

**ЕМЕЛЬЯНОВСКИЕ ЧТЕНИЯ.
ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И
СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ В УПРАВЛЕНИИ – 2024**

26 июня 2024 г.

СБОРНИК ТРУДОВ

**СМОЛЕНСК
2024**

УДК 338(075.8)
Е60

**ЕМЕЛЬЯНОВСКИЕ ЧТЕНИЯ. ИМИТАЦИОННОЕ
МОДЕЛИРОВАНИЕ И СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ В УПРАВЛЕНИИ – 2024.**

Сб трудов научного семинара. В 1 т. Т 1. – 2024. – 68 с.

ISBN 978-5-91412-538-4

В сборнике публикуются труды участников научного семинара «ЕМЕЛЬЯНОВСКИЕ ЧТЕНИЯ. ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ В УПРАВЛЕНИИ – 2024», в которых изложены результаты оригинальных научно-технических работ в области актуальных проблем науки и высшей школы. Семинар посвящен развитию научного наследия профессора Емельянова А.А. – основателя российской школы имитационного моделирования.

Издание предназначено для научных работников и преподавателей вузов, магистров и аспирантов, осуществляющих исследования в области системного анализа и управления с использованием методов имитационного моделирования.

ISBN 978-5-91412-538-4

©Авторы

©«Универсум»

© филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске. 2024

АНАЛИЗ ИНФОРМАЦИОННЫХ РИСКОВ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЙРО-НЕЧЕТКОЙ МОДЕЛИ

Важным направлением развития ИТ-технологий является построение эффективной системы обеспечения информационной безопасности в телекоммуникационных организациях. В ее основе лежит процесс риск-менеджмента, позволяющий отслеживать состояние информационных активов, выявлять угрозы, уязвимости и риски информационной безопасности, разрабатывать меры по их обработке. В настоящее время существует множество методик анализа информационных рисков, которые различаются используемыми шкалами (метрическими и неметрическими) [1]. В количественных методиках риск оценивается через числовое значение, причем исходными данными выступает статистика по инцидентам. Однако из-за нехватки статистических данных точность такой оценки может быть низкой [2].

Более популярны качественные методики, где используются упрощённые шкалы с тремя уровнями оценки риска: высокий, средний и низкий. Оценка проводится базируется на результатах экспертных опросов, которые в последующем обрабатываются с помощью различных методов.

В отечественной практике используются различные определения понятия «риск». Базовым считает определение, сформулированное в ГОСТ Р 51897-2011, где риск – это «следствие влияния неопределенности на достижение поставленных целей». В ГОСТ Р ИСО/МЭК 27005-2010 вводится понятие «риска информационной безопасности», под которым понимается возможность того, что некоторая угроза сможет воспользоваться уязвимостью актива, в результате чего организации будет нанесен ущерб.

На сегодняшний день существует множество инструментов, которые могут быть использованы для количественного и качественного анализа (метод экспертных оценок, статистический метод, анализ последствий накопления риска, метод использования аналогов и другие). Однако большинство из них очень требовательны к «качеству» информации, которое не всегда можно обеспечить должным образом [3]. В качестве решения предлагает использовать методы интеллектуального анализа данных, в частности, нечеткой логики, которые позволяют получать обоснованные оценки на основе результатов обработки качественных, количественных и экспертных данных [4].

Нечёткая логика - это метод компьютерного «мышления», который позволяет обрабатывать информацию, которая не является ни истинной, ни ложной. Его преимуществами являются: гибкость и простота реализации; возможность принимать решения на основе неточной или неполной информации; способность справляться с неопределённостью; возможность использовать недорогие датчики [5].

В то же время следует отметить и ряд недостатков: не всегда точные результаты; отсутствие возможностей машинного обучения и распознавания образов; необходимость обширного тестирования; сложность определения нечетких правил и функций принадлежности.

Одним из направлений нечетких методов является нейро-нечеткая система, которая является результатом интеграции возможностей искусственной нейронной сети (ИНС) и нечеткой логики. Она объединяет человекоподобное мышление систем нечеткой логики с обучением и коннекционизмом ИНС. В результате такая система обладает мощными и гибкими универсальными аппроксимациями с возможностью распознавания интерпретируемых правил «ЕСЛИ-ТО».

Для программной реализации нейро-нечеткой системы анализа информационных рисков в телекоммуникационной организации было предложено воспользоваться ANFIS-сетью, реализованной в среде Matlab.

ANFIS (Adaptive-Neuro-based Fuzzy Inference System) - адаптивная сеть, функционально эквивалентная системе нечёткого вывода и основанная на алгоритме Такаги-Сугено [6]. Она использует базу нечетких правил типа IF-THEN, которые имеют способность к обучению аппроксимированию нелинейных функций. Архитектура ANFIS состоит из пяти слоёв (рис.1), входными переменными для которых выступают вероятность риска, ущерб от его реализации и достоверность оценки (используются функции принадлежности трапецевидной формы).

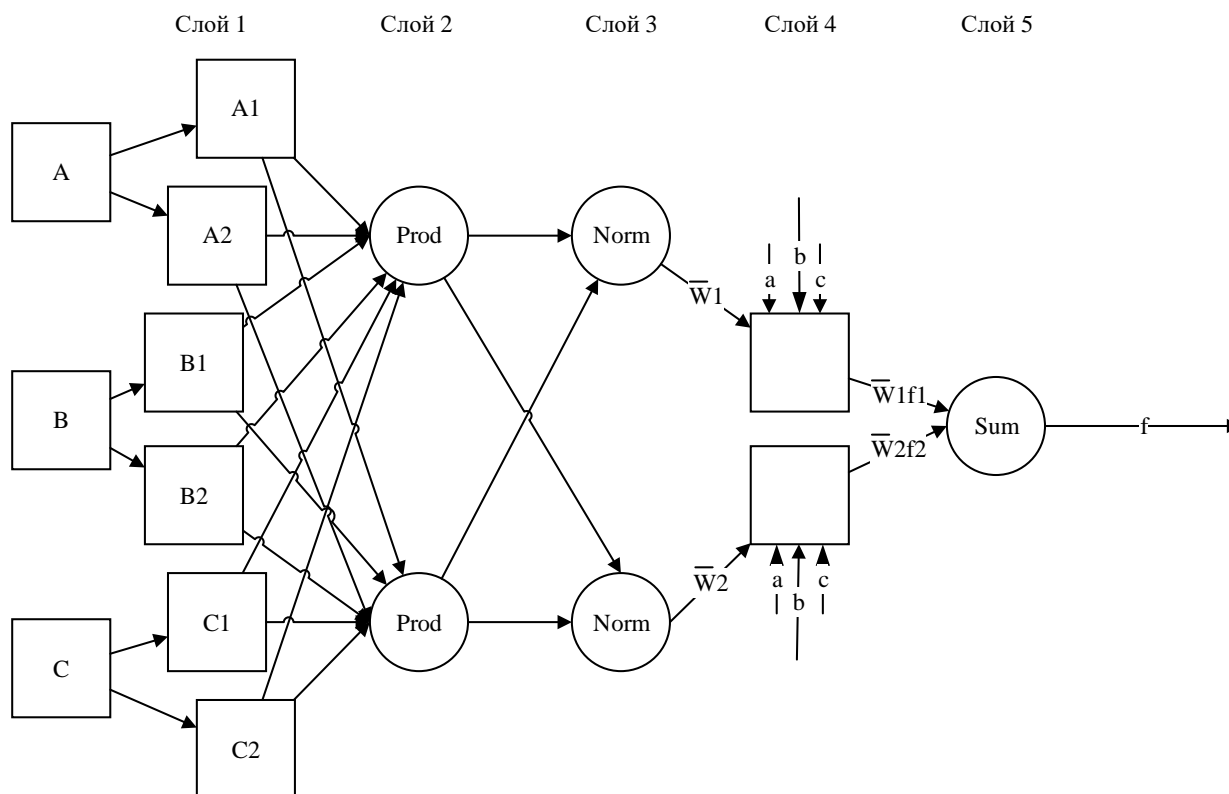


Рисунок 1 – Архитектура нейро-нечеткой модели ANFIS-типа

Первый слой, который является адаптивным, принимает входные значения и определяет функции принадлежности, принадлежащие к ним. Второй слой генерирует силы срабатывания для правил. Третий слой нормализует вычисленные силы срабатывания, деля каждое значение на общую силу срабатывания. Четвертый слой вычисляет заключения правил. Пятый слой представлен единственным узлом, вычисляющим сумму своих аргументов.

В заключение стоит отметить, что предложенный в статье метод интеллектуального анализа информационных рисков, основанный на нейро-нечеткой модели, отличается возможностью полной настройки параметров системы, а также ее обучения для уменьшения погрешности в расчетах, в зависимости от потребностей конкретной организации.

*Работа выполнена в рамках государственного задания,
проект №FSWF-2023-0012.*

Литература

1. Абраменков А.В. Машинное обучение в задаче выявления рисков в госконтроле // Интеллектуальная энергетика: сборник трудов I Всероссийской научно-практической конференции. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2024. С. 153-155.
2. Пучков А.Ю., Соколов А.М., Широков С.С., Прокимнов Н.Н. Алгоритм выявления угроз информационной безопасности в распределенных мультисервисных сетях органов государственного управления // Прикладная информатика. 2023. Т. 18. №2. С. 85-102.
3. Булыгина О.В., Иванова О.А. Инструменты анализа НЕ-факторов при управлении проектными рисками // Научный журнал «Мягкие вычисления и измерения». 2020. Т.33. №8. С.14-25.
4. Пучков А.Ю., Дли М.И., Прокимнов Н.Н., Соколов А.М. Интеллектуальная модель управления рисками нарушения характеристик электромеханических устройств в многостадийной системе переработки рудного сырья // Прикладная информатика. 2023. Т. 18. №1. С. 22-36.
5. Мешалкин В.П., Дли М.И., Пучков А.Ю., Лобанева Е.И. Предварительная оценка прагматической ценности информации в задаче классификации на основе глубоких нейронных сетей // Прикладная информатика. 2021. Т. 16. №3. С. 9-20.
6. Булыгина О.В., Музыченко А.С. Применение нейро-нечеткого классификатора для идентификации проектных рисков // Сборник материалов VII Международной научно-практической конференции «Прикладная математика и информатика: современные исследования в области естественных и технических наук». Тольятти, 2021. С. 114-118.

Н.А. Альхимович, студ.

(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ПРИМЕНЕНИЯ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В СФЕРЕ РОЗНИЧНОЙ ТОРГОВЛИ

Сфера розничной торговли представлена различными экономическими субъектами торгового назначения, на которых осуществляется деятельность по покупке товаров и продукции конечными потребителями. Такие экономические субъекты иначе называются точками розничной торговли. Данная отрасль является одной из наиболее динамично развивающейся в связи с непостоянством потребительского спроса на те или иные товары и ростом предложений от ведущих производителей, чем обусловлен достаточно большой оборотный денежный поток.

Одним из наиболее важных показателей для экономических субъектов розничной торговли помимо показателей финансовой эффективности и

безопасности развития предприятия является популярность среди населения, которая напрямую связана с потребительским спросом на различную продукцию и товары различного назначения. Отсюда можно выделить основной принцип осуществления организационно-экономической деятельности экономических субъектов розничной торговли: важность предложения конечным потребителям лучшего опыта покупки и повышения эффективности работы точки розничной торговли. Таким образом, актуальность настоящего исследования состоит в потребности отрасли розничной торговли в освоении новых перспективных технологий осуществления торговых отношений для привлечения клиентской базы. При этом цель настоящего исследования заключается в освещении основных перспективных направлений применения цифровых технологий в сфере розничной торговли для привлечения конечных потребителей в точки розничной торговли.

Под цифровыми технологиями принято понимать ту совокупность технологий, благодаря которыми можно осуществлять процессы создания, хранения, обработки и распространения данных в электронном виде. Цифровые технологии в наиболее распространённом представлении можно свести к персональным компьютерам и информационным сетям (например, Интернет). Тем не менее данные технологии не могут в полной мере обеспечить наиболее привлекательный и современный имидж точки розничной торговли, поэтому все большее значение в данной сфере обретают полезные цифровые устройства (например, микропроцессорные и микроконтроллерные устройства [1]), которые и представляют собой основные направления применения цифровых технологий в сфере розничной торговли.

Так можно выделить следующие полезные цифровые устройства, имеющие существенные перспективы применения на экономических субъектах розничной торговли:

1. Системы управления очередью, которые предназначены для оптимизации очередей в точке розничной торговли. Ожидание в очередях – одно из наиболее неприятных для покупателей и целевых клиентов явлений на данных экономических субъектах, поэтому автоматизация процесса организации очередности покупателей является одной из наиболее важных задач для руководящего аппарата предприятия розничной торговли при формировании привлекательного и современного имиджа. Системы управления очередями могут быть использованы не только для оптимизации времени ожидания клиента своей очереди и улучшения покупательского опыта, но и для накопления статистических данных, на основании которых руководящий аппарат экономического субъекта розничной торговли сможет сделать вывод о целесообразности тех или иных мероприятий по привлечению клиентской базы.

2. Бесконтактные платежные системы, позволяющие клиентам реализовывать торговые отношения с точкой розничной торговли без

использования наличных денег или пластиковых карт. Как правило, в данной схеме используется смартфон, который может произвести оплату с использованием технологии *QR*-кода и приложения того или иного банка, на счете которого у клиента имеются платёжные средства. Системы бесконтактных платежей позволяют намного быстрее осуществлять процессы оформления покупок и сократить очередь у касс.

3. Сенсорные и интерактивные дисплеи, предназначенные для визуального представления данных о продукции магазина целевому клиенту. Таким образом, потребителем может быть получена информация о реализуемой продукции в точке розничной торговли, об имеющихся на данный момент акциях и скидках, о наличии и количества товарной продукции на складе текущего предприятия. Наличие в точке розничной торговли подобного рода полезных устройств (в частности, интерактивных дисплеев) позволяет вовлечь наибольшее количество клиентов в силу их современности, при этом производимая покупка будет более интересной и привлекательной.

4. Автоматизированные системы инвентаризации, предназначенные для составления точной обстановки на складе в виде отчета по реализуемым товарам и продукции. Основные элементы автоматизированной системы инвентаризации можно представить следующим образом (рисунок 1). При этом, если точка розничной торговли принадлежит некоторой глобальной торговой сети, данный тип цифровых технологий позволяет организовать слежение за наличием и количеством товаров на складе точки розничной торговли и автоматическое пополнение их запасов (то есть оптимизация логистики перевозок товаров между магазинами и центрами распределения). Помимо возможности исключения исчезновения популярного товара с полок точки розничной торговли применение автоматизированных систем инвентаризации позволяет снизить затраты на ручной учёт товаров и продукции на складах (то есть разгружаются от рутинной и достаточно трудоёмкой работы представители рабочего персонала).

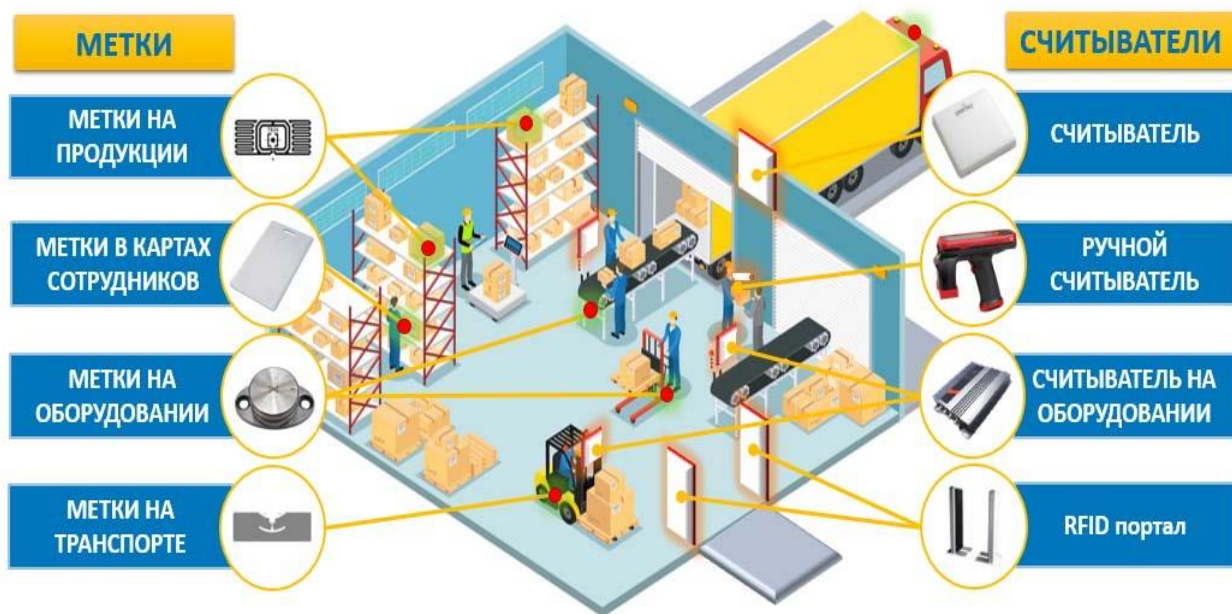


Рисунок 1 - Автоматизированная система инвентаризации

5. Технология *RFID* (*Radio Frequency Identification*), представляющая собой такую беспроводную технологию [2], с помощью которой можно осуществить идентификацию некоторого объекта. В сфере розничной торговли объектами являются товары и продукция, перемещение которых на складах и полках можно отслеживать с помощью *RFID*-меток. Кроме того, использование данной цифровой технологии позволяет организовать управление запасами товаров в точке розничной торговли и персонализированные предложения для целевых клиентов. Несложно заметить и другую перспективу данной технологий, которая заключается в облегчении работы персонала и повышении эффективности клиентского обслуживания.

