельных проектов, позволяет оценить его загрузку и значения связанных *KPI*. Так, например, сотрудник был занят в двух проектах, а затем его привлекли в третий проект, причем для выполнения двух проектных ролей одновременно. За сотрудником закреплены определенные *KPI* по каждой из его ролей на определенных этапах. С течением времени можно заметить отрицательную динамику: увеличение количества *KPI* для этого сотрудника приводит к более низким значениям его *KPI* на одном из старых проектов. Эта информация помогает ЛПР вовремя среагировать и пересмотреть распределение ресурсов в пользу наиболее приоритетных проектов.

**Заключение.** Выбор *KPI* и установление связи между ними имеет смысл в контексте достижения целей ИТ-компании, поэтому разработанная система сбалансированных показателей, представленная в виде стратегической карты (рис. 2), должна регулярно пересматриваться и корректироваться в зависимости от согласованной оценки

краткосрочных, среднесрочных и долгосрочных целей. Цели ИТ-компании достигаются за счет выполнения ИТ-проектов и поддерживающих их бизнес-процессов [11], в связи с чем неизбежны конфликты за ограниченные человеческие ресурсы. Предлагаемая методика оценки вклада участников проектной команды в достижение целей ИТ-проектов применима для:

- выявления необходимости приоритизации параллельно-выполняющихся проектов для своевременного перераспределения ресурсов;
- распределения бюджета по проектам и отдельным сотрудникам: например, премирование за достижение определенных значений *KPI* в соответствии с коэффициентом вклада в этот показатель;
- разработки системы градации в рамках профессионального стандарта проектных ролей; например, назначение уровней в соответствии с достигнутым значением/порогом *KPI*.

**Благодарности.** Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 19-08-00937 «Методы и модели интеллектуальной поддержки принятия решений при управлении программными проектами, реализуемыми в среде производственных предприятий»).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Clark, K. B., and S. C. Wheelwright. *Managing New Product and Process Development: Text and Cases*. NY: Free Press. 1993. 896 p.
2. Черняховская Л. Р., Малахова А. И., Никулина Н. О., Баталова В. И. Информационно-аналитическая поддержка принятия коллективных решений с использованием интеллектуальных технологий // Информационные технологии в управлении: труды XIII Всеросс. мультikonференции по проблемам управления. СПб: АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор». 2020. С. 88–91.
3. Кон М. Agile. Оценка и планирование проектов. М.: Альпина Паблишер. 2018. 418 с.
4. Сазерленд Дж. Scrum. Революционный метод управления проектами. М.: Манн, Иванов и Фербер. 2016. 186 с.
5. Хелдман К. Профессиональное управление проектом. М.: Лаборатория знаний. 2016. 760 с. :ил.
6. Павлов А.Н. Эффективное управление проектами на основе стандарта PMI PMBOK 6th Edition. М.: Лаборатория знаний. 2019. 270 с. :ил.
7. A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK Guide) / Project Management Institute. 2017. Pennsylvania: Sixth Edition. PMI Publications. 2017.
8. Каплан Р., Нортон Д. Сбалансированная система показателей. От стратегии к действию. ЗАО «Олимп-Бизнес». Москва. 2003. 210 с.
9. Черняховская Л.Р., Малахова А.И., Никулина Н.О. Применение методологии BSC для управления проектами в ИТ-компаниях // Управление экономикой: методы, модели, технологии: Труды XVIII Международной научной конференции. Уфа: УГАТУ. 2018. С. 385–390.
10. Арчибальд Р. Управление высокотехнологичными программами и проектами. М.: ДМК Пресс; Компания АйТи. 2006. 472 с.
11. Бармина О.В., Никулина Н.О. Интеллектуальная система управления взаимодействием бизнес-процессов в проектно-ориентированных организациях // Онтология проектирования. 2017. Т. 7. №1(23). С. 514-524. DOI: 10.18287/2223-9537-2017-7-1-514-524.

UDK 005.8:65.015

## A METHODOLOGY OF ASSESSING THE EFFORTS OF THE PROJECT TEAM MEMBERS IN ACHIEVING THE GOALS OF THE IT PROJECT

**Natalya O. Nikulina**

candidate of technical sciences, associate professor  
of the automated management systems department,  
e-mail: [nikulinano@outlook.com](mailto:nikulino@outlook.com)

**Anna I. Malakhova**

candidate of technical sciences, associate professor  
of the automated management systems department,  
e-mail: [aimalakhova@gmail.com](mailto:aimalakhova@gmail.com)

Ufa State Aviation Technical University,  
450008, Ufa, K. Marx Str. 12,

**Valeriya I. Batalova**

leading specialist in testing unit of the software development department,  
e-mail: [valeralevr@gmail.com](mailto:valeralevr@gmail.com)

SIBINTEK IC LLC,

450047, Ufa, Bakalinskaya Str. 9/8,

**Annotation.** Competitiveness of the IT company, whose main activity is software development and implementation, in modern conditions is determined by its ability to implement several projects simultaneously, providing consumers with a high-quality product in the shortest possible time with minimal costs. However, the peculiarities of software development (immateriality of the final product, dependence on relationships between the project team members, tight deadlines and limited number of resources) do not allow effective monitoring of the project progress using generally accepted methods. Therefore, it is necessary to develop an alternative tool for assessing the status of the IT projects, as well as a way to identify timely the reasons for changes in individual project indicators. The problem can be solved by joint application of the methods of process and project management in considered subject area. In particular, it is proposed to develop a balanced scorecard of the IT company, based not only on the indicators of structural divisions, but also on the indicators of the IT projects. In turn, an each IT project balanced scorecard is linked to the functional structural works decomposition of each of the software development iterations, conducted using Scrum methodology. This allows at the level of the IT project individual indicators to determine the role and efforts of each of the project team members to achieving the operational goals of the project and the strategic goals of the IT company as a whole. Proposed methodology is applicable for setting priorities for parallel projects in order to reallocate resources in a timely manner, as well as for justifying the distribution of the IT company's budget for the projects up to individual employees, taking into account the grading system within the professional standard of project roles.

**Keywords:** IT project, balanced scorecard, project team, structural decomposition of project works, key performance indicators, responsibility matrix, project team members roles

**Acknowledgements.** The work is supported by the grant of the Russian Foundation for Basic Research № 19-08-00937 “Models and methods of intellectual decision making support in software project management realized on manufacturing enterprises”.

### REFERENCES

1. Clark, K. B., and S. C. Wheelwright. *Managing New Product and Process Development: Text and Cases*. NY: Free Press. 1993. 896 p.
2. Chernyakhovskaya L. R., Malakhova A. I., Nikulina N. O. and Batalova V. I. *Informatsionno-analiticheskaya podderzhka prinyatiya kollektivnykh resheniy s*

- ispol'zovaniyem intellektual'nykh tekhnologiy [ Information and analytical collective decision making support using intelligent technologies] // *Informatsionnyye tekhnologii v upravlenii: trudy XIII Vseross. mul'tikonferentsii po problemam upravleniya = Information technologies in management: Proceedings of the All-Russian multi-conferences on management problems (MCMP-2020)*. Saint-Petersburg: JSC "Concern Central Research Institute "Electropribor". 2020. Pp. 88–91 (in Russian)
3. Kon M. Agile. Otsenka i planirovaniye proyektov [Agile. Project evaluation and planning]. M.: Al'pina Pablisher = Moscow: Alpina Publisher. 2018. 418 p.
  4. Sutherland J. Scrum. Revolyutsionnyy metod upravleniya proyektami [Scrum. The revolutionary method of project management]. M.: Mann, Ivanov i Ferber = Moscow: Mann, Ivanov and Ferber. 2016. 186 p (in Russian)
  5. Kheldman K. Professional'noye upravleniye proyektom [Professional project management]. M. :Laboratoriya znaniy = Moscow: Knowledge Laboratory. 2016. 760 p (in Russian)
  6. Pavlov A. N. Effektivnoye upravleniye proyektami na osnove standarta PMI PMBOK 6th Edition [Effective Project Management based on the PMI PMBOK 6th Edition Standard]. M.: Laboratoriya znaniy = Moscow: Knowledge Laboratory. 2019. 270 p (in Russian)
  7. A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBok Guide) / Project Management Institute. 2017. Pensylvanya: Sixth Edition. PMI Publications. 2017.
  8. Kaplan R., Norton D. Sbalansirovannaya sistema pokazateley. Ot strategii k dey-stviyu. ZAO «Olimp-Biznes» [Balances Scorecard. From strategy to action. CJSC "Olymp-Business"] M.. 2003. 210 p (in Russian)
  9. Chernyakhovskaya L. R., Malakhova A. I., Nikulina N. O. Primeneniye metodologii BSC dlya upravleniya proyektami v IT-kompaniyakh [Application of the BSC methodology for project management in IT companies] // *Primeneniye metodologii BSC dlya upravleniya proyektami v IT-kompaniyakh = Managing the economy: methods, models, technologies: Proceedings of the XVIII International Scientific Conference*. Ufa: UGATU = Ufa: USATU. 2018. Pp. 385–390 (in Russian)
  10. Archibald Russel D. Upravleniye vysokotekhnologichnymi programmami i proyektami [Management of high-tech programs and projects]. M.: DMK Press; Kompaniya AyTi = M.: DMK Press. 2006. 472 p (in Russian)
  11. Barmina O.V., Nikulina N.O. Intellektual'naya sistema upravleniya vzaimodeystviyem biznes-protssesov v proyektno-orientirovannykh organizatsiyakh [Intelligent system for interactive business processes management in project-oriented organizations] // *Ontologiya proyektirovaniya = Ontology of designing*. 2017. 7(1): 514-524. DOI: 10.18287/2223-9537-2017-7-1-514-524 (in Russian)

УДК 004.89

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО ПОДБОРА НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ ВОДОСНАБЖЕНИЯ И ФОРМИРОВАНИЯ ТЕХНИКО-КОММЕРЧЕСКИХ ПРЕДЛОЖЕНИЙ

**Титарев Дмитрий Викторович**

доцент, к.т.н., e-mail: [titaryovdv@mail.ru](mailto:titaryovdv@mail.ru),

**Трунников Максим Владиславович**

студент, e-mail: [m.trunnikov@mail.ru](mailto:m.trunnikov@mail.ru),

Брянский государственный технический университет,  
241035 г. Брянск, бульвар 50 лет Октября, д. 7.