6. Цифровые торговые платформы, позволяющие магазинам присутствовать в интернете, предлагая клиентам возможность делать покупки онлайн. Цифровые торговые платформы обеспечивают магазинам новые возможности для привлечения и удержания клиентов.

Таким образом, отрасль розничной торговли нуждается в освоении новых перспективных технологий осуществления торговых отношений для привлечения клиентской базы. Так были освещены основные перспективные направления применения цифровых технологий в сфере розничной торговли для привлечения конечных потребителей. Рассмотренные технологии позволяют точкам розничной торговли создавать привлекательные клиентские опыты, повышать эффективность работы и улучшать конкурентные позиции.

Литература

1. Мартин Т. Микроконтроллеры Atmega. Семейство микроконтроллеров AVR. Вводный курс. – М.: изд. Додэка-XXI, 2010. – 296 с.
2. Таненбаум Э., Уэзеролл Д. Беспроводные сети. 5-е изд. - М.: Техносфера, 2016. - 323 с: ил.

ОПТИМИЗАЦИЯ ТРАНСПОРТНЫХ ЛОГИСТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРЕДПРИЯТИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МУРАВЬИНЫХ АЛГОРИТМОВ

В последние годы управление транспортными логистическими процессами стало важным аспектом эффективного функционирования предприятий различных отраслей экономики. С ростом конкуренции и усложнением цепочек поставок, особенно в лесопромышленном комплексе, возрастает необходимость оптимизации логистических операций для обеспечения своевременной и экономически эффективной доставки пиломатериалов [1]. Одним из перспективных подходов решения этой задачи является использование методов стохастической оптимизации, отличающихся введением случайного фактора в поисковый алгоритм, что позволяют формировать оптимальные или близкие к ним маршруты за приемлемое время, даже в условиях большой размерности [2].

Наиболее остро задачи оптимизации логистических процессов стоят перед лесопромышленными предприятиями, где высокие затраты на транспортировку и хранение пиломатериалов существенно влияют на общую стоимость продукции. Внедрение методов стохастического поиска в систему управления логистикой позволяет не только сократить затраты, но и повысить гибкость и адаптивность логистических процессов к изменяющимся условиям внешней среды. Например, особенно актуально такая задача стоит в лесопромышленном комплексе, где логистические цепочки включают множество взаимосвязанных этапов и участников, а также требуют учета большого количества условий и ограничений.

Таким образом, возникает актуальная научная задача разработки и внедрения стохастических методов для оптимизации транспортных логистических процессов, решения которой позволит повысить эффективность управления деятельностью лесопромышленных предприятий и конкурентоспособность их продукции.

Поставленная оптимизационная задача относится к задаче коммивояжера, которая является одной из классических проблем комбинаторной оптимизации, целью которой является нахождение кратчайшего маршрута, проходящего через заданное множество городов и возвращающегося в исходный пункт. Решение этой задачи имеет огромное практическое значение в логистике, планировании маршрутов и других сферах, где требуется оптимизация последовательности посещения по различным пунктам [3].

Перспективным способом решения указанной проблемы является использование методов роевого интеллекта, которые, основываясь на моделировании коллективного поведения биологических организмов (например, муравьев, пчёл, бактерий и т.п.), позволяют находить оптимальные стратегии управления сложными социально-экономическими системами [4]. Их

отличительной особенностью является возможность обработки множества возможных решений с учетом набора ограничений [5]. Один из самых известных алгоритмов решения задач по поиску маршрутов на графах и нахождению приближительных решений для задачи коммивояжера является муравьиный алгоритм, который имитирует пищедобывательное поведение колонии муравьев.

Суть этого алгоритма заключается в моделировании поведения колонии муравьев в процессе поиска оптимальных путей от муравейника к источнику пищи на основе анализа информации о «феромонных метках». В этом алгоритме муравьиная колония рассматривается как мультиагентная система, в которой все агенты действуют самостоятельно по очень простым правилам, при этом вся колония ведет себя крайне разумно.

Коллективное поведение состоит в том, что множество независимых агентов (муравьев) взаимодействуют посредством среды, оставляя «феромонные метки». Каждый муравей действует на основе локальной информации, принимая решения о направлении движения исходя из концентрации феромонов на различных маршрутах и эвристической информации (расстояние до цели). По мере увеличения числа муравьев, использующих определенные маршруты, возрастает уровень феромонов на этих путях, делая их более привлекательными для других муравьев. Таким образом, ускоряется поиск кратчайшего пути, поскольку успешные маршруты с высокой концентрацией феромонов привлекают больше муравьев.

Муравьиные алгоритмы также обладают высокой адаптивностью. Если на пути появляется препятствие, муравьи начинают искать альтернативные маршруты, и по мере нахождения нового пути они оставляют феромоны на новых маршрутах. Испарение феромонов на старых, теперь неиспользуемых маршрутах позволяет алгоритму забывать неактуальные пути и сосредотачиваться на новых [6]. Это свойство позволяет алгоритму быстро приспосабливаться к изменяющимся условиям и находить оптимальные решения в динамических средах.

Для успешной реализации задачи коммивояжера с использованием муравьиного алгоритма необходимо учитывать и настраивать несколько «свободных» параметров, в частности:

- интенсивность феромонов должна быть в диапазоне от 0.1 до 1.0,
- коэффициент испарения феромонов — в пределах от 0.5 до 0.9, чтобы предотвратить преждевременную сходимость к локальным минимумам;
- величина эвристического коэффициента, определяющая вес эвристической информации, рекомендуется в диапазоне от 1.0 до 2.0;
- коэффициент феромонов — от 2.0 до 5.0;
- оптимальное количество муравьев должно быть достаточно большим для хорошего покрытия пространства решений, но не слишком большим, чтобы избежать избыточных вычислительных

затрат; рекомендуется использовать от 10 до 50 муравьев, в зависимости от размера задачи.

Обновление феромонов может происходить глобально после завершения маршрута всеми муравьями или локально после каждого шага, что позволяет быстрее реагировать на изменения. Гибридизация муравьиного алгоритма с другими методами оптимизации, такими как генетические алгоритмы, и внедрение методов локальной оптимизации, например 2-opt, может значительно повысить эффективность поиска оптимальных решений. Применение адаптивных методов для динамической настройки параметров алгоритма позволяет ему лучше приспосабливаться к различным условиям задачи, что поможет достичь лучших результатов.

Отдельно необходимо отметить необходимость проработки условий, которые должны определяться в процессе постановки задачи (например, максимально разрешенный вес автотранспорта и погодные условия на дороге, которые могут влиять на доступность и безопасность маршрутов). Эти условия необходимо учитывать как ограничения в задаче условной оптимизации, чтобы обеспечить не только оптимальные, но и безопасные и выполнимые маршруты.

Предлагаемый подход применим к логистическим задачам в других областях и сферах, где требуется оптимизация маршрутов. Например, в ритейле он может учитывать не только расстояние, но и время доставки, загруженность дорог и другие факторы. Как представляется, внедрение этого метода позволит повысить эффективность логистических операций и снизить транспортные затраты.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда №22-11-00335, <https://rscf.ru/project/22-11-00335/>

Литература

1. Балацкий Д.Е. Перспективы применения машинного обучения при производстве и потреблении энергии // Интеллектуальная энергетика: сборник трудов I Всероссийской научно-практической конференции. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2024. С. 235-237
2. Bobkov V.I., Bulygina O.V., Vereikina E.K. Using population algorithms to optimize the temperature regime of roasting phosphorite pellets // Journal of Applied Informatics, 2022, vol. 17, no. 6, pp. 94-101.
3. Балацкий Д.Е. Проблемы автоматизации процесса закупок пиломатериалов в организациях оптовой торговли // Наука и образование: актуальные вопросы, достижения и инновации: сборник статей III Международной научно-практической конференции: в 2 ч. Часть 1. Пенза, 2022. С. 125-128
4. Bulygina O.V., Ivanova O.A., Khamidullin R.Y., Zyrianov S.I. Tools of organizational change management using swarm intelligence methods // Journal of Applied Informatics, 2021, vol. 16, no. 2, pp. 123-130.
5. Bulygina O.V., Kulyasov N.S., Yartsev D.D. Directions for modifying the artificial bee colony algorithm to optimize control parameters for complex systems // Journal of Applied Informatics, 2024, vol. 19, no. 1, pp. 28-37.
6. Пчельников В.Д., Бульгина О.В. Использование алгоритма муравьиных колоний для формирования бюджета на маркетинговые коммуникации // Емельяновские чтения. Имитационное моделирование и системный анализ в управлении - 2023. Сборник трудов научного семинара. Смоленск, 2023. С. 41-43.

*М.И. Дли, д.т.н., проф., Е.К. Верейкина, асп.
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске,
ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Москва)*

ДВУХКРИТЕРИАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ КЛАССИФИКАЦИИ ПОВЕДЕНЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ

При эксплуатации сложных систем достаточно часто возникают задачи, связанные с оптимизацией как отдельных параметров и элементов, так и их взаимодействия для повышения технических и экономических показателей как отдельных элементов, так и всей системы в целом. Эти задачи, связанные с нахождением наилучших решений в многомерном пространстве возможных параметров, относятся к классу задач глобальной оптимизации, целью которых является поиск наиболее эффективных решений, удовлетворяющих целевой функции в условиях возможных ограничений. В тоже время резкий рост числа обрабатываемых параметров системы и ограничения различного рода, которые только усиливаются, определяют потребность в применении современных математических методов и мощных вычислительных средств для увеличения эффективности решения подобных задач [1]. Также необходимо отметить, что в настоящее время такие задачи характеризуются такими чертами как: нелинейность, недифференцируемость, мультимодальность и высокая вычислительная сложность оптимизационных функций.

Представленные особенности затрудняют применение универсальных подходов к их решению и объясняют существующее разнообразие методов глобальной оптимизации, а также многочисленные модификации и гибридные варианты существующих алгоритмов. Существенное место среди данных инструментов занимают поведенческие алгоритмы, позволяющие учитывать большое число параметров, показывать достаточную эффективность и скорость работы. Вместе с тем их многообразие, представленное в российской и зарубежной литературе [2,3], делает актуальной проблему выбора алгоритма для решения задачи в рамках конкретного практического примера.

Впервые алгоритмы, получившие название поведенческих, начали использоваться для решения такого рода задач с 1980-х годов, в ответ на потребность в росте эффективности принимаемых решений и развитии технических средств обработки информации [4]. Они также еще именуется как алгоритмы, вдохновленные природой (nature-inspired algorithms) и популяционные алгоритмы (population algorithms). Под такими алгоритмами понимается совокупность стохастических поисковых методов, основанных на моделировании поведения групп (популяций) агентов, взаимодействующих между собой и коллективно ищущих оптимальное решение задачи [5].

На сегодняшний день разработано достаточно много поведенческих алгоритмов, наиболее популярные из которых представлены в таблицы по году появления (таблица 1).

Таблица 1-Наиболее популярные поведенческие алгоритмы

| № | Год | Наименование | Английский эквивалент названия |
|----|------|-------------------------------------------|--------------------------------|
| 1. | 1992 | Алгоритм муравьиной колонии | Ant colony optimisation |
| 2. | 2002 | Бактериальная оптимизация | Bacterial Optimization, BO |
| 3. | 2005 | Алгоритм светлячков | FireFlay Algorithm, FFA |
| 4. | 2005 | Пчелиный алгоритм | Bees Algorithm, BA |
| 5. | 2007 | Алгоритм обезьян | Monkey algorithm |
| 6. | 2009 | Кукушкин поиск | Cuckoo Search, CS |
| 7. | 2010 | Алгоритм, инспирированный летучими мышами | Bat-Inspired Algorithm, BIA |

Основными критериями оценки эффективности популяционных алгоритмов являются надежность и скорость сходимости алгоритма. Под первым понимается оценка вероятности локализации глобального экстремума, где в качестве граничного значения может приниматься, например, минимальное значение целевой функции, достигаемое в ходе оптимизации, или заданный уровень точности, который алгоритм должен достигнуть при решении поставленной задачи. При анализе скорости сходимости алгоритма учитывается величина математического ожидания необходимого числа испытаний (вычислений значения оптимизируемой функции), которая может зависеть от сложности задачи, характеристик алгоритма и его настройки. Чем меньше это значение, тем быстрее алгоритм достигает оптимального решения. Эти параметры позволяют оценить, каким образом алгоритм находит решение, близкое к глобальному экстремуму в различных условиях. В связи с этим анализ и использование данных критериев для выбора наиболее подходящего популяционный алгоритм в конкретных практических задачах оптимизации представляется перспективным.

С этим учетом описанных критериев предлагается следующая модель классификации алгоритмов, представленная на рисунке 1.

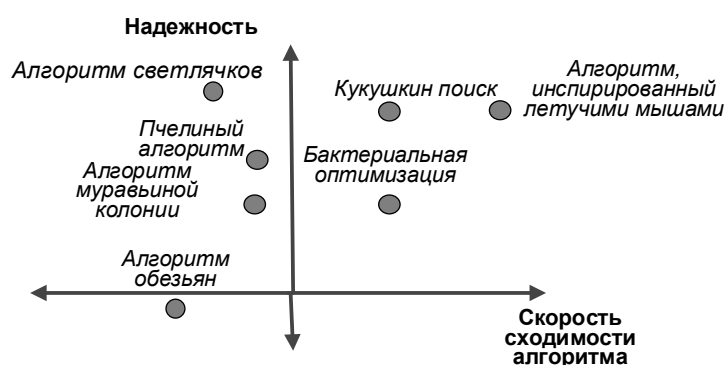


Рисунок 1 - Модель классификации наиболее популярных популяционных алгоритмов по основным критериям

Как видно из рисунка по критерию надежности все рассмотренные алгоритмы, за исключением алгоритма светлячков и алгоритма обезьян,

показывают высокую стабильность в решении сложных задач оптимизации. Алгоритмы АСО, ВОА, ВА и СS обеспечивают устойчивые результаты в различных сценариях, демонстрируя высокий уровень надежности. По второму рассматриваемому критерию алгоритмы светлячков, кукушкин поиск и летучих мышей, характеризуются высокой скоростью сходимости. В отличие от них, алгоритмы АСО, ВОА и ВА требуют большего количества итераций для достижения качественных результатов. Безусловно, выбор конкретного алгоритма оптимизации зависит от специфики решаемой задачи. В тоже время можно отметить, что алгоритмы FA, CS и ВА являются предпочтительными для задач, требующих быстрой сходимости, в то время как АСО и ВОА могут быть более эффективными в условиях, где важна стабильность и надежность решений.

Таким образом, для решения любой задачи оптимизации среди множества существующих оптимизационных методов, включая популяционные алгоритмы, всегда можно найти хотя бы один подход, который обеспечит приемлемые результаты. Однако не существует универсального алгоритма, способного одинаково эффективно решать все задачи оптимизации. По этой причине для каждого популяционного алгоритма можно выделить классы задач, которые он решает либо лучше, либо наравне с другими методами, либо менее эффективно. В рамках данного исследования была предложена модель классификации существующих алгоритмов на основе наиболее значимых критериев. Такое представление может стать наглядным инструментом для практиков в этой области, а также позволит упорядочить существующее многообразие подходов к оптимизации. Классификация включает в себя алгоритмы, которые демонстрируют высокую надежность и стабильность при решении различных задач оптимизации, такие как АСО, ВОА и СS, а также те, которые обладают высокой скоростью сходимости, включая алгоритм светлячков и кукушкин поиск. Это упрощает выбор подходящего алгоритма в зависимости от конкретных условий задачи и требований к результатам, что является важным для практического применения алгоритмов оптимизации в различных областях.

Исследование выполнено за счет гранта РНФ №22-11-00335

Литература

- 1 Грибанова Е. Б. Стохастический алгоритм поиска глобального минимума функции // Прикладная информатика. 2017. № 2 (68). С. 29.
- 2 Курейчик В. М., Кажаров А. А. Использование роевого интеллекта в решении NP-трудных задач // Известия ЮФУ. Технические науки. 2011. № 7 (120). С. 30–37.
3. Yang H. S. Nature-inspired Metaheuristic Algorithms. Luniver Press, 2010. U.K., pp. 81–95.
4. Bulygina O.V., Kulyasov N.S., Yartsev D.D. Directions for modifying the artificial bee colony algorithm to optimize control parameters for complex systems // Journal of Applied Informatics. 2024. Vol. 19. No. 1. P. 28-37.
5. Гимаров В. В., Глушко С. И., Дли М. И. Конфигурирование информационных и транспортных сетей в условиях неопределенности // Прикладная информатика, 2012. № 6(42). С. 26.

ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОЦЕССА КАЛИБРОВКИ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ

Оптико-электронные системы широко применяются в различных областях, таких как медицина, промышленность, научные исследования. Для обеспечения высокой точности качества работы таких систем критическое значение имеет процесс калибровки. Традиционные методы калибровки могут быть трудоёмкими и требовать высококвалифицированного персонала. В связи с этим для обеспечения большей продуктивности и меньшей затраты средств, следует сделать процесс калибровки автоматическим или полуавтоматическим. Для решения вопроса с автоматизацией процесса калибровки одним из простых решений является применение нейросетей.

Нейронные сети представляют собой мощный инструмент машинного обучения, способный автоматически адаптироваться к различным условиям и задачам, что делает их перспективным инструментом в области оптимизации процессов. [1]

Существует множество методов калибровки оптико-электронных систем, включая классические методы, такие как методы наименьших квадратов и методы на основе фильтров Калмана. Однако с развитием технологий машинного обучения появились новые методы, основанные на нейронных сетях. Нейронные сети, представляя собой один из наиболее продвинутых методов машинного обучения, имеют способность эффективно анализировать и интерпретировать большие объемы данных. Это позволяет им выявлять сложные зависимости и закономерности, которые традиционные алгоритмы могут упускать. В контексте калибровки оптико-электронных систем это означает, что нейронные сети могут быть обучены на исторических данных калибровки, чтобы предсказывать и корректировать текущие параметры системы с высокой точностью.

Типовая архитектура нейронной сети показана на рисунке 1.



Рисунок 1 - Типовая архитектура нейронной сети

Входной слой нейронной сети принимает входные данные, представленные в виде векторов. Количество нейронов во входном слое соответствует размерности входных данных. Например, если входные данные имеют 100 признаков, то входной слой будет содержать 100 нейронов. [0]

Скрытые слои нейронной сети выполняют промежуточные вычисления и обрабатывают информацию, поступающую из входного слоя. Скрытые слои могут включать в себя различные типы нейронов и архитектур, такие как полно связные слои, сверточные слои и рекуррентные слои, в зависимости от задачи и данных. Количество скрытых слоев и количество нейронов в каждом слое могут варьироваться в зависимости от конкретной архитектуры сети. Например, глубокие нейронные сети могут иметь десятки или даже сотни скрытых слоев.

Выходной слой нейронной сети генерирует выходные данные, которые представляют собой результат работы сети. Количество нейронов в выходном слое зависит от количества параметров, которые требуется оптимизировать или предсказать. Например, если задача сети заключается в классификации изображений на 10 классов, то выходной слой будет содержать 10 нейронов, каждый из которых отвечает за один из классов.

Каждый нейрон в сети связан с нейронами предыдущего и последующего слоев с помощью весов, которые определяют вклад каждого нейрона в окончательное значение.

Весы настраиваются автоматически в процессе обучения сети, когда она подстраивается под обучающие данные. [2]

Чтобы применить нейронные сети для калибровки оптико-электронных систем необходимо выполнить следующие процедуры:

- сбор данных, в процессе которого собираются данные о работе оптико-электронной системы. Эти данные могут включать входные сигналы, выходные сигналы и параметры системы. Например, если система используется для измерения расстояния, то входные сигналы могут быть данными с датчиков, а выходные сигналы могут быть показаниями расстояния на экране. Параметры системы могут включать различные характеристики, например, такие как: точность, диапазон измерений, скорость работы;

- обработка данных, которая осуществляется с помощью нейронной сети для определения калибровочных параметров: нейронная сеть обучается на исторических данных, полученных при калибровке аналогичных систем, и использует эту информацию для определения оптимальных параметров для новой системы. Обучение может проводиться в несколько этапов (рисунок 2) с постепенным усложнением задач;

- валидация и тестирование на тестовом наборе данных: это позволяет оценить эффективность обученной сети на новых данных и выявить ее

способность к обобщению. В случае успешной валидации сеть готова к использованию для калибровки опико-электронных систем;

- применение обученной нейронной сети для калибровки опико-электронной системы: система принимает входные данные о текущем состоянии и параметрах, и с помощью нейронной сети определяет оптимальные настройки и корректировки для достижения требуемой точности и надежности.

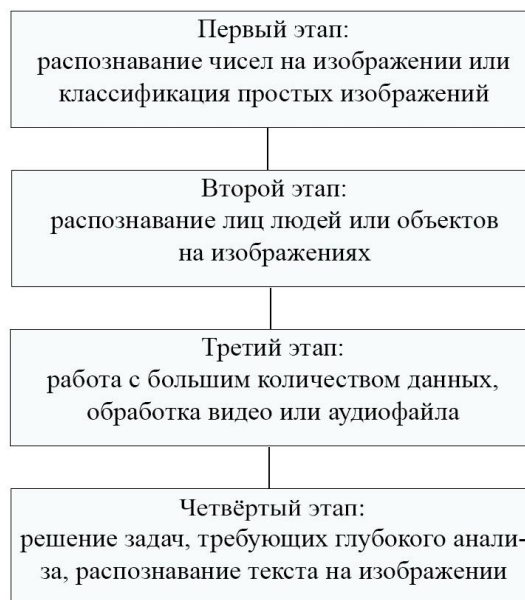


Рисунок 2 - Этапы обучения с постепенным усложнением задач

Таким образом, применение нейронных сетей для улучшения процесса калибровки опико-электронных систем представляет собой перспективное направление развития. Однако, несмотря на значительные преимущества, существует ряд недостатков и ограничений, которые необходимо учитывать.

К недостаткам применения нейронных сетей для оптимизации процесса калибровки можно отнести:

- требования к качеству и объему данных: для эффективного обучения нейронной сети необходимо большое количество качественных данных. Недостаток данных или наличие шумов может существенно снизить точность и надежность модели;

- высокие вычислительные затраты: Процесс обучения нейронных сетей, особенно глубоких, требует значительных вычислительных ресурсов и времени, что может быть недоступно для некоторых организаций;

- черный ящик: нейронные сети часто рассматриваются как «черный ящик», так как внутренние процессы и принятие решений сети могут быть непрозрачными и трудно интерпретируемыми, что вызывает сложности в диагностике и корректировке ошибок;

- переобучение: существует риск переобучения, когда модель слишком хорошо подстраивается под обучающие данные и теряет способность обобщать на новые данные. Это может привести к снижению точности при реальной эксплуатации;

- необходимость регулярного обновления: в условиях изменяющихся условий эксплуатации и новых данных требуется регулярное обновление и повторное обучение модели, что может быть трудоемким и ресурс затратным процессом;

- проблемы с обобщением: нейронные сети могут плохо обобщать на данные, которые сильно отличаются от тех, на которых они были обучены. Это может стать критичным, если в процессе калибровки встречаются неожиданные или редко встречающиеся случаи.

В целом, глубокое обучение предлагает значительные преимущества в сокращении времени и улучшения точности процесса настройки оптических систем. [0]

Продолжение исследований в данной сфере может привести к созданию автоматизированных систем калибровки, что в итоге улучшит работу оптико-электронных систем и повысит их эффективность за счет точной настройки и координации компонентов.

Литература

- 1 Практическая реализация калибровки на основе нейронных сетей для оптико-электронных систем / Zhang, Wei и др. - Материал конференции IEEE по компьютерному зрению и распознаванию образов, 2021. - 91 с.
- 2 Журнал искусственного интеллекта в инженерии, том 15 / Li, Chen, и др. -2018. - 82 с.
- 3 IEEE Transaction spo индустриальной информатике. Топ 9/ Garcia, Maria, и др. - 2019. - 215 с.

*Н.Д. Кравченко, студ.; К.С. Маслов, студ.
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ОПТИКОЭЛЕКТРОННЫХ ПРИБОРОВ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ И МОНИТОРИНГА ЗАБОЛЕВАНИЙ

Оптикоэлектронные приборы играют важную роль в современной медицине, обеспечивая высокую точность, неинвазивность и возможность раннего выявления патологий. В данной статье рассматриваются перспективы развития этих приборов, их текущие достижения и будущие направления в области медицинской диагностики.[2]

Современные оптикоэлектронные приборы существенно изменили методы диагностики заболеваний. Например, оптическая когерентная томография (ОКТ) позволяет визуализировать слои тканей с микронным разрешением и особенно эффективна в офтальмологии для диагностики заболеваний сетчатки и глаукомы. Флуоресцентная микроскопия, позволяющая выявлять и анализировать биомаркеры на молекулярном уровне, широко используется для диагностики онкологических заболеваний. Спектроскопия, применяемая для анализа химического состава тканей, помогает диагностировать заболевания на ранних стадиях, такие как рак и диабет.

В области мониторинга состояния здоровья оптоэлектронные приборы также демонстрируют значительный прогресс:

- пульсоксиметры: используются для измерения уровня кислорода в крови, что особенно важно при лечении заболеваний легких и сердечно-сосудистой системы;[3]

- глюкометры: на основе оптических технологий позволяют непрерывно мониторить уровень глюкозы у пациентов с диабетом;

- фитнес-трекеры и умные часы могут измерять пульс, уровень кислорода и другие биометрические параметры в режиме реального времени.

Одним из основных направлений развития оптоэлектронных приборов является разработка новых технологий, которые смогут повысить точность диагностики и улучшить мониторинг состояния здоровья пациентов. В частности, использование наноструктур и плазмонных эффектов в нанооптике и плазмонике позволяет создавать высокочувствительные сенсоры. Биофотоника, применяющая свет для анализа биологических систем на клеточном и молекулярном уровнях, открывает новые горизонты для медицины. Гибридные технологии, которые комбинируют оптические и другие физические методы, позволяют повысить чувствительность и специфичность диагностики.

Искусственный интеллект (ИИ) и машинное обучение открывают новые возможности для анализа данных, полученных с оптоэлектронных приборов. Интеграция ИИ позволяет автоматизировать диагностику, используя алгоритмы для интерпретации результатов обследований, что снижает нагрузку на врачей и уменьшает вероятность ошибок. Персонализированная медицина, основанная на анализе больших данных и машинном обучении, помогает создавать индивидуальные планы лечения на основе уникальных характеристик каждого пациента. Использование ИИ для ранней диагностики скрытых патологий значительно улучшает прогноз и эффективность лечения.[1]

Развитие портативных и мобильных оптоэлектронных приборов открывает новые возможности для диагностики и мониторинга заболеваний в условиях, где традиционные методы недоступны. Примеры таких устройств включают портативные УЗИ-аппараты, мобильные спектрометры и беспроводные датчики, которые могут непрерывно передавать данные о состоянии здоровья пациента на медицинские серверы для анализа и хранения.

Оптоэлектронные приборы обладают рядом преимуществ перед традиционными методами диагностики и мониторинга. Большинство оптических методов не требуют инвазивного вмешательства, что снижает риск осложнений и улучшает комфорт пациента. Высокая точность оптических технологий позволяет получать изображения и данные с высоким разрешением, что способствует точной диагностике. Оптоэлектронные приборы позволяют получать результаты практически в реальном времени, что важно для быстрого принятия решений в экстренных ситуациях.

Несмотря на множество преимуществ, существует ряд вызовов, которые необходимо преодолеть для широкого внедрения оптоэлектронных приборов в медицинскую практику. Рассмотрим 3 основных вызова, представленные на рисунке 1.

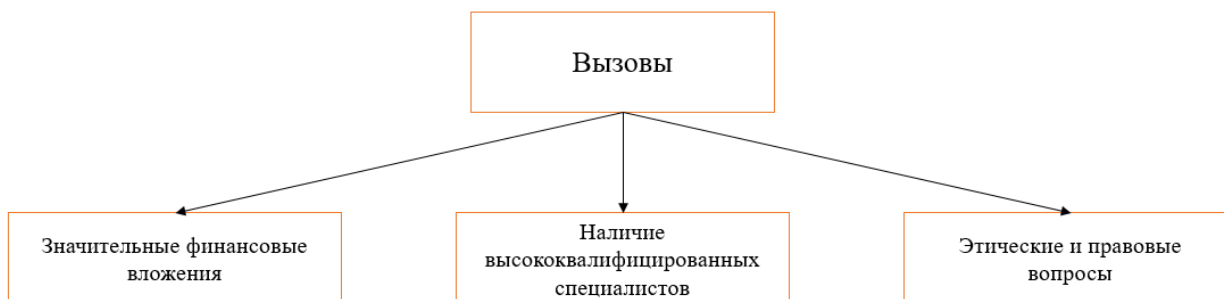


Рисунок 1 - Вызовы, которые необходимо преодолеть для внедрения оптоэлектронных приборов в медицинскую практику

Разработка и производство оптоэлектронных приборов часто требуют значительных финансовых вложений, что может ограничивать их доступность. Для работы с высокотехнологичными оптическими приборами необходимы высококвалифицированные специалисты. Также использование ИИ и больших данных в медицине требует решения множества этических и правовых вопросов, связанных с конфиденциальностью и безопасностью данных пациентов.

Однако, кроме вышеперечисленных вызовов, важно учитывать следующие аспекты при разработке оптоэлектронных приборов и использовании ИИ в медицине:

- необходимость соблюдения стандартов качества и безопасности при производстве и эксплуатации приборов, особенно в медицинских целях;
- внедрение новых технологий требует обучения и поддержки отраслевых специалистов, чтобы гарантировать правильное использование и максимальную эффективность;[5]
- вопросы охраны интеллектуальной собственности и патентования новых разработок в области оптики и медицинской техники играют важную роль в стимулировании инноваций и инвестиций;
- необходимость учитывать этические аспекты в разработке и использовании приборов, такие как соблюдение принципов недискриминации, конфиденциальности данных и уважения к пациентам.

Поэтому, при создании и использовании оптоэлектронных приборов в медицине важно учитывать все вышеперечисленные факторы и вызовы для обеспечения успешной и ответственной практики в данной области.

Оптоэлектронные приборы представляют собой перспективное направление в области диагностики и мониторинга заболеваний. Их развитие

способствует повышению точности, быстроты и неинвазивности медицинских обследований. Интеграция с искусственным интеллектом и разработка новых технологий открывают новые горизонты для персонализированной медицины и ранней диагностики. Однако для широкого внедрения оптикоэлектронных приборов необходимо решить ряд технических, финансовых и этических вызовов. В будущем оптикоэлектронные приборы станут неотъемлемой частью медицинской практики, способствуя улучшению качества диагностики и лечения пациентов.[4]

Рассмотрим несколько примеров успешного применения оптикоэлектронных приборов. В области ранней диагностики рака использование флуоресцентной микроскопии и спектроскопии позволяет выявлять раковые клетки на самых ранних стадиях, что значительно улучшает прогноз и позволяет начать лечение раньше. Мониторинг состояния пациентов с хроническими заболеваниями, таких как диабет и сердечная недостаточность, значительно облегчается благодаря глюкометрам и пульсоксиметрам, которые позволяют врачам отслеживать состояние пациентов в режиме реального времени. В телемедицине портативные и мобильные устройства, такие как портативные УЗИ-аппараты и мобильные спектрометры, позволяют проводить диагностику и мониторинг в удаленных и труднодоступных районах, что расширяет доступ к медицинской помощи.

В будущем ожидается, что исследования и разработки в области оптикоэлектронных приборов будут направлены на повышение чувствительности и специфичности приборов, разработку новых материалов и технологий. Миниатюризация и интеграция устройств будут способствовать созданию более компактных и удобных в использовании приборов. Также будут разрабатываться интуитивно понятные интерфейсы и системы поддержки принятия решений, которые помогут врачам и пациентам эффективно использовать оптикоэлектронные приборы.[7]

Таким образом, сочетание передовых технологий, таких как биофотоника, нанооптика и искусственный интеллект, вместе с развитием портативных и мобильных устройств, обещает значительные улучшения в области медицины. Эти достижения будут способствовать не только улучшению диагностики и лечения, но и расширению доступа к медицинской помощи, особенно в отдаленных и труднодоступных районах. В конечном итоге это приведет к улучшению здоровья и качества жизни людей по всему миру.

Литература

1. Казанцев, Г. Н., Иванов, А. П. Оптическая когерентная томография: применение в офтальмологии. *Офтальмологический журнал*, 2018, 12(3), 45-52.
2. Петров, В. В., Сидорова, М. И. Флуоресцентная микроскопия в диагностике онкологических заболеваний. *Онкология и радиология*, 2020, 6(2), 78-85.
3. Козлов, А. В., Соколов, Д. А. Спектроскопия для анализа химического состава биологических тканей. *Биофизика и медицинская физика*, 2019, 8(4), 112-118.
4. Иванов, П. Н., Смирнов, Е. В. Пульсоксиметрия в медицинской практике. *Медицинская техника*, 2017, 5(1), 34-41.

5. Соколов, В. В., Жуков, С. Н. Нанооптика и плазмоника: новые технологии для создания высокочувствительных сенсоров. *Оптика и спектроскопия*, 2018, 9(2), 56-63.

6. Михайлов, А. И., Кузнецов, И. В. Биоптоника: применение в медицине на клеточном и молекулярном уровнях. *Биомедицинская оптика*, 2021, 11(3), 89-94.

7. Захаров, А. В., Горбачев, И. А. Искусственный интеллект в медицине: перспективы и вызовы. *Медицинские технологии и оборудование*, 2019, 7(4), 221-230.

*К.С. Маслов, студ.; Н.Д. Кравченко, студ.
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ КОРАБЕЛЬНЫХ ОПТИКО- ЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ

Эволюция и современные тенденции развития оптико-электронных систем (ОЭС) для военно-морских судов демонстрируют значительный прогресс от ранних оптических наблюдательных средств к сложным электронным системам. Эти изменения включают интеграцию с радиолокационными системами и повышение возможностей в противоракетной обороне и целеуказании. [1]

Внедрение ОЭС на военно-морских судах значительно расширило возможности морской обороны. Ранние оптические устройства, такие как телескопы и бинокли, обеспечивали ограниченное ситуационное осознание, но появление электронных систем в середине XX века значительно улучшило эту ситуацию.

Первые оптико-электронные системы появились на военных кораблях индустриально развитых стран в начале 1950-х годов. До этого времени наблюдение велось с помощью оптических приборов или невооруженным глазом. К середине 1970-х годов корабли были оснащены сложными оптико-электронными системами, включающими низкоуровневые телевизионные камеры, тепловизионные камеры и лазерные дальномеры.

Изначально ОЭС считались альтернативными системами к радиолокаторам и в основном использовались для управления короткоствольными и очень короткоствольными зенитными артиллерийскими комплексами [2]. Однако из-за сильной зависимости от погодных условий они не могли серьезно конкурировать с радиолокаторами в то время. [3]

С развитием оптико-электронного приборостроения, особенно с разработкой высококачественных многоэлементных приемников инфракрасного излучения, чувствительность ОЭС значительно увеличилась. Это улучшение повысило их роль в системах обороны кораблей, особенно в обнаружении низколетящих противокорабельных ракет (ПКР). Современные ОЭС могут обнаруживать дозвуковые и сверхзвуковые ПКР сразу после их появления за оптическим горизонтом даже в неблагоприятных погодных условиях. Традиционный взгляд на ОЭС и радиолокаторы как конкурирующие технологии изменился. В настоящее время они рассматриваются как взаимодополняющие компоненты интегрированной системы обнаружения корабля [4]. В этой многоспектральной системе ОЭС отвечают за

первоначальное обнаружение воздушных целей в зоне ближнего горизонта, а радиолокаторы подтверждают наличие цели и измеряют ее дальность и скорость.

Современные корабельные ОЭС можно разделить на две категории в зависимости от их функций.



Рисунок 1 - Категории современных корабельных ОЭС

Первую категорию составляют системы управления огнем, которые обнаруживают и сопровождают воздушные и надводные цели, обеспечивая работу короткоствольных и очень короткоствольных ракетно-артиллерийских комплексов корабля. Эти системы полагаются на внешнее целеуказание от других корабельных информационных систем.

Вторую категорию представляют системы поиска и обнаружения, которые автономно проводят начальный поиск и обнаружение воздушных и надводных целей. Существует устоявшееся мнение о функциональных возможностях, технических требованиях, составе оборудования и структуре программного обеспечения систем управления огнем. Эти системы производятся с очень похожими характеристиками в большинстве индустриально развитых стран.

Учитывая, что текущие характеристики ОЭС приближаются к теоретическим пределам, установленным оптическими свойствами морской атмосферы, в ближайшем будущем не ожидается значительных улучшений в дальности обнаружения и сопровождения. Однако другие важные характеристики, такие как упрощение структуры систем, уменьшение размеров и веса, а также снижение стоимости, вероятно, улучшатся. Эти изменения в первую очередь обусловлены развитием некулевых многоэлементных приемников излучения, особенно микроболометрических матриц. [5]

Ограничения существующих оптико-электронных систем на военно-морских судах значительны и включают в себя несколько ключевых аспектов. Прежде всего, современные ОЭС требуют охлаждающих устройств, которые имеют ограниченный срок службы и нуждаются в регулярной замене. Это увеличивает эксплуатационные затраты и снижает общую надежность систем. Кроме того, характеристики современных ОЭС приближаются к теоретическим пределам, установленным оптическими свойствами морской атмосферы, что означает, что в ближайшем будущем не ожидается значительных улучшений в дальности обнаружения и сопровождения целей. Разработка некулевых

фотодетекторных матриц ожидается устранением этого недостатка, что приведет к созданию более компактных, надежных и экономически эффективных систем.

Другие ограничения существующих ОЭС:

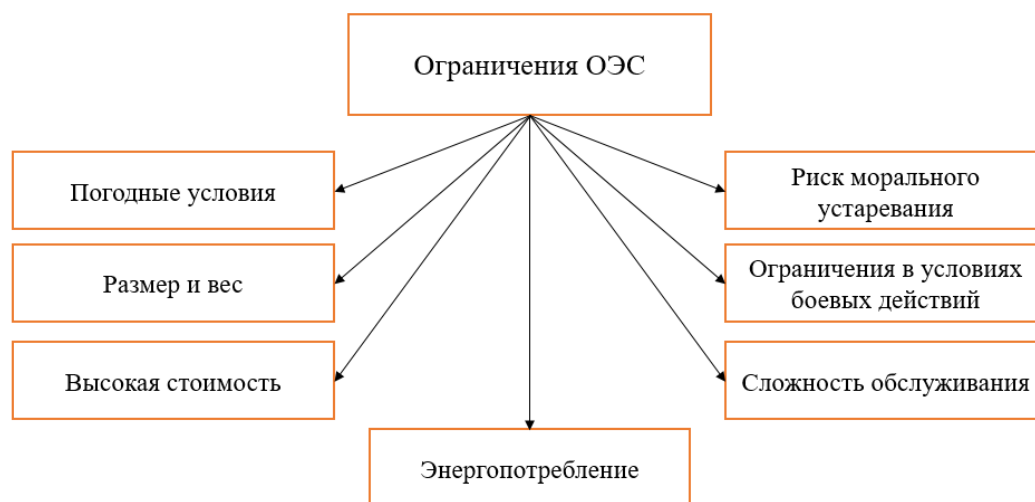


Рисунок 2 - Ограничения ОЭС

Рассмотрим ограничения существующих ОЭС более подробно:

- погодные условия: ОЭС сильно зависят от погодных условий, таких как туман, дождь и снег, которые могут значительно снизить эффективность работы систем;

- размер и вес: современные ОЭС, как правило, крупногабаритные и тяжелые, что затрудняет их установку на меньших судах и увеличивает требования к конструкции корабля;

- высокая стоимость: производство и эксплуатация ОЭС требуют значительных финансовых вложений, что ограничивает их распространение и доступность для всех типов военно-морских судов;

- энергопотребление: ОЭС потребляют много энергии, что может быть проблемой для кораблей с ограниченными энергетическими ресурсами;

- сложность обслуживания: обслуживание и ремонт ОЭС требуют высококвалифицированного персонала и специальных условий, что увеличивает эксплуатационные расходы;

- ограничения в условиях боевых действий: в условиях интенсивных боевых действий эффективность ОЭС может снижаться из-за перегрузки систем и помех;

- риск морального устаревания: быстрое развитие технологий приводит к тому, что недавно внедренные системы могут быстро устаревать, требуя частых обновлений и модернизаций.

Опико-электронные системы стали неотъемлемой частью морской обороны, так как представляют критически важные возможности в обнаружении и поражении целей. Продолжающиеся улучшения в технологии

некулевых инфракрасных датчиков обещают дальнейшее совершенствование этих систем, делая их более эффективными и надежными [5]. Будущее морской оптикоэлектроники заключается в дальнейшей интеграции передовых технологий датчиков и разработке более универсальных и способных систем.

Одним из ключевых направлений в развитии оптико-электронных систем является внедрение искусственного интеллекта и машинного обучения для улучшения анализа данных и принятия решений. Это позволяет системам быстрее и точнее идентифицировать угрозы и автоматически настраивать параметры для оптимального функционирования. Внедрение нейронных сетей для обработки изображений и данных с сенсоров может значительно повысить эффективность и скорость работы ОЭС, особенно в условиях интенсивного боевого действия. [6]

Еще одним перспективным направлением является интеграция оптико-электронных систем с беспилотными летательными аппаратами (БПЛА). БПЛА могут быть оснащены передовыми ОЭС для проведения разведки и наблюдения в труднодоступных или опасных для кораблей районах. Эта интеграция позволит расширить зону контроля и оперативно реагировать на потенциальные угрозы.

Кроме того, исследуются возможности использования квантовых технологий для создания новых типов сенсоров, которые смогут обнаруживать цели с еще большей точностью и на больших расстояниях. Квантовые сенсоры могут предоставить информацию, которая недоступна современным оптико-электронным системам, что значительно усилит возможности военно-морских сил. [7]

Таким образом, развитие оптико-электронных систем для военно-морских судов остаётся динамичным и многогранным процессом, направленным на повышение боеспособности и оперативной эффективности военно-морских сил. Интеграция передовых технологий, таких как искусственный интеллект, беспилотные аппараты и квантовые сенсоры, обещает открыть новые горизонты и значительно улучшить защиту и боевые возможности кораблей в условиях современного морского боя.

Литература

1. Первые оптико-электронные системы на военных кораблях / Журнал военной техники / 1950. - С.110-127.
2. Тарасов В.В., Якушенков Ю.Г. Двух- и многодиапазонные оптикоэлектронные системы. - Логос, 2007. - С.192.
3. Совершенствование оптико-электронного приборостроения / Обзор морской обороны / 1970.
4. Маринич А. Н. Современное судовое оборудование средств электронной навигации, ГМССБ и береговая единая система контроля и управления судоходством: монография / А. Н. Маринич, А. В. Припотнюк, Ю. М. Устинов [и др.] / под ред. Ю. М. Устинова. - Петропавловск-Камчатский: Изд-во Камчатского ГТУ, 2007. - С.261.
5. Разработка некулевых инфракрасных датчиков / Журнал оборонной электроники / 2000. - С.77-78.
6. Обнаружение ракетных угроз с некулевыми системами / Ежеквартальный обзор безопасности и обороны / 2020. - С.33-56.
7. Сравнительные исследования сканирующих и стационарных ИКСТ систем / Бюллетень военно-морских исследований / 2020. - С.12-77.

*Митьков М.И., Баннов В.А., студ.; А.В. Юрков, д. ф.-м. н., проф.
(РГПУ им. Герцена, г. Санкт-Петербург)*

ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ НА ПЕРЕКРЁСТКЕ У МЕТРО «НЕВСКИЙ ПРОСПЕКТ»

В рамках дисциплины "Моделирование систем", преподаваемой студентам 2 курса направления подготовки "Информационные технологии в дизайне" в РГПУ, изучается, в частности, имитационное моделирование. Среди базовых учебников, обеспечивающих изучение общих вопросов теории систем в рамках дисциплины, - известные учебники А.А. Емельянова. Практические навыки имитационного моделирования осваиваются с использованием программного средства AnyLogic [1]. Получаемые в ходе изучения дисциплины знания оказались результативными для исследования актуальной городской транспортной проблемы и стали стимулом к приобретению студентами профессиональных компетенций.

Ключевые слова: моделирование, имитационное моделирование, трафик, оптимизация, дорожное движение, инфраструктура, перекрёсток, Anylogic.

С развитием экономики количество машин на дорогах становится всё больше. Доступность личного автотранспорта даёт большие преимущества для современного гражданина, в особенности, независимость от маршрутов общественного транспорта. Но с этим и возникает важная для обсуждения проблема — как при быстрых темпах роста количества личного автотранспорта, адаптировать старые дороги для современного трафика.

Эту проблему можно решить с помощью средств имитационного моделирования как способ выявления определённых ситуаций на дорогах.

Цель данной работы: выявить опасные ситуации, которые складываются на перекрёстке Невского проспекта и Набережной канала Грибоедова методом имитационного моделирования в программном средстве AnyLogic и сравнить их с реальными проблемами на перекрёстке.

Поиск статистической информации и её анализ. Исходя из данных Комплексной схемы организации дорожного движения в Санкт-Петербурге (2021) [1] и исследования Яндекса «Автомобильные пробки в Санкт-Петербурге» (2015) [2] можно выявить примерную загруженность дорог города в течение рабочего дня. Проинтегрировав график «загруженность дорог Санкт-Петербурга в течении рабочего дня» методом левых прямоугольников, соотнесём полученный результат с информацией из Комплексной схемы организации дорожного движения Санкт-Петербурга 2021 г. Получим следующие данные:

Критической точки дорожный трафик достигает в промежутки 18:00-19:00 и в 8:00-9:00 (максимум в 18:00-19:00) и стабилизируется в период 10:00-17:00 МСК. Соотношение между количеством автомобилей, двигающихся по Невскому проспекту и по набережной канала Грибоедова, было выявлено нами наблюдательным путём.

| Направление движения | 10:00-17:00 (машин/час) | 18:00-19:00 (машин/час) |
|-------------------------------|----------------------------|----------------------------|
| С востока Невского пр. | ≈500 | ≈1000 |
| С запада Невского пр. | ≈500 | ≈1000 |
| С юга наб. кан. Грибоедова | ≈50 | ≈100 |
| С севера наб. кан. Грибоедова | ≈50 | ≈100 |

Полученные данные не являются полностью объективными поскольку не в полной мере отражают действительность: во-первых, зависимость количества автомобилей и уровень пробок на дороге может не быть линейной, во-вторых выборка исследования Яндексa и выборка КСОДД Санкт-Петербурга соответствует разным годам, в-третьих наше наблюдение соотношения разности количества машин двигающийся по главной дороге и второстепенной дороге тоже имело малую выборку, но несмотря на это реализованная модель в среде AnyLogic предполагает возможность использования разных исходных данных.

Реализация модели в среде AnyLogic. Модель реализована с помощью Библиотеки дорожного движения [3]. Создание модели можно разбить на несколько этапов:

1. *Создание дороги:*

Перенос спутникового снимка в графическую диаграмму и создание поверх неё дорожной системы:



Нарисуем и обозначим дороги:

- Невский проспект со стороны станции метро Маяковская — «Маяковская»

- Невский проспект со стороны Казанского собора — «Казанский»
- Набережная канала Грибоедова с юга — «Грибоедов»

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>Маяковская - Дорога</p> <p>Имя: <input type="text" value="Маяковская"/></p> <p><input type="checkbox"/> Исключить <input checked="" type="checkbox"/> Отображается на верхнем агенте</p> | <p>Казанский - Дорога</p> <p>Имя: <input type="text" value="Казанский"/></p> <p><input type="checkbox"/> Исключить <input checked="" type="checkbox"/> Отображается на верхнем агенте</p> |
| <p>Грибоедов - Дорога</p> <p>Имя: <input type="text" value="Грибоедов"/></p> <p><input type="checkbox"/> Исключить <input checked="" type="checkbox"/> Отображается на верхнем агенте</p> <p><input type="checkbox"/> Блокировать</p> <p>Видимость: <input checked="" type="radio"/> да</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Одностороннее движение</p> <p>Кол-во полос основного движения: <input type="text" value="2"/></p> | <p>Экс_Каз_Парк - Дорога</p> <p>Имя: <input type="text" value="Экс_Каз_Парк"/></p> <p><input type="checkbox"/> Исключить <input checked="" type="checkbox"/> Отображается на верхнем агенте</p> <p><input type="checkbox"/> Блокировать</p> <p>Видимость: <input checked="" type="radio"/> да</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Одностороннее движение</p> <p>Кол-во полос основного движения: <input type="text" value="1"/></p> |

- Съезд с «Казанский» на Набережную канала Грибоедова — «Экс_Каз_Парк»

• Дорога, соединяющая «Экс_Каз_Парк», «Грибоедов», и Невский проспект — «Грибоедов_Невск»;

• Набережная канала Грибоедова со стороны Дома компании «Зингер» — «Зингер»;

- Набережная канала Грибоедова со стороны Храма Воскресения Христова

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>Грибоедов_Невск - Дорога</p> <p>Имя: <input type="text" value="Грибоедов_Невск"/></p> <p><input type="checkbox"/> Исключить <input checked="" type="checkbox"/> Отображается на верхнем агенте</p> <p><input type="checkbox"/> Блокировать</p> <p>Видимость: <input checked="" type="radio"/> да</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Одностороннее движение</p> <p>Кол-во полос основного движения: <input type="text" value="2"/></p> | <p>Зингер - Дорога</p> <p>Имя: <input type="text" value="Зингер"/></p> <p><input type="checkbox"/> Исключить <input checked="" type="checkbox"/> Отображается на верхнем агенте</p> <p><input type="checkbox"/> Блокировать</p> <p>Видимость: <input checked="" type="radio"/> да</p> <p><input type="checkbox"/> Одностороннее движение</p> <p>Кол-во полос основного движения: <input type="text" value="1"/></p> <p>Кол-во полос встречного движения: <input type="text" value="1"/></p> <p>Ширина разделительной полосы: <input type="text" value="0.0"/> м</p> <p>Цвет разделительной полосы: <input type="text" value="green"/></p> |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

на крови — «Спас»;

- Дорога между двумя перекрёстками — «Меж_Пер».