**Володин Павел Юрьевич**

генеральный директор ООО «БПЕ», [volodin-pavel@ya.ru](mailto:volodin-pavel@ya.ru),  
241012 г. Брянск, ул. Литейная, д. 2Б, оф. 6

**Аннотация.** Работа посвящена вопросам проектирования и разработки программного комплекса для автоматического расчета параметров и дальнейшего подбора станций водоснабжения. На основе проведенных расчетов программный комплекс позволяет формировать технико-коммерческое предложение на поставляемое оборудование. Особое внимание уделено подбору параметров насосной станции согласно данным о напоре и расходе в рабочей точке. Это является важной задачей в условиях отсутствия полноты данных, предоставляемых производителями оборудования.

**Ключевые слова:** насосная станция, технико-коммерческое предложение, программный комплекс, строительство, подбор насосных станций.

**Цитирование:** Титарев Д.В., Трунников М. В., Володин П. Ю. Проектирование и разработка программного комплекса для автоматического подбора насосных станций водоснабжения и формирования технико-коммерческих предложений//Информационные и математические технологии в науке и управлении. 2021. № 2 (22). С. 105 - 114. DOI:10.38028/ESI.2021.22.2.011

**Введение.** В связи с ростом объемов и ужесточением правил строительства, к поставщикам и производителям эксплуатируемого в жилых зданиях оборудования предъявляются все более жесткие требования как по техническим характеристикам, так и по стоимости оборудования. За последние 5 лет на рынке оборудования, предназначенного для пожаротушения и водоснабжения, количество компаний-производителей выросло в несколько раз.

Как правило, для определения поставщиков оборудования компании-застройщики проводят открытые тендеры, зачастую используя общедоступные торговые площадки. Это привело к значительному росту конкуренции между поставщиками.

Для более эффективного участия в проводимом тендере необходимо своевременно сделать наилучшее предложение с учетом всех параметров. Решение данной задачи в ручном режиме в основном приводит к срывам сроков предоставления технико-коммерческого предложения или неоптимальному варианту оборудования с точки зрения предъявляемых к нему требований, что в свою очередь, ведет к проигрышу в проводимом тендере.

Для того, чтобы выиграть в тендере, поставщикам и производителям оборудования необходимо программное обеспечение, позволяющее с учетом стоимости и различных физико-технических параметров оперативно формировать технико-коммерческие предложения (далее – ТКП).

Программное обеспечение, ориентированное на решение задачи подбора оборудования для водоснабжения и пожаротушения, доступно лишь на электронных ресурсах производителей [1], причем каждый из них предоставляет возможность рассчитать лишь свое оборудование, не указывая при этом сам алгоритм расчета. Также данное программное обеспечение не позволяет произвести расчет дополнительного оборудования, входящего в системы водо-

снабжения и пожаротушения. Это приводит к ручному или полуавтоматическому формированию ТКП.

Основная часть научных работ посвящена или оптимизации параметров насосного оборудования для водоснабжения [8], или экономическому обоснованию выбора систем водоснабжения [9], или расчету их характеристик [10], не решая при этом комплексную задачу от определения параметров оборудования до формирования ТКП.

Все выше описанное делает актуальной задачу разработки программного комплекса расчета и подбора оборудования водоснабжения и пожаротушения для объектов строительства, а также автоматического формирования технико-коммерческого предложения, содержащего краткое техническое описание предлагаемого оборудования с указанием его стоимости.

**1. Терминология.** Рассмотрим более подробно основные термины, используемые при подборе насосного оборудования.

**Насосная станция** – комплексная система для перекачки жидкостей из одного места в другое. Включает в себя следующее оборудование: насосные агрегаты – насосная группа в количестве не менее 2 насосов, в числе которых есть рабочие и резервные, элементы трубопровода, служащие для объединения насосов группы в единую гидросистему, трубопроводную арматуру и систему управления.

**Гидравлическая характеристика насоса** – зависимость напора, создаваемого насосом, от расхода перекачиваемой жидкости при определенной частоте вращения вала насоса и фиксированных параметрах перекачиваемой среды.

**Гидравлическая характеристика насосной станции** – зависимость напора, создаваемого рабочими насосами станции, от расхода перекачиваемой жидкости при определенной частоте вращения вала насоса и фиксированных параметрах перекачиваемой среды.

**Рабочая точка** – определенная на основе проектного расчета потребность системы в расходе жидкости и необходимый при данном расходе напор жидкости, служащие для функционирования системы.

**Подбор** – это совокупность технического задания к насосной станции и предлагаемого по данному заданию технического решения. Задание на подбор выражается в виде рабочей точки, требований к схеме работы, системе управления, материалу коллектора и прочим параметрам, выбираемым на странице создания подбора. Техническим решением по данному заданию на подбор является сформированное ТКП.

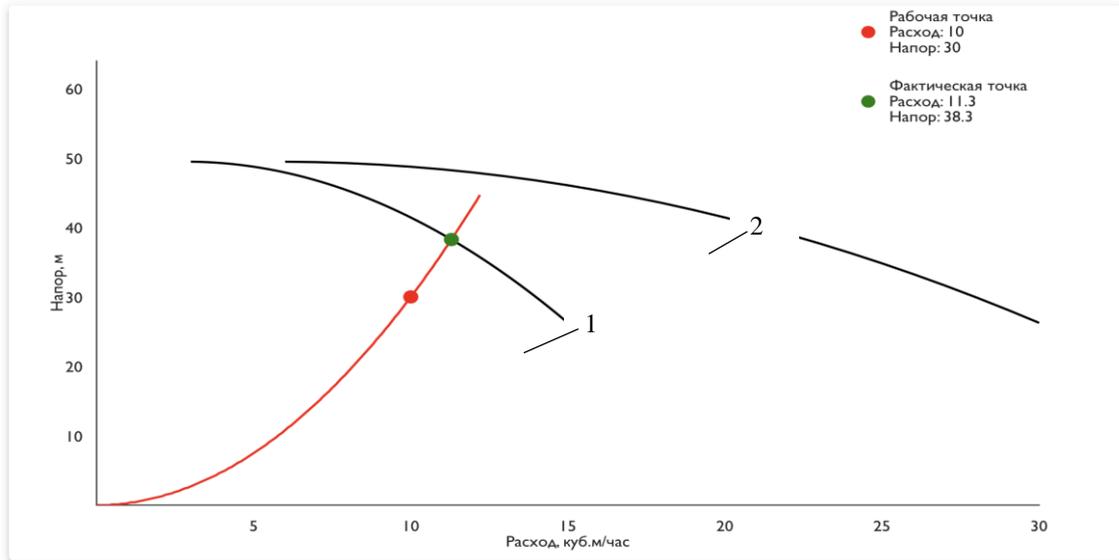
**2. Подбор насосных станций.** Подбор насосных станций производится по двум основным параметрам: расход  $Q$ , измеряемый в м<sup>3</sup>/час, и напор  $H$ , измеряемый в метрах водяного столба. Данная комбинация называется рабочей точкой, которая должна входить в рабочее поле насоса, т.е. быть ниже графика гидравлической характеристики насоса и не выходить за ее пределы.

Гидравлическая характеристика насосной станции строится на основе характеристик входящих в нее насосов [2, 4]. Для нескольких насосов в составе насосной станции, соединенных параллельно, гидравлическая характеристика каждого последующего насоса получается динамически, сложением расходов предыдущего и первого насосов (рис. 1).

В случаях, когда в насосной станции предусмотрены резервные насосы, рабочая точка должна подбираться по последнему основному насосу. На рис. 1 представлен график гидравлической характеристики насосной станции, состоящей из одного основного и одного резервного насосов, подобранной под рабочую точку 10 м<sup>3</sup>/час на 30 м водяного столба. Две черные линии представляют собой гидравлическую характеристику станции (1 – основного насоса, 2 – резервного), красная линия – гидравлическая характеристика трубопроводной сети, расчет которой производится по формуле (1):

$$H(Q) = \left( \frac{H_{\text{раб}}}{Q_{\text{раб}}^2} \right) Q^2, \quad (1)$$

где  $H_{\text{раб}}$  – напор в рабочей точке,  $Q_{\text{раб}}$  – расход в рабочей точке.