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>Меж_Пер - Дорога</p> <p>Имя: <input type="text" value="Меж_Пер"/></p> <p><input type="checkbox"/> Исключить <input checked="" type="checkbox"/> Отображается на верхнем агенте</p> <p><input type="checkbox"/> Блокировать</p> <p>Видимость: <input checked="" type="radio"/> да</p> <p><input type="checkbox"/> Одностороннее движение</p> <p>Кол-во полос основного движения: <input type="text" value="4"/></p> <p>Кол-во полос встречного движения: <input type="text" value="4"/></p> <p>Ширина разделительной полосы: <input type="text" value="0.0"/> м</p> <p>Цвет разделительной полосы: <input type="text" value="green"/></p> | <p>Спас - Дорога</p> <p>Имя: <input type="text" value="Спас"/></p> <p><input type="checkbox"/> Исключить <input checked="" type="checkbox"/> Отображается на верхнем агенте</p> <p><input type="checkbox"/> Блокировать</p> <p>Видимость: <input checked="" type="radio"/> да</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Одностороннее движение</p> <p>Кол-во полос основного движения: <input type="text" value="2"/></p> |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

Обозначим 5 парковок:

- Парковка по левой стороне с юга Набережной канала Грибоедова — «Гриб_Парк_Лев»
- По правой — «Гриб_Парк_Прав»
- С западной стороны «Зингер» — «Зинг_Парк_Прав»
- С восточной — «Зинг_Парк_Лев»,
- Парковка на съезде с «Казанский» на «Грибоедова» — «Казанск_Парк»

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Гриб_Парк_Лев - Парковка Имя: Гриб_Парк_Лев <input type="checkbox"/> Исключить <input checked="" type="checkbox"/> Отображается на верхнем агенте <input type="checkbox"/> Блокировать Видимость: <input checked="" type="radio"/> да Тип: <input type="radio"/> Параллельная <input checked="" type="radio"/> Перпендикулярная Кол-во парковочных мест: 16 Длина парковочного места: 6.5 м | Гриб_Парк_Прав - Парковка Имя: Гриб_Парк_Прав <input type="checkbox"/> Исключить <input checked="" type="checkbox"/> Отображается на верхнем агенте <input type="checkbox"/> Блокировать Видимость: <input checked="" type="radio"/> да Тип: <input checked="" type="radio"/> Параллельная <input type="radio"/> Перпендикулярная Кол-во парковочных мест: 8 Длина парковочного места: 6.0 м |
| Зинг_Парк_Прав - Парковка Имя: Зинг_Парк_Прав <input type="checkbox"/> Исключить <input checked="" type="checkbox"/> Отображается на верхнем агенте <input type="checkbox"/> Блокировать Видимость: <input checked="" type="radio"/> да Тип: <input checked="" type="radio"/> Параллельная <input type="radio"/> Перпендикулярная Кол-во парковочных мест: 10 Длина парковочного места: 6.0 м | Зинг_Парк_Лев - Парковка Имя: Зинг_Парк_Лев <input type="checkbox"/> Исключить <input checked="" type="checkbox"/> Отображается на верхнем агенте <input type="checkbox"/> Блокировать Видимость: <input checked="" type="radio"/> да Тип: <input checked="" type="radio"/> Параллельная <input type="radio"/> Перпендикулярная Кол-во парковочных мест: 10 Длина парковочного места: 6.0 м |
| Казанск_Парк - Парковка Имя: Казанск_Парк <input type="checkbox"/> Исключить <input checked="" type="checkbox"/> Отображается на верхнем агенте <input type="checkbox"/> Блокировать Видимость: <input checked="" type="radio"/> да Тип: <input type="radio"/> Параллельная <input checked="" type="radio"/> Перпендикулярная Кол-во парковочных мест: 16 Длина парковочного места: 6.5 м | |

Обозначим Автобусную остановку, примыкающую к дороге «Казанский»:

Bus_stop - Автобусная остановка

Имя: Bus_stop Исключить

Отображается на верхнем агенте Блокировать

Видимость: да

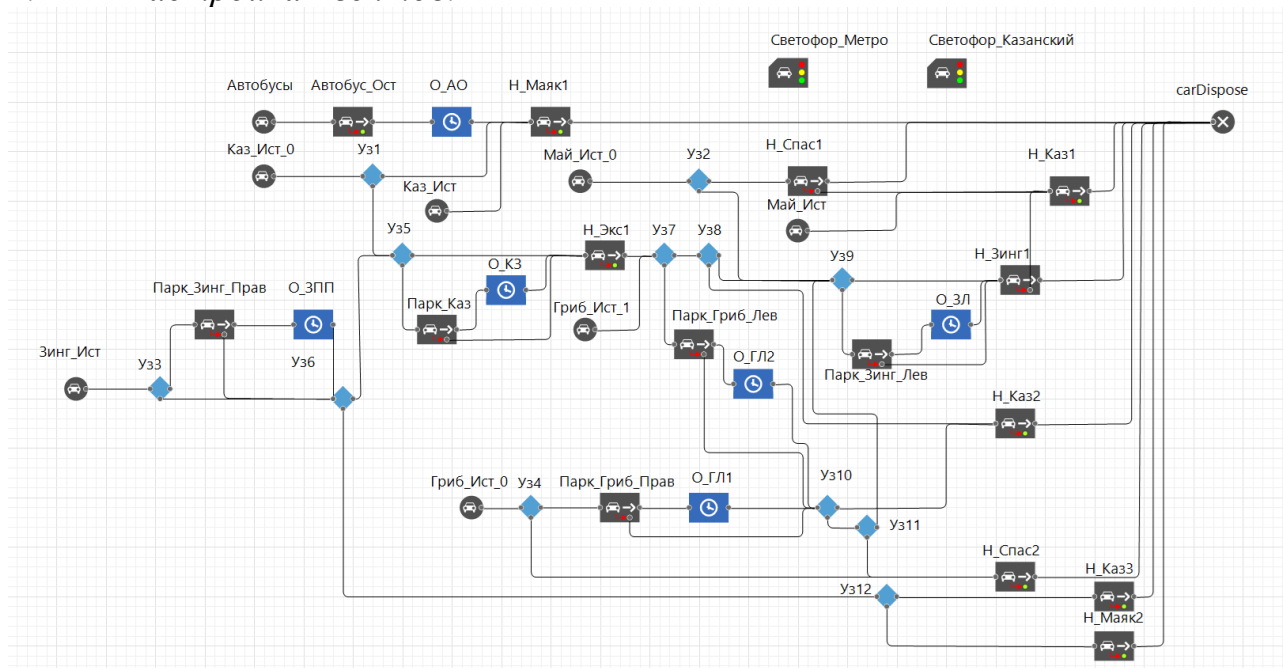
Длина: 20.0 м

Обозначим перекрёстки:

- Перекрёсток пересечения «Зингер», «Казанский», «Меж_Пер» — «Пер_Зинг»
- Перекрёсток пересечения «Спас», «Маяковская», «Грибоедов_Невск»

- Перекрёсток пересечения «Грибоедов», «Маяковская», «Экс_Каз_Парк» — «Пер_Гриб»

2. Настройка Агентов:



Основными блоками диаграммы процесса являются: источники агентов (Car Source), блоки управления движением автомобиля (Car Move To), ликвидатор агентов (Car Dispose), блок задержки агентов (Delay), блок разделения агентов согласно заданным вероятностям (Select Output),

Источники агентов для модели движения периода со стабильным трафиком (10:00—17:00):

- Автобусы: выпускает тип агентов (Bus) (о типах агентов будет следующий пункт) с интенсивностью 20 ед/ч на нулевую полосу основного движения дороги «Казанский» длиной 8 метров с начальной скоростью 60 км/ч, предпочитаемой скоростью 60 км/ч, максимальным ускорением и максимальным торможением 1.8 м/с^2 и 4.2 м/с^2

- Каз_Ист: выпускает тип агентов (Car_Admiral) с интенсивностью 1000 ед/ч на случайную полосу основного движения дороги «Казанский» длиной 5 метров с начальной скоростью 60 км/ч, предпочитаемой скоростью 60 км/ч, максимальным ускорением и максимальным торможением 1.8 м/с^2 и 4.2 м/с^2

- Каз_Ист0: выпускает тип агентов (Car_Admiral) с интенсивностью 100 ед/ч на нулевую полосу основного движения дороги «Казанский» длиной 5 метров с начальной скоростью 60 км/ч, предпочитаемой скоростью 60 км/ч, максимальным ускорением и максимальным торможением 1.8 м/с^2 и 4.2 м/с^2

- Май_Ист: выпускает тип агентов (Car_Vost) с интенсивностью 1000 ед/ч на случайную полосу встречного движения дороги «Маяковская» длиной 5 метров с начальной скоростью 60 км/ч, предпочитаемой скоростью 60 км/ч, максимальным ускорением и максимальным торможением 1.8 м/с^2 и 4.2 м/с^2

•Май_Ист0: выпускает тип агентов (Car_Vost) с интенсивностью 200 ед/ч на нулевую полосу встречного движения дороги «Маяковская» длиной 5 метров с начальной скоростью 60 км/ч, предпочитаемой скоростью 60 км/ч, максимальным ускорением и максимальным торможением 1.8 м/с^2 и 4.2 м/с^2

•Зинг_Ист: выпускает тип агентов (Car_Zing) с интенсивностью 100 ед/ч на случайную полосу основного движения дороги «Зингер» длиной 5 метров с начальной скоростью 60 км/ч, предпочитаемой скоростью 60 км/ч, максимальным ускорением и максимальным торможением 1.8 м/с^2 и 4.2 м/с^2

•Гриб_Ист0: выпускает тип агентов (Car_Grib) с интенсивностью 50ед/ч на нулевую полосу основного движения дороги «Грибоедов» длиной 5 метров с начальной скоростью 60 км/ч, предпочитаемой скоростью 60 км/ч, максимальным ускорением и максимальным торможением 1.8 м/с^2 и 4.2 м/с^2

•Гриб_Ист1: выпускает тип агентов (Car_Grib) с интенсивностью 50 ед/ч на первую полосу основного движения дороги «Грибоедов» длиной 5 метров с начальной скоростью 60 км/ч, предпочитаемой скоростью 60 км/ч, максимальным ускорением и максимальным торможением 1.8 м/с^2 и 4.2 м/с^2

Для адаптации модели движения к периоду с пиковым (критическим) трафиком (18:00-19:00) интенсивность выпуска агентов нужно увеличить в два раза.

Блоки управления движением автомобиля:

- Автобус_Ост: направляет агентов на остановку “Bus_stop”.
- Парк_Зинг_Прав: направляет агентов на парковку “Зинг_Парк_Прав”.
- Парк_Каз: направляет агентов на парковку “Казанский_Парк”.
- Парк_Гриб_Лев: направляет агентов на парковку “Гриб_Парк_Лев”.
- Парк_Зинг_Лев: направляет агентов на парковку “Зинг_Парк_Лев”.
- Парк_Гриб_Прав: направляет агентов на парковку “Гриб_Парк_Прав”.
- Н_Маяк: агент движется по дороге “Маяковская”. С целью доехать до конца полосы основного движения.
- Н_Спас1: агент движется по дороге “Спас”. С целью доехать до конца полосы основного движения.
- Н_Каз1: агент движется по дороге “Казанский”. С целью доехать до конца полосы встречного движения.
- Н_Зинг1: агент движется по дороге “Зингер”. С целью доехать до конца полосы встречного движения.
- Н_Каз2: агент движется по дороге “Казанский”. С целью доехать до конца полосы встречного движения.
- Н_Спас2: агент движется по дороге “Спас”. С целью доехать до конца полосы основного движения.
- Н_Каз3: агент движется по дороге “Казанский”. С целью доехать до конца полосы встречного движения.

•Н_Маяк2: агент движется по дороге “Маяковская”. С целью доехать до конца полосы основного движения.

•Н_Экс1: агент движется по дороге “Экс_Каз_Парк”. С целью доехать до конца полосы основного движения.

Блоки разделения агентов согласно заданным вероятностям (узлы):

- «Уз1»: задаёт вероятность выбора направления движения 0.4
- «Уз2» — 0.5
- «Уз3» — 0.2
- «Уз4» — 0.3
- «Уз5» — 0.6
- «Уз6» — 0.1
- «Уз7» — 0.8
- «Уз8» — 0.2
- «Уз9» — 0.8
- «Уз10» — 0.6
- «Уз11» — 0.3
- «Уз12» — 0.5

Блоки задержки агентов:

•«О_АС» — задерживает агентов на определённое время в секундах с вместимостью 1. Время задержки: triangular(5, 15, 45)

•Все остальные блоки типа «Delay» имеют вместимость 1 и время задержки triangular(5, 15, 45), но в минутах.

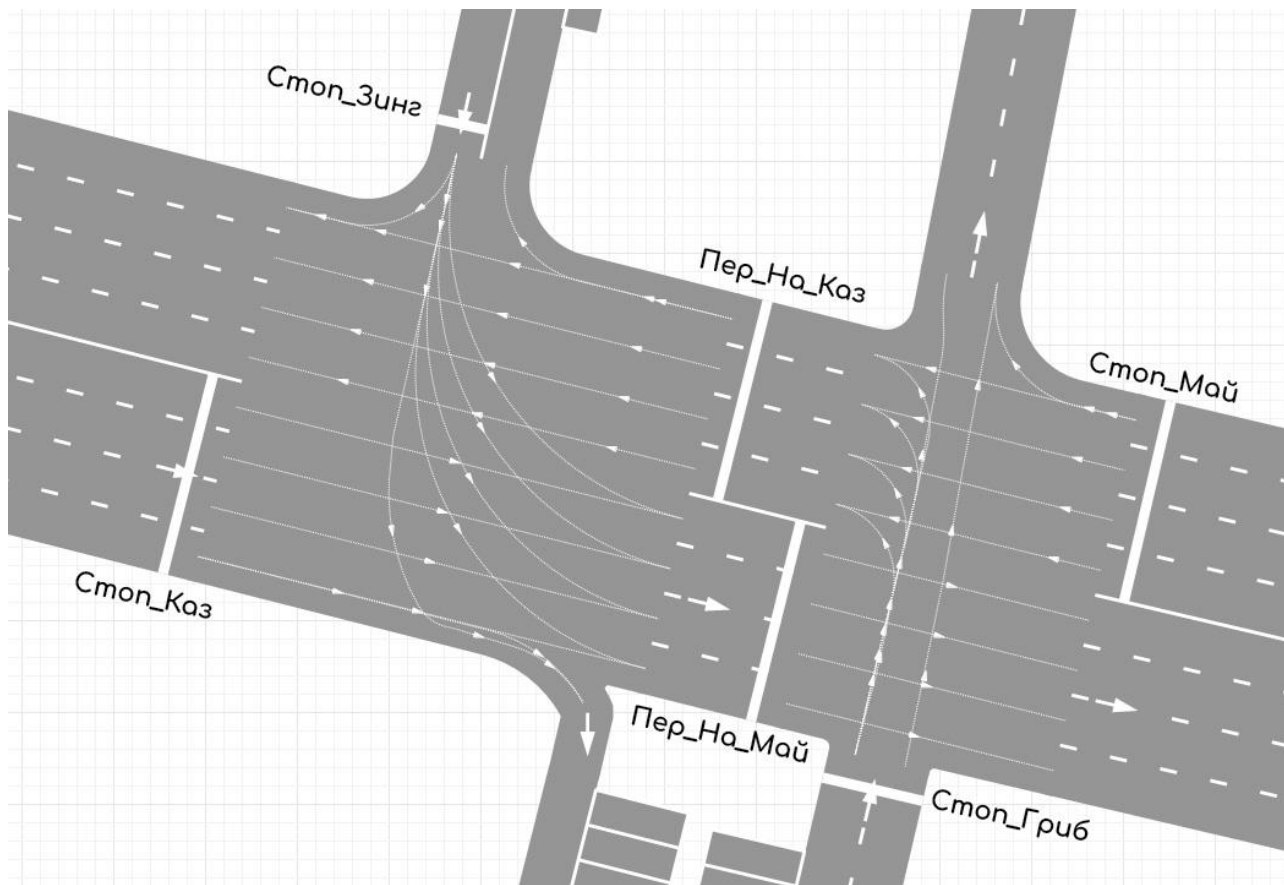
Ликвидатор агентов — CarDispose. Требуется чтобы все возможные пути сходились в этом блоке. Их может быть и несколько, но для улучшения читаемости диаграммы процессов мы проделали оптимизацию и свели всё к одному блоку.

3. *Настройка Светофоров:*

Обозначим стоп-линии для перекрёстков «Пер_Зинг» и «Пер_Метро»:

- «Стоп_Зинг» — стоп-линия с «Зингер» на «Пер_Зинг»
- «Стоп_Каз» — стоп-линия с «Казанский» на «Пер_Зинг»
- «Пер_На_Каз» — стоп-линия с «Меж_Пер» на «Пер_Зинг»
- «Стоп_Гриб» — стоп-линия с «Грибоедов_Невск» на «Пер_Метро»
- «Стоп_Май» — стоп-линия с «Маяковская» на «Пер_Метро»

- «Пер_На_Май» — стоп-линия с «Меж_Пер» на «Пер_Метро»



Теперь добавим блоки Traffic Light, которые будут регулировать длительности периодов светофоров и настраиваем фазы:

- «Светофор_Метро» и выбираем для него «Стоп-линии перекрёстка» в параметре «Задаёт режим работы для», там выбираем перекрёсток «Пер_Метро»

- Аналогично создаём «Светофор_Зинг» для перекрёстка «Пер_Зинг»

Фазы:

| Длительности, сек: | 50 | 5 | 30 | 5 | + | Длительности, сек: | 50 | 5 | 30 | 5 | + |
|--------------------|----|---|----|---|---|--------------------|----|---|----|---|---|
| Стоп-линии: | | | | | | Стоп-линии: | | | | | |
| Стоп_Зинг | █ | █ | █ | █ | | Пер_На_Май | █ | █ | █ | █ | |
| Пер_На_Каз | █ | █ | █ | █ | | Стоп_Май | █ | █ | █ | █ | |
| Стоп_Каз | █ | █ | █ | █ | | Стоп_Гриб | █ | █ | █ | █ | |

4. Настройка Агентов:

Для удобства Анализа полученной модели имеет смысл ввести разные типы агентов:

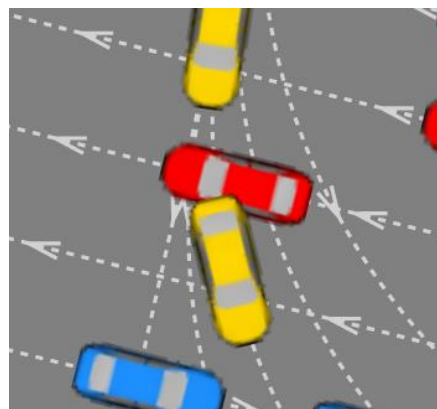
- «Bus» — агент с видом автобуса
- «Car_Admiral» — агент с видом синего автомобиля
- «Car_Vost» — агент с видом красного автомобиля
- «Car_Zing» — агент с видом жёлтого автомобиля

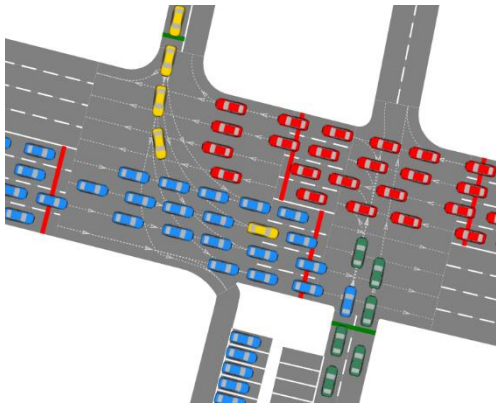
- «Car_Grib» — агент с видом зелёного автомобиля

Теперь каждая визуальная модель автомобиля является индикатором того, из какого источника она начинает движение, что будет удобно для наблюдения:

Подробное описание одной линии маршрута агента. Для примера рассмотрим поведение агентов исходящих из «Май_Ист0». Агент типа «Car_Vost» начинает движение по нулевой полосе (самая правая) Невского проспекта со стороны Площади Восстания и станции метро Маяковская, у водителя есть выбор свернуть первым поворотом направо или вторым, соответственно на «Спас» или «Зингер», предположим, что это равновероятностное событие поэтому в «Уз2» впишем вероятность 0.5, следовательно после «Уз2» агент будет переходить либо в блок «Н_Спас1», либо в «Н_Зинг1», но т.к. водитель может пожелать остановиться на парковке «Парк_Зинг_Лев», после «Уз2» мы добавим «Уз9», который будет задавать вероятность того, что водитель не будет останавливаться на парковке 0.8, и уже после этого выбора агент выберет ехать до конца «Зингер» или остановиться на парковке. Во втором случае он будет ожидать то время, которое стоит в параметре блока «О_ЗЛ» и уже после него поедет до конца «Зингер». Так же стоит отметить, что есть вероятность того, что водитель окажется в ситуации, когда не сможет повернуть ни на первом повороте, ни на втором, а значит ему остаётся только ехать прямо. Агент попадёт в «Н_Каз1». И уже из каждого блока управления движением они попадают в ликвидатор агентов.

Анализ полученной модели. В ходе имитационного моделирования была выявлена некоторая особенность движка AnyLogic, которая не препятствует прохождению агентов друг через друга. Скорее всего причина кроется в том, что при симуляции не учитывается ширина автомобиля, т.к. мы не можем повлиять на эту величину с помощью свойств агентов и нам доступно лишь изменение длины автомобиля, то можно смело предположить, что AnyLogic интерпретирует агента, как отрезок проходящий вдоль видимого нам кузова автомобиля. А если агенты — это отрезки, и их движение зависит от наличия или отсутствия пересечения соответствующих прямых, то возможна ситуация, когда автомобили накладываются друг на друга.





Но так как эта модель создавалась для поиска реальных проблем на перекрёстке, то наиболее важной для описания является ситуация, при которой автомобили образуют затор, который невозможно ликвидировать без внешней регулировки. Агенты, которые выезжают с дороги «Грибоедов» не успевают проехать перекрёсток «Пер_Метро» и блокируют движение агентов с дороги «Казанский», они же в свою очередь блокируют агентов с «Зингер», а те — с «Маяковская». Таким образом ни один агент, блокирующий других, не может продолжить движение и освободить путь другим. Образуется затор, который агенты не могут ликвидировать сами.

Это наблюдается как в период, когда трафик максимальный, так и в период, когда трафик стабильный. Это в свою очередь, говорит о проблемах, связанных с не оптимизированным регулированием дорожного движения на перекрёстке Невского проспекта и Набережной канала Грибоедова.

Заключение. В данной работе представлена имитационная модель дорожного движения на перекрёстке Невского проспекта и набережной канала Грибоедова. Модель представляется универсальной и адаптируемой к любым входным данным. При настройке параметров модель способна демонстрировать ситуацию на дороге в зависимости от необходимых для рассмотрения обстоятельств таких как: количество автомобилей на дороге, их скорость, ускорение, длительность периода светофора, вероятности выбора цели движения, количество допустимого времени для стоянки на парковке и т.д. Результаты разработки имитационной модели в среде AnyLogic представлены в открытом доступе [4]. Смоделированная ситуация отражает закономерность, которая существует и на изученном перекрёстке. Бурный рост количества участников дорожного движения на дорогах, не рассчитанных на экстремальный трафик, требует решения задачи оптимизации движения по городских магистралям.

Список источников

1. Комплексная схема организации дорожного движения Санкт-Петербурга 2021 г.
2. [Исследование Яндекса «Автомобильные пробки в Санкт-Петербурге» \(2015\).](https://yandex.ru/company/researches/2015/spb/jams) <https://yandex.ru/company/researches/2015/spb/jams>
3. [Учебное пособие по Библиотеке дорожного движения AnyLogic.](https://clck.ru/3BL9Hw) <https://clck.ru/3BL9Hw>
4. Код имитационной модели дорожного движения на Невском проспекте <https://clck.ru/3BL9gm>

А.А. Рагозина, студ.; А.В. Юрков, д. ф.-м. н., проф.
(РГПУ им. Герцена, г. Санкт-Петербург)

ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ АНАЛИЗА ДЕМОГРАФИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СВЕРДЛОВСКОЙ ОБЛАСТИ

Имитационное моделирование является разделом курса "Моделирование систем" для студентов 2 курса направления подготовки "Информационные технологии в дизайне". В курсе рассматриваются базовые понятия общей теории систем и вопросы математического и имитационного моделирования. В теоретическую базу курса входят, в частности, учебники А.А. Емельянова, а практические навыки имитационного моделирования осваиваются с использованием инструментальной среды AnyLogic [1]. Использование получаемых в Университете знаний для изучения актуальной региональной проблемы оказалось значимым стимулом к апробации приобретаемых студентами профессиональных компетенций.

Ключевые слова: моделирование, имитационное моделирование, системная динамика, демография, популяция, численность населения, Anylogic.

Вопрос демографии в России сейчас стоит как никогда остро. Демографические показатели в нашей стране вызывают тревогу. Для выяснения, каким на эти показатели влияет социально-экономическая ситуация в регионе, в частности, улучшение мер поддержки рождаемости и семей, студентка решила рассмотреть демографию своей малой Родины - Свердловской области. Данный регион подходит для анализа демографической ситуации как проблемный: численность населения региона в течение ряда лет сокращается, показатели рождаемости падают, и при этом показатели смертности растут; наблюдается старение населения Свердловской области [2].

В работе построена имитационная модель изменения численности населения Свердловской области с учетом социально-экономических факторов. Поскольку с помощью модели изучалась численность постоянного населения региона, миграция не учитывалась. Модель может использоваться для прогнозирования рождаемости и смертности в конкретном регионе. Принцип построения модели можно применять для любого региона и страны. Исследование корреляции и зависимостей роста и убыли населения позволяет прогнозировать развитие ситуации и принять меры для ее контроля в будущем.

Имитационная модель построена на основе системно-динамического подхода: в исследовании важны не детали и конкретные действующие лица, а развитие ситуации на стратегическом уровне. Для разработки модели использовалась среда AnyLogic (Personal Learning Edition) [1] с поддержкой языка программирования Java. Для моделирования демографической ситуации в регионе выбрана мультипликативная модель: накопитель в данной модели – это объект динамики населения. Потоки задают динамику системы, влияя на общую численность населения. Параметры отвечают за социально-экономические факторы, влияющие на демографию.

Для построения модели использовались данные 2010=2022 гг. Управления Федеральной службы государственной статистики по Свердловской и Курганской областям [3].

Математическая модель. Для описания эволюции численности населения использовано соотношение

$$P1 = P + BR - DR,$$

где $P1$ - численность населения каждый последующий год, P - численность населения за предыдущий год; BR - темп рождаемости, количество человек, родившихся за год; DR - темп смертности, количество человек, умерших за год.

Для определения факторов, влияющих на рождаемость и смертность, была взята выборка социально-экономических факторов по Свердловской области: x_1 - общее количество выбросов вредных веществ в атмосферу, x_2 - доходы на душу населения, x_3 - средний прожиточный минимум, x_4 - количество браков, x_5 - количество разводов.

Темп рождаемости(чел/год) BR вычисляется по следующей формуле:

$$BR = P * BRN * BRNV * BRND * BRNP * BRNM * BRNDV,$$

где P - количество населения; BRN - нормальный темп рождаемости; $BRNV$ - множитель зависимости темпа рождаемости от общего количества выбросов вредных веществ в атмосферу; $BRND$ - множитель зависимости темпа рождаемости от доходов на душу населения; $BRNP$ - множитель зависимости темпа рождаемости от среднего прожиточного минимума; $BRNM$ - множитель зависимости темпа рождаемости от количества браков; $BRNDV$ - множитель зависимости темпа рождаемости от количества разводов.

Темп смертности(чел/год) вычисляется аналогично темпу рождаемости.

Для 2010 года считаем, что все мультипликативные добавки равны 1 и тогда $BR = BRN$. Нормальный темп рождаемости BRN (чел/чел) = 0,01336, нормальный темп смертности DRN (чел/чел) = 0,014271 определены по статистическим данным для Свердловской области за 2010 год.

Для определения связи между социально-экономическими показателями и демографическим положением региона были определены коэффициенты корреляции и уравнения регрессии. Для этого использовалась надстройка табличного процессора MS Excel «Пакет анализа». Результаты представлены в Таблице 1.

Таблица 1. Матрица корреляции для коэффициентов рождаемости и смертности

| | Входные поля | Коэффициент рождаемости, % | Коэффициент смертности, % |
|---|-------------------------------------|----------------------------|---------------------------|
| 1 | Выбросы вредных веществ в атмосферу | -0,127668758 | -0,648771386 |
| 2 | Доходы на душу населения | -0,653787449 | 0,095521364 |
| 3 | Прожиточный минимум | -0,744729105 | 0,086252238 |
| 4 | Число браков | 0,649795333 | -0,176073995 |
| 5 | Число разводов | 0,248551647 | 0,248362919 |

Анализ матрицы корреляции для коэффициента рождаемости показывает, что наблюдается положительная связь между величиной числа браков. Связь между доходами и прожиточным минимумом-отрицательная. С остальным связи слабые, они не учитывались в дальнейшем.

Для коэффициента смертности картина получилась интересной. Связь с выбросами отрицательная. С остальным связи слабые, они не учитывались в дальнейшем.

Зависимость общего коэффициента рождаемости от доходов определяется соотношением:

$$y = -0,97487 * x_2 + 85621,76$$

Коэффициент корреляции отрицательный и равен -0,653787.

Мультипликативная поправка, учитывающая зависимость коэффициента рождаемости от доходов, вычисляется следующим образом:

$$BRND = 1 - BRN * RMD/MD$$

где BRN - нормальный темп рождаемости, RMD - зависимость темпа рождаемости от доходов, вычисленная по уравнению регрессии, MD - доходы по статистическим данным соответствующего года. В 2010 году доходы (MD) в Свердловской области составляли 21435,6 рублей. Тогда, по уровню регрессии $RMD=64724,8$, и мультипликативная поправка $BRND = 0,9597$.

Аналогично вычисляются мультипликативные поправки для остальных коэффициентов.

Реализация модели в среде AnyLogic. Модель реализована с помощью потоковых диаграмм и разностных уравнений системной динамики. Структура имитационной модели представлена на Рис. 1, где:

- доход на душу населения (*Income*),
- число браков (*Marriage*),
- прожиточный минимум (*LivingWage*),
- выбросы вредных веществ в атмосферу (*Ecology*).

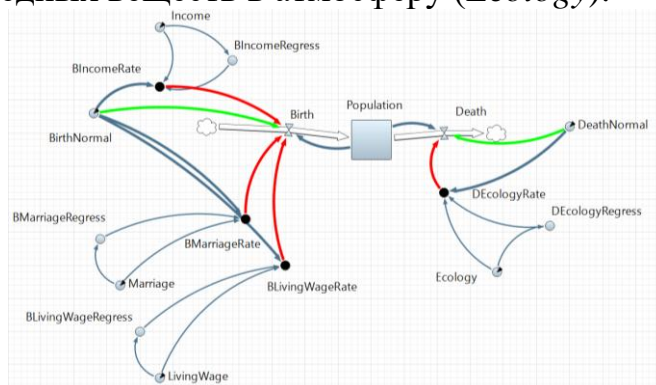


Рис. 1. Модель процесса изменения численности населения региона

Параметр зависимости темпа, вычисленный по уравнению регрессии обозначается прибавкой *Regress* к названию параметра. Мультипликативная поправка обозначается прибавкой *Rate* к названию параметра.

Темпы рождаемости и смертности подписаны как Birth и Death соответственно. Нормальные темпы рождаемости и смертности подписаны с прибавкой Normal к названию.

У накопителя численности населения два потока, с помощью которых осуществляется моделирование демографического состояния региона. На них оказывают влияния социально-экономические параметры. Пример задания значения потока представлен на Рис. 2.

Birth - Поток

Имя: Отображать имя Исключить Отображается на верхнем агенте

Видимость: ла

Цвет:

Массив Зависимая Константа

Birth=

Рис. 2. Значение потока “Birth”

Результат запуска модели представлен на Рис. 3.

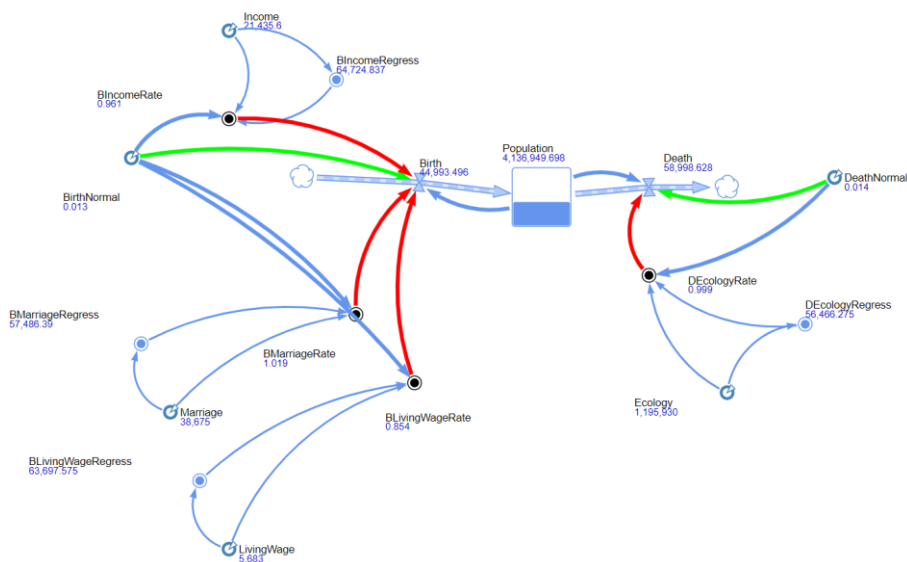


Рис. 3. Моделирование изменения численности населения Свердловской области в 2010-2022 гг.