**Рис. 1.** Двухнасосная станция, включающая один основной насос (1), один резервный насос (2), рабочая точка 10 м<sup>3</sup>/час на 10 м

Как правило, производители насосного оборудования в документации к выпускаемым ими насосам предоставляют гидравлические характеристики визуально, в виде графика, не указывая при этом параметризованные данные или расчетную формулу. Это создает проблему точного определения пригодности насоса согласно рабочей точке, а также построению гидравлической характеристики станции.

В ручном режиме подбор насосной станции производится следующим образом:

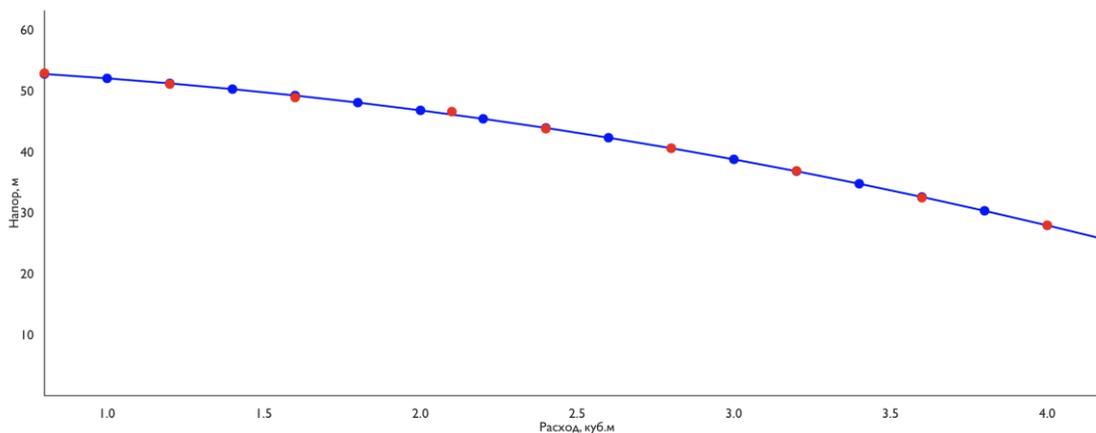
1. График гидравлической характеристики насоса в составе подбираемой станции переводится в массив точек.
2. Умножением расхода на количество основных насосов рассчитывается массив точек гидравлической характеристики для последнего основного насоса в составе подбираемой станции.
3. Из данной последовательности точек находится  $i$ -я точка, для которой выполняется условие:  $Q_i \leq Q_{\text{раб}} \leq Q_{i+1}$ . Это позволяет определить участок гидравлической характеристики насоса, в пределах которого находится рабочая точка.
4. Вычисляется приблизительное значение напора, создаваемого насосом в рабочей точке, путем линейной интерполяции:  $H_{\text{насоса}} = \left( \frac{H_{i+1} - H_i}{Q_{i+1} - Q_i} \right) Q_{\text{раб}} + \left( H_i - \left( \frac{H_{i+1} - H_i}{Q_{i+1} - Q_i} \right) Q_i \right)$ .
5.  $H_{\text{насоса}}$  сравнивается с  $H_{\text{раб}}$ . Если  $(H_{\text{насоса}} * 1,02) \geq H_{\text{раб}}$ , то станция подходит под рабочую точку.

Данный алгоритм реализуется для каждого варианта подбираемой насосной станции, в результате чего время на подбор оптимального варианта может занимать до одной недели.

Наиболее быстрым вариантом по сравнению с ручным расчетом является перевод графика гидравлической характеристики насоса в массив точек [3, 5] и дальнейший расчет функции аппроксимации с помощью метода наименьших квадратов. Это позволяет получить готовую формулу гидравлической характеристики насоса, что дает возможность быстрее и точнее определять напор рассматриваемого насоса при расходе, заданном рабочей точкой. В качестве аппроксимирующей функции была выбрана полиномиальная функция второго по-

рядка, как наиболее подходящая. На рис. 2 представлен график гидравлической характеристики насоса Grundfos CM-A 3-6, построенный при помощи аппроксимации.

Красным цветом на рис. 2 выделены значения гидравлической характеристики насоса Grundfos CM-A 3-6, измеренные представителями ООО «БПЕ», синим цветом – данные, полученные с помощью аппроксимации.



**Рис. 2.** Гидравлическая характеристика насоса Grundfos CM-A 3-6, построенная при помощи аппроксимации

**3. Техничко-коммерческое предложение.** Техническим решением подбора насосной станции является ТКП. В ТКП помимо описания предлагаемого оборудования необходимо указывать его стоимость и габаритные размеры.

Стоимость подобранной насосной станции складывается из:

- цен насосов в составе станции;
- цены системы управления станцией;
- цен входного и выходного коллекторов;
- цены трубопроводной арматуры;
- цены рамы для установки станции в здании;
- цены работы по сборке станции;
- наценки поставщика.

Расчеты габаритных размеров станции различаются в зависимости от ориентации насоса, типа системы управления и набора трубопроводной арматуры в ее составе.

**4. Программный комплекс.** Задача разработки программного комплекса расчета и подбора оборудования водоснабжения, а также автоматического формирования ТКП была решена для компании ООО «БПЕ», являющейся отечественным производителем автоматических комплектных установок повышения и поддержания давления, установок пожаротушения, блочно-модульных насосных станций и шкафов управления насосным оборудованием на основе насосов Grundfos, Wilo, DAB и EBARA. [6, 7]

Актуальность разработки связана с тем, что каждый производитель насосного оборудования предоставляет программное обеспечение, позволяющее работать только с его насосами, и не придерживается какого-либо универсального шаблона технико-коммерческих предложений, вследствие чего сформированные файлы ТКП зачастую содержат слишком много лишней технической информации о предлагаемом оборудовании. Также в данных программах невозможно учесть остальные составляющие компонентов насосных станций, таких, как рама, арматура, коллекторы и т.д.

Для ООО «БПЕ» был спроектирован и разработан программный комплекс, предоставляющий следующие возможности:

- учетная система работы с проектами;
- учетная система работы с контрагентами;
- учетная система работы с подборками в рамках проекта;
- учетная система работы со всеми составляющими насосных станций (насосы, системы управления, коллекторы, трубопроводная арматура, рамы, работы по сборке станций);
- автоматический подбор насосных станций водоснабжения под рабочую точку с выбором систем управления, серий насосов, коллекторов, а также количества основных и резервных насосов (рис. 3);
- построение графиков гидравлических характеристик подобранных насосных станций;
- автоматический расчет себестоимости и габаритных размеров подобранных насосных станций;
- автоматическое формирование ТКП в формате pdf.

Фрагмент сформированного файла ТКП представлен на рис. 4.

На рис. 5 представлена архитектура разработанного программного комплекса, которую можно представить, как взаимодействие следующих элементов:

1. Сервер СУБД:

- 1.1. База данных. Реализация осуществляется с использованием СУБД MySQL. Взаимодействие с другими компонентами системы происходит через API по протоколу ODBC (Open Database Connectivity).
- 1.2. API. Реализован на JavaScript. Служит для обеспечения взаимодействия между СУБД и серверной частью через шину обмена данными по протоколу HTTPS.

2. Сервер. Реализован на языке JavaScript, на платформе NodeJS с использованием фреймворка Express, являющимися в настоящее время наиболее распространенными средствами разработки серверной части, наряду с Java и PHP. Этот компонент отвечает за основную логику подбора насосных станций. Подразделяется на два функциональных модуля:

- 2.1. Модуль подбора насосных станций. На основе требований заказчика выполняет следующие функции:
  - 2.1.1. Расчет полиномиальной аппроксимации гидравлической характеристики насоса;
  - 2.1.2. Расчет себестоимости насосной станции;
  - 2.1.3. Расчет габаритных размеров насосной станции;
  - 2.1.4. Расчет состава арматуры для выбранной насосной станции.
- 2.2. Модуль импортирования составляющих компонентов из файла позволяет обновлять насосы, системы управления, коллекторы и т.д. из файла формата xlsx.

3. Веб-сервисы. Реализуются с использованием JavaScript и фреймворка React – один из самых востребованных фреймворков для создания веб-сервисов, наряду с Angular и Vue, так как позволяет сократить время разработки, за счет использования компонентного подхода. Включают в себя рабочие места администратора, менеджера БПЕ, менеджера компании-партнера, менеджера проектного института, а также ряд модулей, выполняющих следующие функции:

- 3.1. Построение графика аппроксимации гидравлической характеристики насосной станции.
- 3.2. Авторизация.

4. Формирование ТКП в формате pdf.