При модельном времени с 2010 по 2022 год получаем численность населения 413950 человек, рожденных 44993 человек и умерших 59000 человек. Если сравнить полученные значения с реальными, то мы получаем отклонение по населению 3%, по рожденным 13% и по умершим 0,4%.

Построенная модель позволяет определить степень влияния социально-экономических показателей на демографическую ситуацию региона. В частности, ее можно использовать для прогноза численности населения Свердловской области вплоть до 2036 года. Результат запуска модели представлен на Рис. 4.

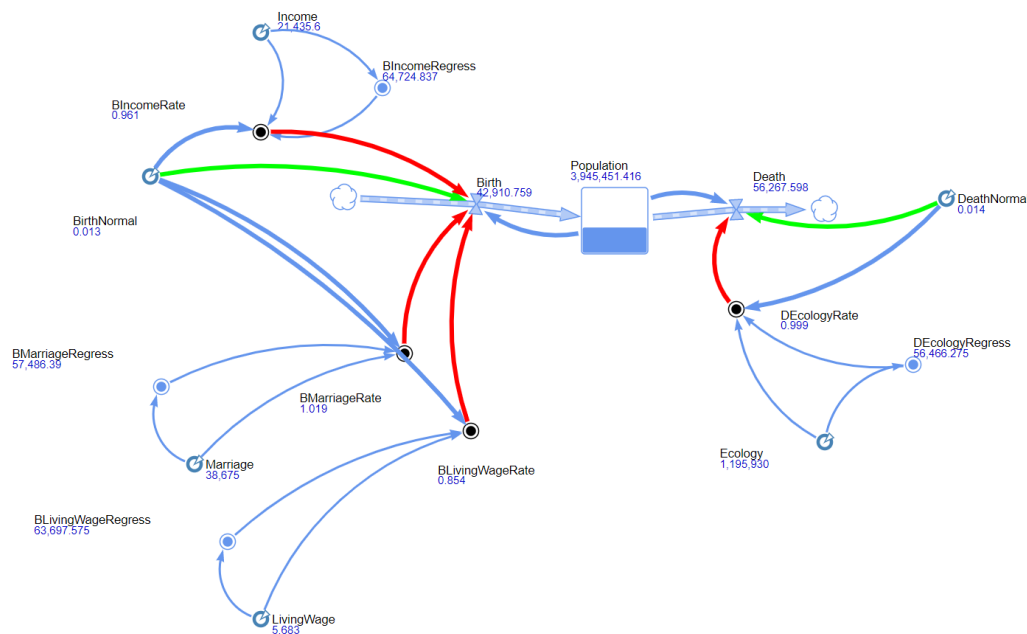


Рис. 4. Моделирование изменения численности населения Свердловской области в 2010-2036 гг.

По социально-экономическому прогнозу Правительства Свердловской области до 2036 года при самом негативном варианте (базируется на предположении о невозможности преодолеть негативные тенденции демографического развития Свердловской области) ожидается, численность постоянного населения уменьшится и составит к 2036 году 3884000. Это позволяет сверить прогноз правительства и нашей модели. Отклонение составляет 1,6%, прогнозы сошлись.

Заключение. В докладе представлена имитационная модель изменения численности населения Свердловской области с учетом социально-экономических факторов. Такая модель может помочь руководству региона в работе по улучшению демографической ситуации. Принципы построения модели универсальны и позволяют на основе имеющихся статистических данных применять ее для прогнозирования рождаемости и смертности в любом регионе и обосновывать управленческие решения по увеличению численности населения страны.

Список источников

1. Палей А. Г. и др. Анализ демографического состояния региона методами системной динамики //Имитационное моделирование. Теория и практика. – 2017. – С. 497-501.
2. Багинова А. П. Демографическая ситуация в Свердловской области. – 2022. URL: <https://elar.urfu.ru/bitstream/10995/119757/1/bagirova-doklad2022.pdf> (Дата обращения 03.06.2024)
3. Официальный сайт Управления Федеральной службы государственной статистики по Свердловской области и Курганской области: [Электронный ресурс]. URL: <https://66.rosstat.gov.ru/> (Дата обращения 03.06.2024)

*Т. Ракич, студ.
(СПбГУ, г. Санкт-Петербург);
Л.Ф. Вьюненко, к.ф.-м. н., доц.
(СПбГУПТД, г. Санкт-Петербург)*

ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА КОНСТРУИРОВАНИЯ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

Этап конструирования программного обеспечения (далее ПО) характеризуется высокой степенью неопределенности и, следовательно, требует применения продвинутых способов управления для соблюдения ресурсных и временных ограничений, накладываемых на его реализацию. Качество создаваемого ПО непременно зависит от качества процесса его конструирования, а качество процесса конструирования, в свою очередь, будет зависеть от качества принимаемых во время осуществления проекта управленческих решений. Имитационное моделирование может послужить эффективным инструментом, позволяющим повысить качество управления фазой конструирования, так как предоставляет возможность отслеживания влияния, оказываемого различными управленческими решениями на ход выполнения проекта.

Этап конструирования ПО, под которым понимается кодирование и отладка, а также верификация, модульное и интеграционное тестирование, начинается, когда требования и архитектура ПО разработаны в достаточном для кодирования объеме. В этот момент появляются основания для определения сроков и ресурсов для осуществления проекта, а также возможность дать численную оценку объема работ по проекту в виде количества строк кода, которые необходимо написать. Исходные требования дополняются и дорабатываются в течение всего этапа конструирования, изменяя таким образом объем работ по проекту. При этом интенсивность изменений уменьшается с течением времени. Поток требований к ПО максимального значения будет достигать в некоторый момент времени t , такой что $t < \frac{T}{2}$, где T – предполагаемый срок окончания проекта [4]. Для обеспечения выполнения данных условий, а также учитывая случайный характер поступления новых требований к ПО, для реализации модели использовано распределение Вейбулла-Гнеденко, плотность которого

$$f(x, \alpha, \beta) = \begin{cases} \frac{\beta}{\alpha} \left(\frac{x}{\alpha}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{x}{\alpha}\right)^\beta}, & x \geq 0 \\ 0, & x < 0 \end{cases},$$

где

α – параметр формы и $\alpha \in (0, 1)$,

β – параметр масштаба.

Поток требований формирует необходимый объем работы, которая производится с определенной скоростью, постепенно увеличивая объем выполненной работы по проекту. Данные процессы естественно представить в рамках парадигмы системной динамики в виде диаграммы потоков и накопителей. В каждый момент времени значение накопителя равно разности входящих и исходящих из него потоков.

Скорость выполнения работы будет зависеть от количества сотрудников, работающих над проектом, продуктивности их работы, а также от труда, уделяемого исправлению ошибок в рамках проекта:

$$SoftwareDevelopmentRate = Staff * Productivity - ErrorCorrectionRate,$$

где

Staff – количество программистов, работающих над проектом,

Productivity – продуктивность отдельного программиста [ЛОС/день],

ErrorCorrectionRate – скорость исправления ошибок [ошибка/день].

Количество сотрудников, работающих над проектом, не является постоянным. Наиболее часто наблюдается изменение в сторону повышения числа программистов, работающих на проекте. Для оценки необходимости привлечения дополнительного персонала можно использовать модель СОСОМО [2]. В случае, когда число сотрудников, необходимое для своевременного выполнения проекта, превышает первоначально задействованное число сотрудников, появляется необходимость в привлечении дополнительного персонала. Тогда число дополнительных программистов можно определить как

$$AdditionalStaff = \frac{20 * 2.4 * Backlog^{1.05}}{InitialDueTime - t} - InitialStaff,$$

где

AdditionalStaff – дополнительные сотрудники привлеченные к проекту,

InitialStaff – начальное количество программистов работающих над проектом,

Backlog – объем работы к выполнению [ЛОС],

InitialDueTime – срок выполнения проекта [день],

t – текущий момент времени.

С ростом численности персонала будут расти коммуникационные потери на их взаимодействие, что оказывает влияние на их продуктивность. Кроме этого, продуктивность будет зависеть от технических характеристик проекта, определяющих некоторый ее номинальный уровень, и от части рабочего времени, уделяемого работе над проектом [1, 3]. Таким образом

$$Productivity = InitialProductivity * 1.03e^{-0.02Staff} * WorkTime,$$

где

Productivity – продуктивность работы одного программиста [ЛОС/день],
InitialProductivity – номинальный уровень продуктивности [ЛОС/день],
WorkTime – часть рабочего времени, уделяемая работе над проектом.

В нормальных условиях программисты уделяют 60% рабочего времени работе над проектом [1, 3]. Если очевидно, что проект не может быть выполнен вовремя, программисты посвящают большую часть рабочего времени работе над проектом. Возможна и обратная ситуация: если поставленный срок сдачи проекта значительно превышает время, необходимое для его завершения, программисты будут меньшую часть времени посвящать проекту. Данный эффект может быть смоделирован с помощью фактора давления сроков [1, 3], который будет отражать, насколько превышение ожидаемого времени завершения проекта больше оставшегося времени для выполнения проекта. Фактор давления сроков можно формализовать как

$$SchedulePressureFactor = \frac{ProjectClosureTime - (InitialDueTime - t)}{InitialDueTime - t},$$

где

SchedulePressureFactor – фактор давления сроков,
ProjectClosureTime – ожидаемое время выполнения проекта.

Тогда время, уделяемое работе над проектом, можно выразить по аналогии с [3] как

$$WorkTime = NominalWorkTime * \left[1 + SchedulePressureFactor * \left(1 - e^{-\frac{t}{AverageAdjustmentTime}} \right) \right],$$

где

NominalWorkTime – номинальное время работы, посвящаемое работе над проектом,
AverageAdjustmentTime – время, необходимое для приспособления к давлению сроков.

Любой проект по конструированию включает в себя деятельность по обнаружению и исправлению ошибок, которая может быть представлена в рамках цикла исправления ошибок. По мере выполнения работ ошибки генерируются с определенной скоростью, которая является произведением номинальной скорости совершения ошибок, скорости выполнения работы и фактора давления сроков, при условии его положительного влияния. Невыявленные ошибки сначала накапливаются, а затем выявляются увеличивая значение накопителя ошибки к исправлению, после чего исправляются. Скорости выявления и исправления ошибок смоделированы с использованием системно-динамических функций задержки третьего и первого порядка с соответствующими временами задержки [1].

Таким образом в среде имитационного моделирования AnyLogic построена модель, схема которой представлена на рисунке 1.

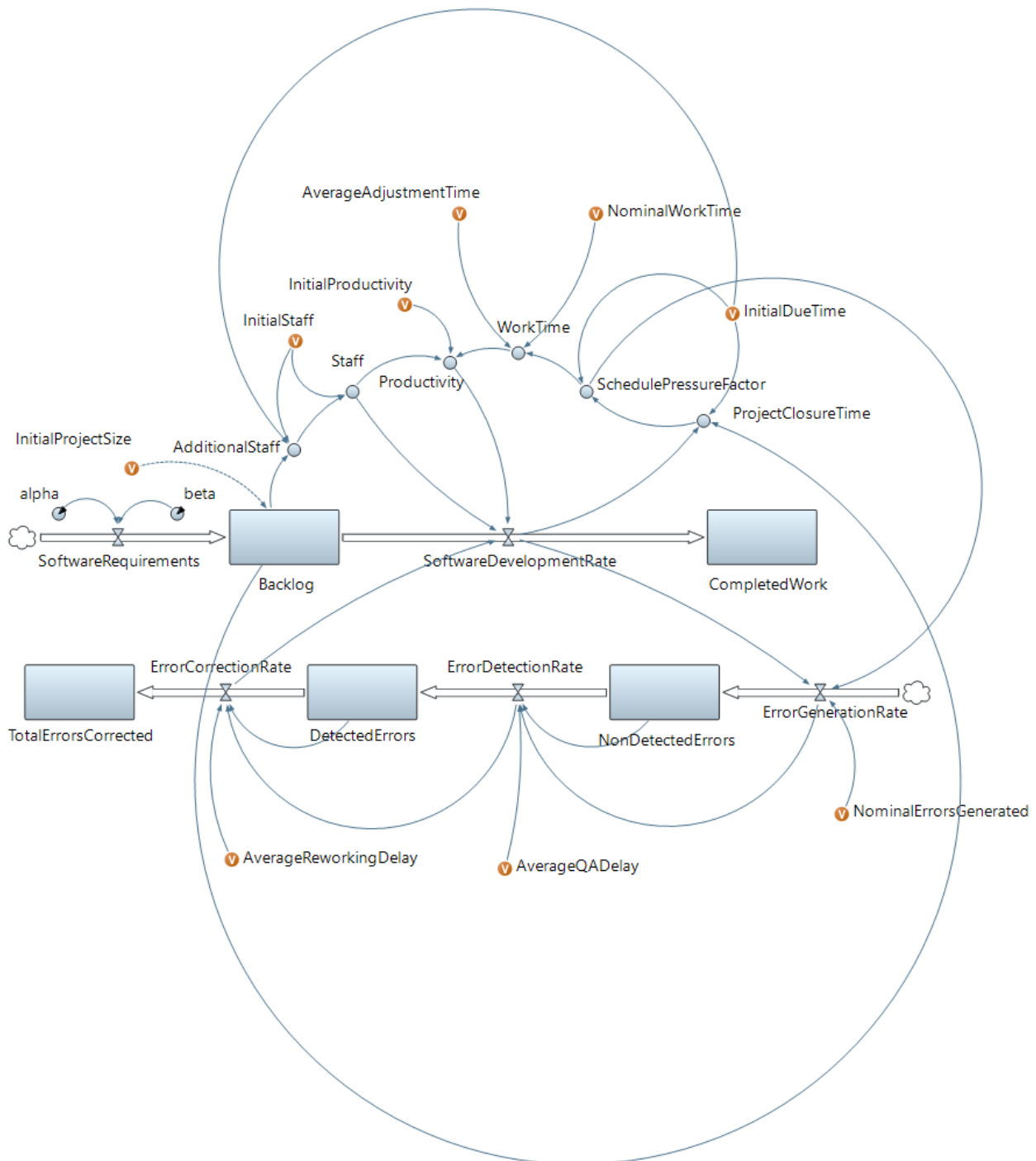


Рисунок 1 – Схема модели процесса конструирования ПО

Сразу после компьютерной реализации модели проведена ее верификация путем проведения простого имитационного эксперимента. Во время запуска симуляции отслеживалась работа модели и выявлено, что поведение

компьютерной модели соответствует предполагаемому в рамках концептуальной модели поведению системы.

Дальше был проведен эксперимент варьирования параметров для подтверждения соответствия между поведением модели и реальной системы. Эксперимент проведен в два этапа. На первом этапе получено, что при параметре формы в диапазоне от 0,3 до 0,95 и параметре масштаба от 1 до 3 поток с распределением Вейбулла-Гнеденко ведет себя в соответствии с накладываемыми на поток требований к ПО ограничениями. Второй этап имитационного эксперимента имел целью протестировать поведение системы при различных значениях параметров модели. Результаты эксперимента подтвердили, что поведение модели не противоречит ожидаемому поведению моделируемой системы.

Для обеспечения возможности тестирования широкого спектра управленческих решений в модели предусмотрены элементы, позволяющие манипулировать параметрами проекта после запуска симуляции. Запуск симуляции процесса конструирования ПО на примере конкретного проекта представлен на рисунке 2.