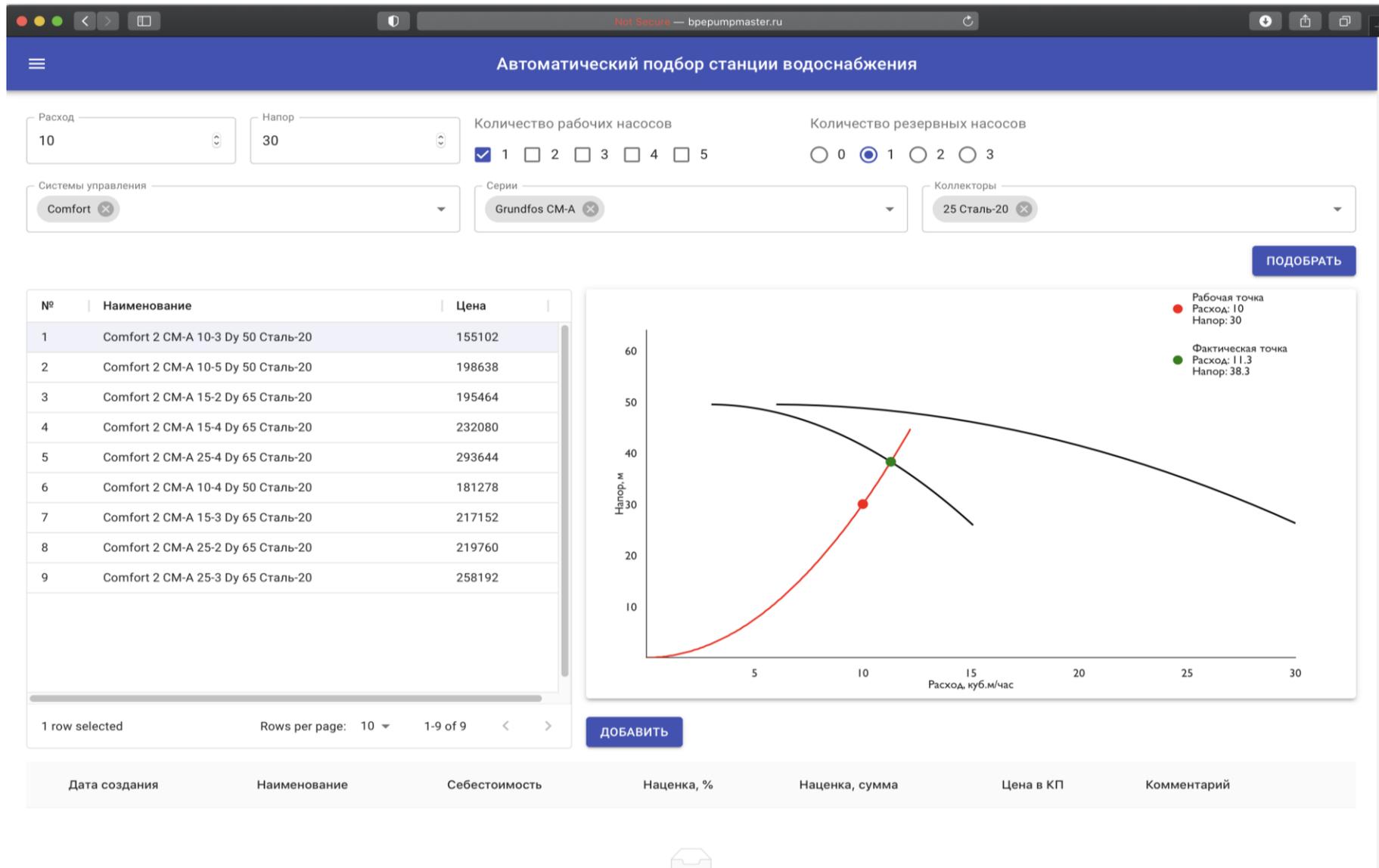
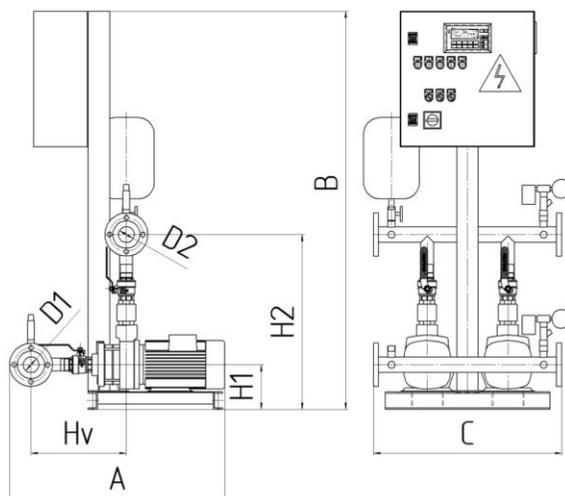


Рис. 3. Окно автоматического подбора станций водоснабжения

Состав установки установки "BPE PumpMaster WS Comfort 2 CM-A 10-3 Dy 50"

1	Насос Grundfos CM-A 10-3	1+1	шт.
2	Система управления Comfort	1	шт.
3	Мембранный бак 8 л	1	шт.
4	Комплект контроля давления с запорным краном, сетчатым фильтром и манометром с возможностью слива и прочистки	1	шт.
5	Комплект контроля сухого хода с запорным краном, сетчатым фильтром и манометром с возможностью слива и прочистки	1	шт.
6	Кран шаровый	4	шт.
7	Обратный клапан	2	шт.
8	Коллектор из стали 20 с порошковой окраской Ду 50	2	шт.
9	Усиленная рама с порошковой окраской	1	шт.

Габаритные размеры установки "BPE PumpMaster WS Comfort 2 CM-A 10-3 Dy 50"



A, мм	B, мм	C, мм	H1, мм	H2, мм	Hv, мм	D1	D2
841	1265	700	165	706	447	Ду 50	Ду 50

Масса станции: 126.9 кг

Потребляемая мощность: 4.4 кВт

Потребляемый ток: 9.6 А

Насосные станции BPE PumpMaster

Насосные станции имеют следующие обозначения:

BPE Pump Master	WS	Multi-E	3	CR 20-5	/ABP
WS					
AF					
WS-AF					
Серия шкафов по типу управления:					
«Comfort» – частотное регулирование (один частотный привод);					
«Multi» - мультичастотное регулирование (на каждый двигатель один частотный привод, встроенный в шкаф)					
«Multi-E» - мультичастотное регулирование (на каждый двигатель один частотный привод, установленный на насос)					
«Multi-EL» - мультичастотное регулирование без панели управления (на каждый двигатель один частотный привод, установленный в шкаф)					
SS – используется устройства плавного пуска на каждый насос.					
SD – для запуска насосов используется способ запуска звезда-треугольник.					
DD – используется прямой пуск насосов.					
Количество насосов в составе станции					
Тип и марка насосов					
Дополнительные опции:					
/ABP – встроенный автоматический ввод резервного питания;					
/GPRS – GPRS-модем для дистанционного мониторинга и управления;					
/Э31 – управление одной задвижкой;					

Принцип работы станций с различным типом регулирования на примере 3-х насосной станции

Comfort - частотное регулирование	Multi - мультичастотное регулирование
<p>В работе 1 насос</p>	<p>В работе 1</p>
<p>В работе 3 насоса</p>	<p>В работе 3 насоса</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Станция <b>Comfort</b> поддерживает постоянное давление путем регулирования частоты вращения одного насоса;</li> <li>Первым всегда запускается насос, подключенный к частотному преобразователю, если этот насос не может поддержать заданное давление, подключаются ещё один или два без частотного преобразователя;</li> <li>Смена насосов осуществляется автоматически в зависимости от нагрузки, наработки и технических неисправностей.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Станция <b>Multi</b> поддерживает постоянное давление путем регулирования частоты вращения всех насосов;</li> <li>Производительность установки меняется по необходимости путём включения/выключения требуемого числа насосов и параллельной регулировки насосов, находящихся в эксплуатации;</li> <li>Все включенные насосы работают с равной частотой вращения;</li> <li>Смена насосов осуществляется автоматически в зависимости от нагрузки, наработки и технических неисправностей.</li> </ul>

Рис. 4. Фрагмент сформированного файла ТКП в формате pdf

Мобильные приложения. Выполняют те же функции, что и веб-сервисы (без рабочих мест администратора, менеджера компании-партнера и менеджера проектного института, а также без возможности импортировать составляющие компоненты насосных станций), но в удобном мобильном виде. Реализуются с использованием фреймворка React Native.

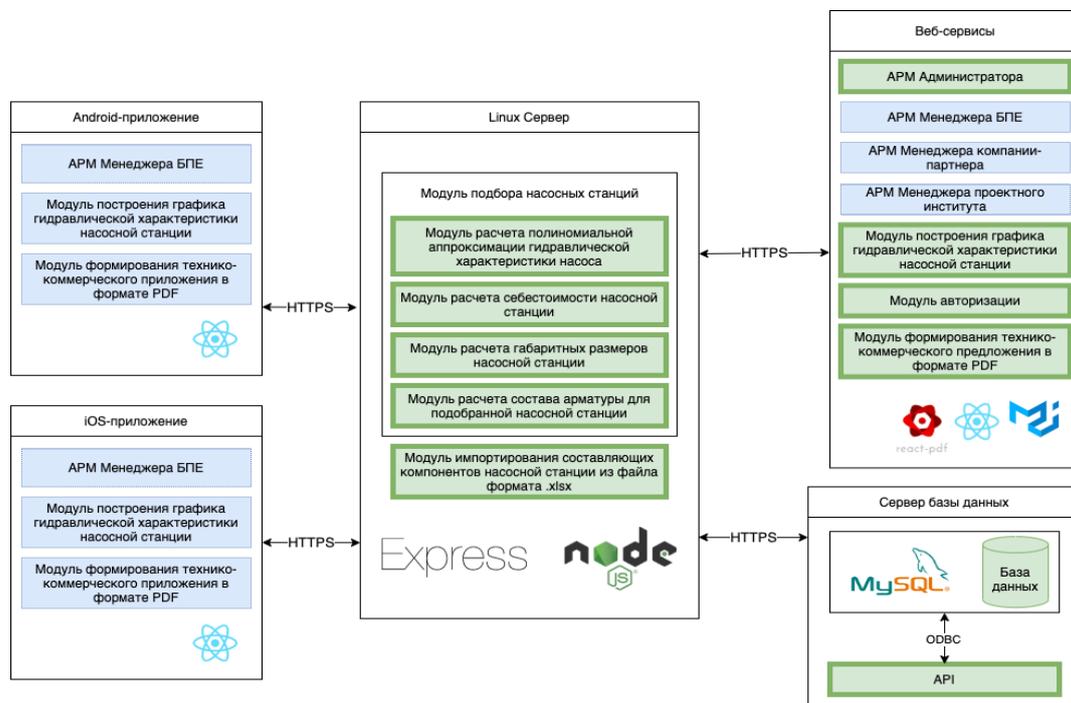


Рис. 5. Архитектура программного комплекса

**Заключение.** В ходе выполнения работы был спроектирован и разработан программный комплекс для автоматического расчета оборудования для водоснабжения и формирования на его основе ТКП. Внедрение программного комплекса на примере ООО «БПЕ» показало его высокую эффективность и позволило достичь следующих результатов:

1. Решена проблема автоматического подбора насосных станций водоснабжения и формирования технико-коммерческих предложений.
2. Значительно сокращено время, затрачиваемое на подбор насосных станций водоснабжения, а также на формирование технико-коммерческих предложений. Среднее время расчета оборудования для водоснабжения и формирования ТКП для участия в тендере составляло не менее рабочей недели. В результате ТКП формируется в автоматическом режиме в течение 1-2 часов с учетом ввода тендерной информации для начала процесса расчета.
3. Сокращено число ошибок при подборе насосных станций водоснабжения. Опытно-промышленная эксплуатация программного комплекса в течение 1 месяца показала отсутствие технических ошибок в подготовке ТКП.

Также разработанный программный комплекс потенциально позволит увеличить число тендеров на поставку систем водоснабжения и пожаротушения, выигранных компанией ООО «БПЕ», за счет своевременного предоставления ТКП и формирования наилучшего предложения, как результат автоматического расчета технических и стоимостных параметров оборудования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Morten Gylling Computer aided product selection tool aids German municipality in pump search // *World Pumps*. 2005. Vol. 2005. Pp. 30-32.
2. Xiaohui Lei Correction of pumping station parameters in a one-dimensional hydrodynamic model using the Ensemble Kalman filter // *Journal of Hydrology*. 2019. Vol. 568. Pp. 108-118.
3. Pawel Olszewski Parametric analysis of pumping station with parallel-configured centrifugal pumps towards self-learning applications // *Applied Energy*. 2018. Vol. 231. Pp. 1146-1158.
4. Peiyuan Mi Integrated optimization study of hot water supply system with multi-heat-source for the public bath based on PVT heat pump and water source heat pump // *Applied Thermal Engineering*. 2020. Vol. 176. A. 115146.
5. Lijian Shi. Numerical simulation and experimental study on the comparison of the hydraulic characteristics of an axial-flow pump and a full tubular pump // *Renewable Energy*. 2020. Vol. 153. Pp. 1455-1464.
6. AGWilo. Intelligent pumps for building automation systems // *World Pumps*. 2007. Vol. 2007. Pp. 26-32.
7. Lisa Blakemore Taking pumping to a higher level // *World Pumps*. 2016. Vol. 2016. Pp. 32-33.
8. Кабанова И.А. Оптимизация процесса проектирования систем водоснабжения с применением базы данных основного оборудования // *Энергосбережение и водоподготовка*. 2020. № 2 (124). С. 60-66.
9. Бутко Д.А., Мельников И.С. Сравнительный анализ технико-экономических показателей, влияющих на выбор схемы системы водоснабжения высотного здания // *Научное обозрение*. 2014. № 7-2.
10. Бубнов В.Б., Дмитриев И.В., Панфилов А.А. Разработка методики расчета напорно-расходных характеристик насосов в системах противопожарного водоснабжения // *Пожарная и аварийная безопасность*. 2019. № 1(12). С. 12-18.

**UDK 004.89**

**DESIGN AND DEVELOPMENT OF THE SOFTWARE COMPLEX FOR AUTOMATIC SELECTION OF PUMPING STATIONS OF WATER SUPPLY AND FORMATION OF TECHNICAL AND COMMERCIAL PROPOSALS**

**Dmitry Titarev**

Associate Professor, Ph.D., e-mail: [titaryovdv@mail.ru](mailto:titaryovdv@mail.ru),

**Maxim Trunnikov**

student, e-mail: [m.trunnikov@mail.ru](mailto:m.trunnikov@mail.ru),

Bryansk state technical university,

241035 Bryansk, boulevard 50 years of October, 7.

**Pavel Volodin**

General Director of BPE LLC, [volodin-pavel@ya.ru](mailto:volodin-pavel@ya.ru),

BPE LLC,

241012 Bryansk, st. Liteinaya, 2B, office 6

**Annotation.** The work is devoted to the design and development of a software package for automatic calculation of parameters and further selection of water supply stations. Based on the calculations performed, the software package allows you to form a technical and commercial proposal for the equipment supplied. Particular attention is paid to the selection of the parameters of the pumping station according to

the data on the head and flow rate at the operating point. This is an important task in the absence of completeness of data provided by equipment manufacturers.

**Keywords:** pumping station, technical and commercial proposal, software package, construction, selection of pumping stations.

#### REFERENCES

1. Morten Gylling Computer aided product selection tool aids German municipality in pump search // *World Pumps*. 2005. Vol. 2005. Pp. 30-32.
2. Xiaohui Lei Correction of pumping station parameters in a one-dimensional hydrodynamic model using the Ensemble Kalman filter // *Journal of Hydrology*. 2019. Vol. 568. Pp. 108-118.
3. Pawel Olszewski Parametric analysis of pumping station with parallel-configured centrifugal pumps towards self-learning applications // *Applied Energy*. 2018. Vol. 231. Pp. 1146-1158.
4. Peiyuan Mi. Integrated optimization study of hot water supply system with multi-heat-source for the public bath based on PVT heat pump and water source heat pump // *Applied Thermal Engineering*. 2020. Vol. 176. A. 115146.
5. Lijian Shi. Numerical simulation and experimental study on the comparison of the hydraulic characteristics of an axial-flow pump and a full tubular pump // *Renewable Energy*. 2020. Vol. 153. Pp. 1455-1464.
6. AGWilo. Intelligent pumps for building automation systems // *World Pumps*. 2007. Vol. 2007. Pp. 26-32.
7. Lisa Blakemore Taking pumping to a higher level // *World Pumps*. 2016. Vol. 2016. Pp. 32-33.
8. Kabanova I.A. Optimizatsiya protsessa proyektirovaniya sistem vodosnabzheniya s primeneniym bazy dannykh osnovnogo oborudovaniya [Optimization of the design process of water supply systems using the database of the main equipment] // *Energoberezhnie i vodopodgotovka*. 2020. № 2 (124). Pp. 60-66.
9. Butko D.A., Melnikov I.S. Sravnitel'nyy analiz tekhniko-ekonomicheskikh pokazateley, vliyayushchikh na vybor skhemy sistemy vodosnabzheniya vysotnogo zdaniya [Comparative analysis of technical and economic indicators affecting the choice of the water supply system of a high-rise building] // *Nauchnoye obozreniye = Scientific Review*. 2014. № 7-2.
10. Bubnov V.B., Dmitriev I.V., Panfilov A.A. Razrabotka metodiki rascheta naporno-raskhodnykh kharakteristik nasosov v sistemakh protivopozharnogo vodosnabzheniya [Development of a methodology for calculating the pressure-flow characteristics of pumps in fire-fighting water supply systems] // *Pozharnaya i avariynaya bezopasnost' = Fire and emergency safety*. 2019. № 1 (12). Pp. 12-18.

УДК 517.15+517.18:519.233.5:63

**ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС «ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ АГРАРНОГО ПРОИЗВОДСТВА»**

**Барсукова Маргарита Николаевна**

к.т.н., зав.кафедрой информатики и математического моделирования,  
e-mail: [margarita1982@bk.ru](mailto:margarita1982@bk.ru)

**Вараница-Городовская Жанна Игоревна**

e-mail: [zhanna\\_gorodovsk@mail.ru](mailto:zhanna_gorodovsk@mail.ru),

**Иваньо Ярослав Михайлович**

д.т.н., профессор, проректор по научной работе, e-mail: [rector@igsha.ru](mailto:rector@igsha.ru)

**Ромме Алексей Александрович**

e-mail: [romme.97@mail.ru](mailto:romme.97@mail.ru),

Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского,  
664038, Иркутский р-он, п. Молодежный

**Аннотация.** Прогнозирование производственно-экономических показателей аграрного производства актуально для составления перспективных планов и программ по развитию агропромышленного комплекса на различных уровнях: регион, муниципальное образование, сельскохозяйственный товаропроизводитель. В статье описан разработанный авторами программный комплекс, позволяющий прогнозировать урожайность сельскохозяйственных культур, затраты труда на получение продукции, объемы производства, финансовые показатели на среднесрочную и долгосрочную перспективы. Для прогностических целей использованы функции роста с насыщением: асимптотическая и логистическая. Программный комплекс апробирован на данных муниципальных районов и сельскохозяйственных предприятий региона. С его помощью определяются значимые модели, позволяющие составлять прогнозы с различной заблаговременностью, а также оценивать прогностические значения с учетом различных условий деятельности сельскохозяйственных предприятий.

**Ключевые слова:** прогнозирование, планирование, модели роста, асимптотическая функция, логистическая функция, программный комплекс.

**Цитирование:** Барсукова М. Н., Вараница-Городовская Ж.И., Иваньо Я. М., Ромме А. А. Программный комплекс «Прогнозирование производственно-экономических показателей аграрного производства» // Информационные и математические технологии в науке и управлении. 2021. № 2 (22). С. 115-123. DOI:10.38028/ESI.2021.22.2.012

**Введение.** Решение задач планирования и прогнозирования на среднесрочную и долгосрочную перспективу актуально для разработки планов и программ развития сельскохозяйственного товаропроизводителя, муниципальных образований, региона и страны [1 - 8]. В процессе прогнозирования с учетом трендов может возникнуть ситуация, когда исходных данных для построения долгосрочного прогноза будет недостаточно. В таких условиях прогноз на десять и более лет невозможен при использовании распространенных методов, ориентированных на исходные данные прошлого. Кроме этого, обработка большого числа временных рядов производственно-экономических показателей показывает, что эмпирические данные лучше описывать нелинейными моделями. При этом продолжительное использование одних и тех же технологий приводит к замедлению тенденций роста, следовательно имеет место некоторое ограничение показателя сверху. В таком случае предполагается использование логистических и асимптотических функций для моделирования временных рядов.

Модели роста с насыщением используются в основном в экологии для моделирования динамики популяций. В работе [9] обобщены разные по структуре математические модели для практического применения, в том числе логистические и асимптотические. Одним из многочисленных примеров использования моделей с верхним предельным значением является модель роста деревьев [10]. Вместе с тем для решения задач прогнозирования и моделирования развития сельского хозяйства модели с насыщением пока не нашли распространения. В частности, в методических рекомендациях [11] предложены большое число моделей и методов моделирования показателей аграрного производства, апробированных на реальных объектах. Между тем в этой работе не приведены примеры использования моделей роста с насыщением. Вместе с тем исследования авторов [2, 3, 4, 7] показывают, что с помощью таких моделей можно расширить круг решаемых задач по прогнозированию показателей аграрного производства.

Целью работы является разработка программного комплекса для реализации математических моделей на основе функций роста с насыщением, позволяющих прогнозировать производственно-экономические показатели аграрного производства.

**Материалы и методы.** В качестве исходных данных в работе использованы материалы Иркутскстата<sup>1</sup>, министерства сельского хозяйства Иркутской области и товаропроизводителей региона.

При оценке закономерностей изменчивости многолетних рядов производственно-экономических показателей использованы корреляционно-регрессионный анализ, а также методы оценки уровня насыщения.

Для создания программного комплекса применены методы проектирования информационных систем. В работе использованы труды исследователей по математическому моделированию и методам прогнозирования производственно-экономических показателей получения аграрной продукции.

**Основные результаты.** Математическое обеспечение разработанного программного комплекса представляет собой линейные и нелинейные модели, описывающие временные ряды производственно-экономических показателей.

В качестве нелинейных зависимостей использованы параболические, гиперболические, показательные и экспоненциальные функции. Дополнение к ним составляют асимптотические и логистические аналитические выражения с верхними и нижними оценками, основанные на моделях роста [2]:

$$\frac{dy}{dt} = k(y_m - y), \quad (1)$$

$$\frac{dy}{dt} = \alpha y(y_m - y), \quad (2)$$

где  $y$  – производственно-экономический показатель,  $y_m$  – уровень насыщения,  $k$ ,  $a$  – коэффициенты, характеризующие скорость роста.

Исходя из начальных и граничных условий, проинтегрировав выражения (1) и (2), получим следующие формулы:

$$y = \frac{y_m}{1 + e^{k_0 + k_1 t}}, \quad (3)$$

$$y = y_m - (y_m - y_{\min})e^{\alpha_0 + \alpha_1 t}, \quad (4)$$

где  $k_0$ ,  $k_1$ ,  $a_0$ ,  $a_1$  – коэффициенты показателей степени, характеризующие рост функций,  $y_{\min}$  – минимальное значение производственно-экономического показателя.

Если при начальных условиях  $t=0$ ,  $k_0$  и  $a_0$  принимают нулевые значения, тогда выражения (3) и (4) преобразуются в следующие функции:

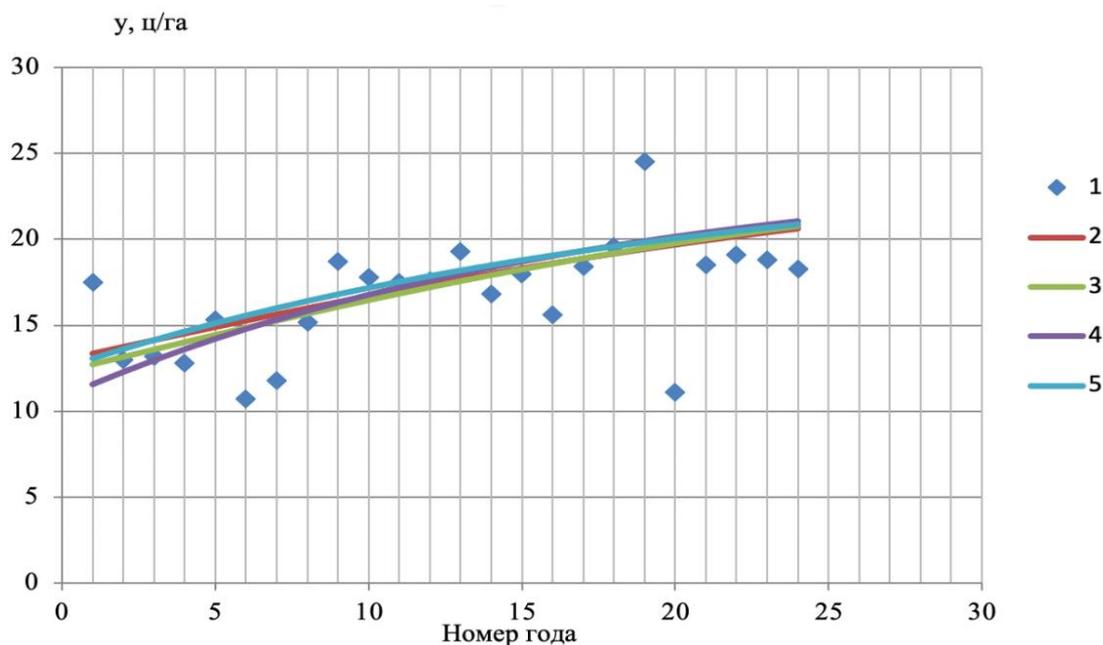
$$y = \frac{y_m}{1+e^{k_1 t}}, \quad (5)$$

$$y = y_m - (y_m - y_{\min})e^{\alpha t}. \quad (6)$$

Особенностью выражений (3) – (6) является наличие оценок  $y_{\min}$  и  $y_m$ . Для их определения можно использовать разные способы. Простейший из них заключается в выборе наибольшего и наименьшего значений эмпирической последовательности с учетом оценки точности показателя [12]. Прибавляя значение точности к максимальному и минимальному значению, получаем искомые оценки  $y_{\min}$  и  $y_m$ . Второй способ заключается в определении  $y_m$  в виде суммы двух слагаемых  $y_m + sy_m$ , где  $s$  – коэффициент, характеризующий возможность роста показателя на перспективу ( $s < 1$ ). Третий способ учитывает мнение эксперта или экспертов по развитию производства.

Для реализации моделей роста (3) – (6) использована надстройка «Регрессия» табличного процессора Microsoft Excel. Для логистической функции формируется ряд значений  $\ln\left(\frac{y_{\max}}{y} - 1\right)$ , а для асимптотического выражения -  $\ln\left(\frac{y_{\max}-y}{y_{\max}-y_{\min}}\right)$  [11].

На основе моделей (3) – (6) построены тренды для урожайности пшеницы по данным Иркутского района за 1996 – 2019 гг. (рис.1).



**Рис. 1.** Динамика урожайности пшеницы Иркутского района по данным за 1996 - 2019 гг. с трендами в виде логистической функции с ненулевой (2), нулевой (3) константой и асимптотической функцией с нулевой (4) и ненулевой константой (5)

В приведенном примере получены модели для прогнозирования на основе предшествующих значений, без привлечения планового показателя на заданную перспективу. Вместе с тем разнообразие предложенных моделей можно увеличить за счет ввода уровня насыщения с некоторым упреждением, например 5 или 10 шагов. В этом

случае используются не только предшествующие значения, но оценка будущей ситуации, к которой стремится товаропроизводитель.

В отличие от моделей роста с насыщением линейный тренд обладает низкой точностью. Для ряда урожайности пшеницы коэффициент детерминации равен 0,28, поэтому линейная модель не может быть использована для прогнозирования параметра. Однако линейные тренды применимы для сравнительного анализа.

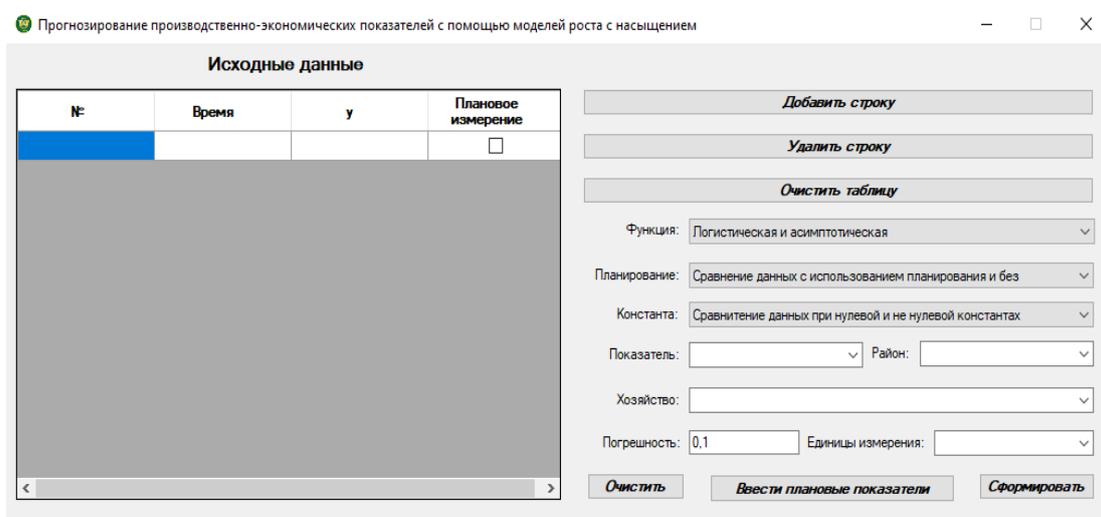
Таким образом, алгоритм реализации моделей роста (1) и (2) применительно к прогнозированию производственно-экономических показателей предполагает следующие варианты решений прогностической задачи [12]:

- 1) выбор модели – асимптотическая, логистическая;
- 2) с учетом константы или принятия ее в качестве нулевого значения;
- 3) с плановым показателем или без его использования;
- 4) с автоматическим заданием верхних и нижних оценок или определением этих оценок пользователем с определением уровней в приемлемом диапазоне;
- 5) аналитическое или графическое решение и другое.

Очевидно, что получение трендов роста связано с конкретным объектом, характеризуемым названием хозяйства, селения, муниципального образования и региона.

Для разработки интерфейса программного комплекса использована среда программирования VisualStudio 2019. Система взаимодействует с MSExcel, позволяя получать данные из табличного процессора и выгружать некоторые результаты в таблицы.

На рисунке 2 представлено окно разработанного программного комплекса.



**Рис. 2.** Пользовательский интерфейс разработанного программного комплекса

Окно программы разделено на две части: в левой части располагается таблица «Исходные данные», в которой вводятся данные для расчёта, в правой - находится группа кнопок для управления таблицей и пункты, отражающие критерии формирования функции(й) (рис. 3).

К критериям выбора относятся пункты: «Планирование», «Константа». Согласно выбираемым критериям будут выполнены расчёты и построены диаграммы (27 вариаций).

Ниже критериев указывается рассчитываемый показатель, выбирается район, хозяйство, определяется погрешность расчетов и единицы измерения.

Рис. 3. Критерии выбора

При формировании функции необходимо учитывать то, что плановый показатель не должен превышать 110% максимального значения эмпирического ряда, что является экспертной оценкой. Для удобства пользователей была разработана форма ввода плановых показателей (рис. 4).

№	Время	y	Плановое измерение
1	2000	12.3	<input type="checkbox"/>
2	2001	13.5	<input type="checkbox"/>
3	2002	16.7	<input type="checkbox"/>

Рис. 4. Форма ввода плановых показателей

При выборе пунктов меню «Планирование» и «Не использовать» вид формы становится иным (рис. 5).

№	Время	y
1	2000	12.3
2	2001	13.5
3	2002	16.7

Рис. 5. Форма, с учетом пунктов «Планирование», «Не использовать»

После заполнения исходных данных необходимо нажать на кнопку «Сформировать». В случае, если данные заполнены верно, появится соответствующее сообщение, оповещающее пользователя о начале формирования документа Microsoft Excel. После чего открывается табличный процессор с данными и диаграммой(ми) (рис. 6).

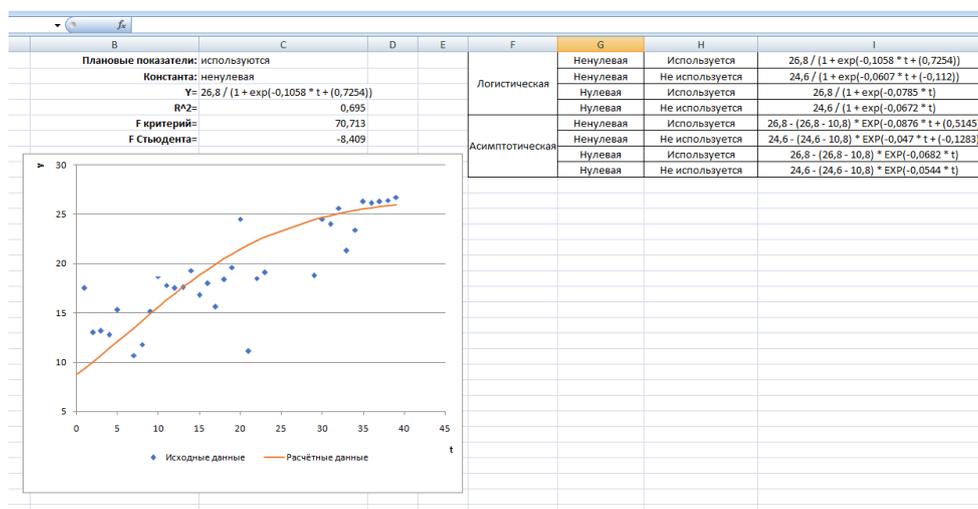


Рис. 6. Сформированный документ

Основными критериями, характеризующими устойчивость модели роста, являются коэффициент детерминации ( $R^2$ ),  $F$ -критерий Фишера и его уровень значимости, а также  $t$ -статистики Стьюдента [9].

Разработанный программный комплекс позволяет определять наилучшие модели для среднесрочного и долгосрочного прогнозирования, оценивать их качество и получать прогнозы. Программный комплекс апробирован на данных сельскохозяйственных предприятий региона.

**Заключение.** Определены математическое и алгоритмическое обеспечение для создания программного комплекса «Прогнозирование производственно-экономических показателей аграрного производства». Для разработки интерфейса программного комплекса использована среда программирования Microsoft Visual Studio 2019. Система взаимодействует с Microsoft Excel, позволяя получать данные из табличного процессора и выгружать некоторые результаты в таблицы. Программный комплекс протестирован на основе данных об урожайности сельскохозяйственных культур по данным Иркутского района за 1996 – 2019 гг. Дальнейшая работа заключается в разработке дополнительного модуля оптимизации производства аграрной продукции с использованием моделей роста с насыщением для прогнозирования показателей.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Асалханов П.Г. О программных комплексах моделирования разных сторон аграрного производства // Материалы Всероссийской (национальной) научно-практической конференции с международным участием, посвященной 55-летию со дня образования экономического факультета (ныне Института экономики, управления и прикладной информатики) «Социально-экономические проблемы развития экономики АПК в России и за рубежом» (19-20 ноября 2020 г.). Иркутск: Изд-во Иркутский ГАУ. 2020. С. 19-26
2. Барсукова М.Н., Иваньо Я.М. Оптимизационные модели планирования производства стабильных сельскохозяйственных предприятий. Иркутск: Изд-во ИрГСХА. 2011. 159 с.

3. Барсукова М.Н., Иваньо Я.М. Приложения параметрического программирования для решения задач оптимизации получения продовольственной продукции. Вестник ИрГТУ. 2017. № 4. С. 57-66.
4. Барсукова М.Н., Бендик Н.В., Белякова А.Ю., Бузина Т.С., Вашукевич Е.В., Иваньо Я.М. Развитие моделей планирования получения продовольственной продукции //Информационные и математические технологии в науке и управлении. 2018. №3(11). С. 96-107.
5. Иваньо Я.М. О некоторых методах математического моделирования в решении задач прогнозирования и планирования производства аграрной продукции //Актуальные вопросы аграрной науки. 2021. № 38. С. 49-57.
6. Иваньо Я.М., Полковская М.Н., Столопова Ю.В. Методы и модели прогнозирования производственно-экономических показателей аграрного производства с учетом их особенностей //Материалы II-й Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Проблемы и перспективы устойчивого развития агропромышленного комплекса», посвященной памяти Александра Александровича Ежевского (5-6 ноября 2020 г.). Иркутск: Изд-во Иркутский ГАУ. 2020. С. 49 – 57.
7. Иваньо Я.М., Сторублевцева П.М. Моделирование аграрного производства с применением прогностических зависимостей и планируемых показателей//Актуальные вопросы аграрной науки. 2020. № 34. С. 59-66.
8. Система ведения сельского хозяйства Иркутской области: В 2 ч. Монография /под редакцией Я.М. Иваньо, Н.Н. Дмитриева. Иркутск: Изд-во ООО «Мегапринт». 2019. Ч. 1. 319 с.
9. Разжевайкин В.Н. Модели динамики популяций. М.: Вычислительный центр им. А.А. Дородницына Российской академии наук. 2006. 88 с.
10. Колобов А.Н., Рубцова Т.А., Фрисман Е.Я. Моделирование динамики роста деревьев по данным геоботанических исследований на примере постоянных пробных площадей на территории заповедника «Бастак» С. 17 – 23.
11. Методические рекомендации по прогнозированию и моделированию развития АПК: офиц. издание М.:ФГНУ «Росинформагротех», 2019. 92 с.
12. Цыренжапова В.В. Асимптотические и логистические модели в прогнозировании урожайности сельскохозяйственных культур //Значение научных студенческих кружков в инновационном развитии агропромышленного комплекса региона: сборник научных тезисов студентов. Молодежный: Изд-во ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ. 2020. С.161-162.

UDK 517.15+517.18:519.233.5:63

**SOFTWARE COMPLEX "FORECASTING PRODUCTION AND ECONOMIC INDICATORS OF AGRICULTURAL PRODUCTION"**

**Margarita N. Barsukova**

candidate of technical sciences, head of department of informatics and mathematical modeling,

e-mail: [margarita1982@bk.ru](mailto:margarita1982@bk.ru),

**Zhanna I. Varanitsa-Gorodovskaya**

e-mail: [zhanna\\_gorodovsk@mail.ru](mailto:zhanna_gorodovsk@mail.ru),

**Yaroslav M. Ivanyo**

doctor of technical sciences, professor, vice-rector for research, e-mail: [rector@igsha.ru](mailto:rector@igsha.ru),

**Alexey A. Romme**

e-mail: [romme.97@mail.ru](mailto:romme.97@mail.ru),

Irkutsk State Agricultural University named after A.A. Ezhevsky,

664038, Molodezhny, Irkutsk district, Irkutsk region,

**Annotation.** Forecasting production and economic indicators of agricultural production is relevant for drawing up long-term plans and programs for the development of the agro-industrial complex at various levels: a region, a municipality, an agricultural producer. This paper describes the created software package that allows predicting the yield of agricultural crops, labor costs for obtaining products, production volumes, financial indicators for the medium and long term. For prognostic purposes, the functions of growth with saturation were used: asymptotic and logistic. The software package has been tested on data from municipal districts and agricultural enterprises of the region. With its help, significant models are determined that make it possible to make forecasts with different lead times, as well as to evaluate prognostic values, taking into account different conditions of agricultural enterprises.

**Keywords:** forecasting, planning, growth models, asymptotic function, logistic function, software package.

REFERENCES

1. Asalhanov P.G. O programmnyh kompleksah modelirovaniya raznyh storon agrarnogo proizvodstva [About software complexes for modeling different sides of agricultural production] // Materialy Vserossijskoj (nacional'noj) nauchno-prakticheskoj konferencii s mezhdunarodnym uchastiem, posvyashchennoj 55-letiyu so dnya obrazovaniya ekonomicheskogo fakul'teta (nyne Instituta ekonomiki, upravleniya i prikladnoj informatiki) «Social'no-ekonomicheskie problemy razvitiya ekonomiki APK v Rossii i za rubezhom» (19-20 noyabrya 2020 g.). Irkutsk: Izd-vo Irkutskij GAU = Publishing house Irkutsk GAU. 2020. Pp. 19-26.
2. Barsukova M.N., Ivan'o YA.M. Optimizacionnye modeli planirovaniya proizvodstva stabil'nyh sel'skohozyajstvennyh predpriyatij [Optimization models of production planning for stable agricultural enterprises]. Irkutsk: Izd-vo IrGSKHA = Publishing house of IrGSKhA. 2011. 159 p.
3. Barsukova M.N., Ivan'o YA.M. Prilozheniya parametricheskogo programmirovaniya dlya resheniya zadach optimizacii polucheniya prodovol'stvennoj produkcii [Parametric programming applications for solving problems of optimizing the production of food products]. Vestnik IrGTU = ISTU Bulletin. 2017. № 4. Pp. 57-66.
4. Barsukova M.N., Bendik N.V., Belyakova A.YU., Buzina T.S., Vashukevich E.V., Ivan'o YA.M. Razvitie modelej planirovaniya polucheniya prodovol'stvennoj produkcii [Development of planning models for obtaining food products] // Informacionnye i

- matematicheskie tekhnologii v nauke i upravlenii = Information and mathematical technologies in science and management. 2018. №3 (11). Pp. 96-107.
5. Ivan'o YA.M. O nekotorykh metodah matematicheskogo modelirovaniya v reshenii zadach prognozirovaniya i planirovaniya proizvodstva agrarnoj produkcii [On some methods of mathematical modeling in solving problems of forecasting and planning the production of agricultural products] //Aktual'nye voprosy agrarnoj nauki = Actual problems of agricultural science. 2021. № 38. Pp. 49-57.
  6. Ivan'o YA.M., Polkovskaya M.N., Stolopova YU.V. Metody i modeli prognozirovaniya proizvodstvenno-ekonomicheskikh pokazatelej agrarnogo proizvodstva s uchetom ih osobennostej [Methods and models for forecasting production and economic indicators of agricultural production, taking into account their characteristics] //Materialy II-j Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii s mezhdunarodnym uchastiem «Problemy i perspektivy ustojchivogo razvitiya agropromyshlennogo kompleksa», posvyashchennoj pamyati Aleksandra Aleksandrovicha Ezhevskogo (5-6 noyabrya 2020 g.). Irkutsk: Izd-vo Irkutskij GAU = Publishing house of Irkutsk GAU. 2020. Pp. 49 – 57.
  7. Ivan'o YA.M., Storublevceva P.M. Modelirovanie agrarnogo proizvodstva s primeneniem prognosticheskikh zavisimostej i planiruemykh pokazatelej [Modeling of agricultural production with the use of predictive dependencies and planned indicators] //Aktual'nye voprosy agrarnoj nauki = Actual problems of agricultural science. 2020. № 34. Pp. 59-66.
  8. Sistema vedeniya sel'skogo hozyajstva Irkutskoj oblasti [Agricultural system of Irkutsk region]: V 2 ch. Monografiya /pod re-dakciej YA.M. Ivan'o, N.N. Dmitrieva. Irkutsk: Izd-vo OOO «Megaprint» = Publishing house of OOO Megaprint. 2019. V. 1. 319 p.
  9. Razzhevajkin V.N. Modeli dinamiki populyacij [Population dynamics models]. M.: Vychislitel'nyj centr im. A.A. Dorodnicyna Rossijskoj akademii nauk = Computing Center. A.A. Dorodnitsyn Russian Academy of Sciences. 2006. 88 p.
  10. Kolobov A.N., Rubcova T.A., Frisman E.YA. Modelirovanie dinamiki rosta derev'ev po dannym geobotanicheskikh issledovanij na primere postoyannykh probnykh ploshchadej na territorii zapovednika «Bastak» [Modeling the dynamics of tree growth according to geobotanical research data on the example of permanent sample plots on the territory of the Bastak reserve]. Pp. 17 – 23.
  11. Metodicheskie rekomendacii po prognozirovaniyu i modelirovaniyu razvitiya APK [Guidelines for forecasting and modeling the development of the agro-industrial complex]: ofic. izdanie – M.:FGNU «Rosinformagrotekh» = FGNU "Rosinformagrotech". 2019. 92 p.
  12. Cyrenzhapova V.V. Asimptoticheskie i logisticheskie modeli v prognozirovanii urozhajnosti sel'skohozyajstvennykh kul'tur [Asymptotic and logistic models in predicting the yield of agricultural crops]//Znachenie nauchnykh studencheskikh kruzhek v innovacionnom razvitii agropromyshlennogo kompleksa regiona: sbornik nauchnykh tezisov studentov. Molodezhnyj: Izd-vo FGBOU VO Irkutskij GAU = Publishing house of FGBOU VO Irkutsk GAU. 2020. Pp. 161-162.