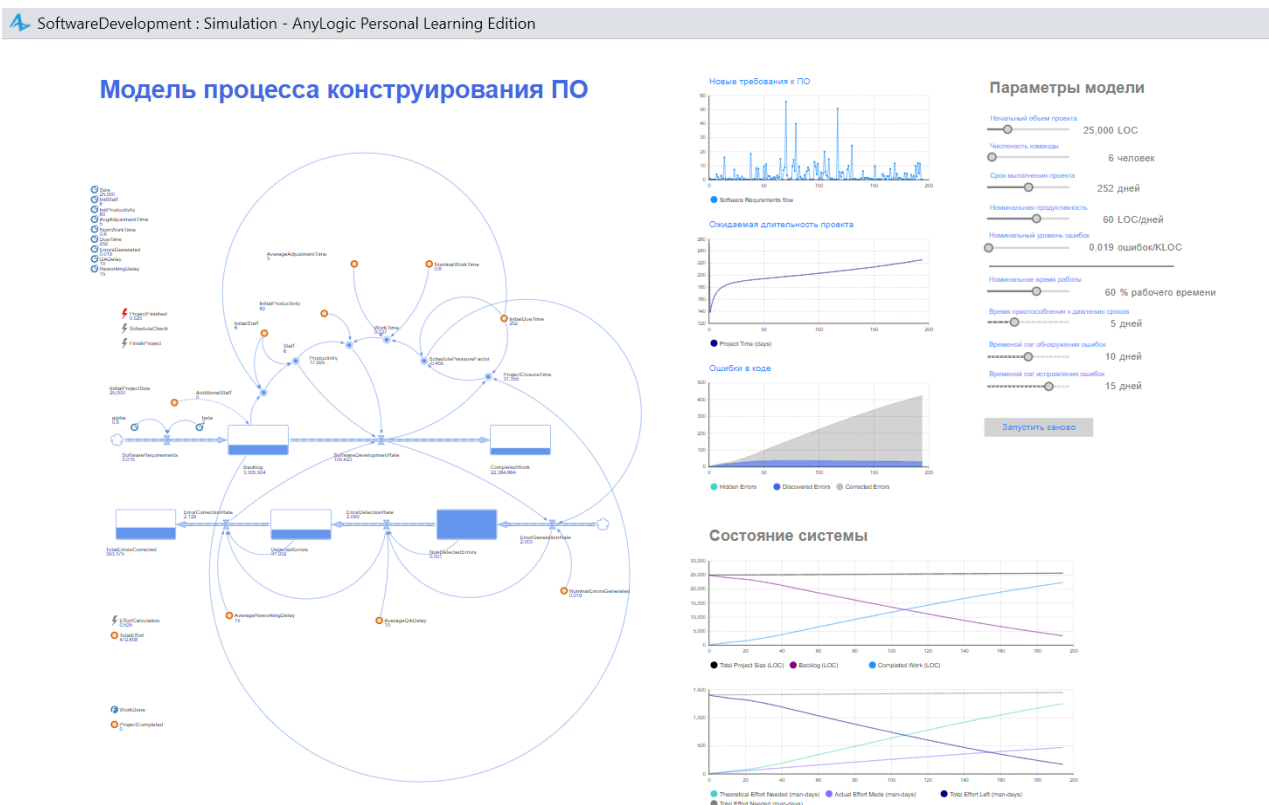


Рисунок 2 – Запуск симуляции процесса конструирования ПО в среде AnyLogic

В результате сформирована валидная имитационная модель процесса конструирования ПО, которая может быть использована как для его дальнейшего изучения, так и в качестве механизма принятия управленческих решений.

Список литературы

1. Abdel-Hamid, T.K. The dynamics of software development project management: An integrative system dynamics perspective, PhD / Tarek K. Abdel-Hamid – Massachusetts: Massachusetts Institute of Technology – 1984.
2. Boehm, B.W. Software engineering economics / Barry W. Boehm // IEEE transactions on Software Engineering – 1984. – vol. 1 – pg. 4 – 21.
3. Lin, Chi Y. Software-Engineering Process Simulation Model (SEPS) / Chi Y. Lin, T. K. Abdel-Hamid, J. S. Sherif // Journal of Systems and Software – 1997. – vol. 38(3) – pg. 263 – 277.
4. Wiegers, K.E. Software Requirements / Karl Wiegers, Joy Beatty // Washington: Microsoft Press – 2013.

*Р.А. Терехов, студ.; О.В. Булыгина, к.э.н., доц.
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ GHOST-СВЕРТОК В НЕЙРОСЕТЕВОЙ МОДЕЛИ YOLOV7 ДЛЯ ПОИСКА ПАРКОВОЧНЫХ МЕСТ

В условиях растущей урбанизации и увеличения числа автомобилей управление парковочным пространством становится все более сложной задачей. Эффективное использование существующих парковочных мест и улучшение навигации для водителей способны значительно повысить удобство и безопасность городских сред. Современные технологии компьютерного зрения и глубокого обучения предоставляют мощные инструменты для автоматизированного анализа дорожной ситуации и обнаружения свободных парковочных мест.

Традиционные нейросетевые модели, такие как YOLO (You Only Look Once), зарекомендовали себя как высокоэффективные решения для задач детекции объектов в реальном времени [1]. Однако их применение в условиях ограниченных вычислительных ресурсов, например, на встраиваемых системах или мобильных устройствах, требует значительных вычислительных мощностей. В связи с этим возникает необходимость в модификации этих моделей для повышения производительности и уменьшения вычислительных затрат без потери точности [2].

Одним из перспективных направлений оптимизации является использование Ghost-сверток, которые позволяют сократить количество параметров и вычислительных операций в нейросетевых моделях. Ghost-свертки, представляя собой более эффективные модули по сравнению с традиционными сверточными слоями, могут значительно повысить скорость обработки изображений и уменьшить требования к аппаратному обеспечению.

Таким образом, возникает актуальная научно-практическая задача по улучшению производительности модели YOLOv7 при детекции парковочных мест с использованием Ghost-сверток с обеспечением сохранения высокой точности. Ее актуальность обусловлена необходимостью создания высокоэффективных и ресурсоэкономичных систем управления парковочными пространствами, которые могут быть внедрены в различные городские инфраструктуры. Результаты ее решения могут способствовать развитию «умных» городов, улучшению качества жизни горожан и снижению нагрузки на транспортные системы

Ghost Convolution — это метод, предложенный в рамках архитектуры GhostNet [3], который направлен на снижение вычислительной сложности и числа параметров в сверточных нейросетях без значительной потери в точности. Этот подход был разработан для того, чтобы сделать сверточные сети более производительными и доступными для устройств с ограниченными ресурсами:

$$Y = X * f + b,$$

где $*$ — это операция свертки, b — смещение (bias term), $Y \in R^{(h_0 \times w_0 \times n)}$ — это выходная карта признаков с n каналами, а $f \in R^{(c \times k \times k \times n)}$ — сверточные фильтры в этом слое.

Основные шаги реализации Ghost модуля следующие [4-6]. Сначала формируется входная карта признаков, представляющая собой выход предыдущего слоя или начальные данные изображения. Затем выполняется стандартная сверточная операция, но с уменьшенным количеством фильтров, что генерирует первичные карты признаков. Количество фильтров меньше, чем в традиционных сверточных слоях, что снижает количество параметров и вычислительных операций. Полученные первичные карты признаков обрабатываются с помощью простых операций, таких как глубинные свертки или элементарные линейные преобразования. Эти операции требуют меньше вычислительных ресурсов и генерируют дополнительные карты признаков (ghost features). Первичные и ghost карты признаков объединяются для формирования окончательной выходной карты признаков, которая сохраняет сложные пространственные зависимости и текстурные особенности исходных данных. При этом предлагается изменить коэффициент ширины сети с 1.0 на 0.5 и заменить стандартную свертку на Ghost свертку для облегчения сети.

Опишем подробно изменения в блоках сети YOLOv7:

- GhostELAN состоит из нескольких GhostCBS, которые используют агрегацию признаков с различных уровней сети для улучшения эффективности обучения и точности модели. Этот блок заменяет стандартный ELAN блок в YOLOv7.
- DownSample блок заменяет блок MaxPoolingAndStrideConvBlock в оригинальной архитектуре сети. Новый блок оптимизирует процесс понижения разрешения признаков, повышая общую производительность сети.
- C2f модуль улучшает связь между каналами и функциями в слоях свертки. Этот модуль используется для более эффективной агрегации признаков на разных уровнях абстракции, позволяя сети лучше улавливать и использовать информацию из входных данных. В контексте улучшения точности и эффективности моделей, C2f модули способствуют декодированию и восстановлению деталей на изображении.

В результате проведенных исследований была подтверждена эффективность предложенной модификации модели YOLOv7 с использованием Ghost сверток для задачи обнаружения парковочных мест. В ходе экспериментов на публичных наборах данных Pascal VOC2007+2012, KITTI и B1T-Vehicle, улучшенная модель показала значительное снижение вычислительных затрат и количества параметров при сохранении высокой точности и скорости детекции.

Описанная модель была реализована в виде системы поддержки принятия решений для поиска парковочного места, которая должна автоматически обнаруживать свободные парковочные места во дворе и предоставлять эту информацию пользователям. Система интегрируется с видеокамерами, анализирует изображения и обновляет статус доступных мест. Пользователи могут в реальном времени видеть свободные места и получать навигацию к ним через интерфейс приложения. Для реализации используется HTTP интерфейс видеокамер, поддерживающий форматы MJPEG и H.264. В рамках системы обеспечена поддержка горизонтального масштабирования для обработки увеличивающегося количества запросов и видеопотоков. Система обеспечивает круглосуточный доступ к телеграм-боту с минимальным временем простоя.

Пользователи могут добавлять локации, указывая географические координаты, в радиусе которых система будет искать парковочные зоны. Также можно добавлять камеры, указывая их местоположение и корректный адрес в сети. После успешного добавления камер и локаций пользователи могут получить информацию о доступных парковочных местах, выбрав нужную локацию через интерфейс телеграм-бота. Система была протестирована на реальном оборудовании с целью оценки ее производительности. Результаты нагрузочного тестирования показали, что время работы нейросетевой модели значительно меньше времени работы всего алгоритма, что связано с длительным процессом последовательного получения изображений с каждой камеры через HTTP интерфейс. Для повышения производительности предлагается разделить процессы нейросетевой обработки и получения изображений на два независимых сервиса, используя Message broker для обмена сообщениями. Дальнейшие исследования могут быть направлены на интеграцию системы с картографическими и навигационными сервисами для улучшения пользовательского опыта и повышения точности предоставляемой информации. Реализация этих улучшений позволит создать более эффективные и удобные системы управления парковочными пространствами, способствуя развитию умных городов.

Работа выполнена в рамках государственного задания, проект № FSWF-2023-0012.

Литература

1. Пучков А.Ю., Соколов А.М., Федотов В.В. Нейросетевой метод анализа процессов термической обработки окомкованного фосфатного рудного сырья // Прикладная информатика. 2022. Т. 17. №5. С. 62-76.
2. Пучков А.Ю., Дли М.И., Прокимнов Н.Н., Шутова Д.Ю. Многоуровневые алгоритмы оценки и принятия решений по оптимальному управлению комплексной системой переработки мелкодисперсного рудного сырья // Прикладная информатика. 2022. Т. 17. №6. С. 102-121.
3. Shrey Srivastava, Amit Vishvas Divekar, Chandu Anilkumar, Ishika Naik, Ved Kulkarni & V. Pattabiraman Comparative analysis of deep learning image detection algorithms // Journal of Big Data, 2021, vol.8, pp. 66.
4. Ping-Rong Chen, Hsueh-Ming Hang, Sheng-Wei Chan and Jing-Jhih Lin DSNet: an efficient CNN for road scene segmentation // Cambridge Core, 2020, vol. 9, pp. 27.
5. Chien-Yao Wang, Alexey Bochkovskiy, Hong-Yuan Mark Liao YOLOv7: Trainable bag-of-freebies sets new state-of-the-art for real-time object detectors // Computer Vision and Pattern Recognition, 2022, vol.10, pp. 2.
6. Kai Han, Yunhe Wang, Qi Tian, Jianyuan Guo, Chunjing Xu, Chang Xu GhostNet: More Features from Cheap Operations // Computer Vision and Pattern Recognition, 2020, vol. 8, pp. 1.

РОЛЬ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИННОВАЦИЙ В ПОВЫШЕНИИ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЙ ХИМИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА

В сложившейся текущей экономической ситуации, для которой характерно появление новых задач, связанных с импортозамещением и необходимостью формирования новых видов промышленных производств для обеспечения отечественных потребителей отдельными видами продукции, ранее поставляемой иностранными производителями, и выхода на новые зарубежные рынки, важное значение приобретают вопросы повышения конкурентоспособности и экономической эффективности промышленных производств, в первую очередь, относящихся к химическому комплексу. Одним из способов обеспечения высокого уровня конкурентоспособности промышленных производств и выпускаемой продукции являются инновационные технологии и разработки.

Химическая промышленность относится к числу наукоемких отраслей промышленности, отличающихся достаточно высокими удельными затратами, связанными с инновационной деятельностью. При этом активизация инновационной деятельности, предполагающая внедрение на предприятиях разных видов инноваций, является необходимым условием обеспечения эффективного управления не только отдельными предприятиями, но и формируемыми логистическими цепями в целом, а также повышения степени адаптивности предприятий в случае изменения факторов внешней и внутренней среды. Разнообразие инновационных технологий и разработок, внедряемых на современных предприятиях химического комплекса, определяется наличием разного рода задач, требующих решения для обеспечения их функционирования и развития и связанных, например, с изменением требований потребителей к характеристикам продукции, трансформацией логистических цепей, необходимостью изменения бизнес-процессов и обеспечения устойчивого роста.

В настоящее время существуют различные подходы к классификации инноваций. Систематизация классификационных признаков в большинстве случаев осуществляется с учетом значимости и масштаба инноваций, целевых факторов их разработки и внедрения, а также различных характеристик системы и структурных факторов. Так, по степени новизны можно рассматривать «эпохальные», «базисные», «улучшающие» и «псевдоинновации» [1]. Также отметим, что, как правило, инновационные проекты, реализуемые на промышленных предприятиях, с одной стороны, характеризуются высокой степенью риска, а, с другой стороны, могут существенно стимулировать их развитие и способствовать формированию конкурентных преимуществ в стратегической перспективе. При этом сами

инновации также могут различаться по уровню риска. В частности, анализируя виды инноваций, выделяемых с учетом их способности по удовлетворению потребностей потребителей, можно отметить, что инновации, которые способствуют формированию новых потребностей, в отличие от инноваций, направленных на удовлетворение существующих потребностей, безусловно характеризуются наибольшим уровнем риска, однако при этом могут приводить к наилучшим результатам благодаря предвидению ключевых направлений развития рынка и завоеванию лидирующих позиций на нем.

Анализируя различные характеристики социально-экономических систем, к которым относятся промышленные предприятия, необходимо отметить, что с точки зрения области применения традиционно выделяют такие виды инноваций, как «технологические (процессные, продуктовые)»; «маркетинговые», «организационные», «экологические», «управленческие» и «социальные» [2]. Применительно к предприятиям химического комплекса особое внимание может быть уделено процессным и продуктовым инновациям. Первый тип инноваций в этом случае предполагает внедрение новых методов и технологий в области организации производства химической продукции на уровне различных технологических переделов, способов использования нового оборудования и применения результатов научно-исследовательской деятельности, как в рамках одного передела, так и на уровне всех технологических переделов. Продуктовые инновации, реализуемые на предприятиях химической промышленности, могут быть связаны не только с получением новых или усовершенствованных видов химической продукции, но и применением новых материалов и комплектующих. Изучение особенностей управления инновационной деятельностью на химических предприятиях позволяет заключить, что применяемые ими инновации могут быть отнесены к числу универсальных или специфических инноваций. Если специфические инновации учитывают особенности химических производств и при этом относятся к категории продуктовых или процессных инноваций, то универсальные инновации практически не учитывают отраслевую специфику и могут быть связаны, например, с изменениями организационного характера, а также способствовать увеличению ресурсо- и энергоэффективности производства в целом.

Поскольку продукция химических производств в большинстве случаев подвергается различным технологическим переделам, то значительно увеличить эффективность инновационных процессов в рамках всего химического комплекса можно за счет разработки и внедрения сквозных инноваций, представляющих собой технологии и разработки, используемые на предприятиях, относящихся к различным звеньям производственно-технологической цепи, и направленные на повышение их экономической эффективности и получение различных эффектов на уровне нескольких технологических переделов, и локальных инноваций, учитывающих

особенности бизнес-процессов предприятий, относящихся к конкретным технологическим переделам.

В настоящее время продукция, выпускаемая предприятиями химического комплекса, используется в различных отраслях промышленности (например, в их числе можно отметить медицину, строительство, автомобильную промышленность и др.). В то же время она относится к такому виду продукции, который может представлять опасность для здоровья человека и окружающей среды. Ее широкое применение определяет необходимость разработки и внедрения экологических инноваций, которые должны занимать важное место в общей совокупности инноваций, реализуемых на предприятиях химического комплекса, и могут одновременно быть классифицированы по ряду других признаков, в том числе рассмотренных выше. Так, наилучший результат с точки зрения решения задач в области экологии может быть получен при разработке экологических инноваций, относящихся к категориям сквозных и локальных инноваций, что позволит минимизировать негативное воздействие на окружающую среду химической продукции, как в процессе ее производства, так и потребления на уровне всех технологических переделов.

В целом инновационные технологии, прежде всего, связанные с экологией, учитывая потенциальный ущерб, который химическая продукция может нанести окружающей среде, имеют важное значение при реализации процессов производства и использования продукции данного вида и оказывают большое влияние на экономическую эффективность предприятий химического комплекса. На рисунке 1 показана роль инноваций в повышении экономической эффективности предприятий химического комплекса. В частности, внедрение инноваций на предприятиях химического комплекса, относящихся к разным технологическим переделам, позволит повысить качество уже выпускаемой продукции, что окажет влияние на рост конкурентоспособности химической продукции, относящейся к текущему и последующим технологическим переделам, а также значительно расширить ее ассортимент, что особенно важно в современных экономических условиях, когда были существенно ограничены поставки отдельных видов продукции иностранного производства. Также активизация инновационной деятельности предприятий химического комплекса и реализация комплексного подхода в данной сфере, учитывающего инновационные потребности на уровне различных переделов, приведет к получению таких дополнительных эффектов, как сокращение затрат на производство продукции, повышение эффективности процессов использования разного рода ресурсов, увеличение производительности по всей производственно-технологической цепи и, в конечном счете, будет обуславливать рост рентабельности разного рода производств химической продукции и увеличение прибыли по каждому виду химической продукции, выпускаемой в рамках различных технологических переделов.

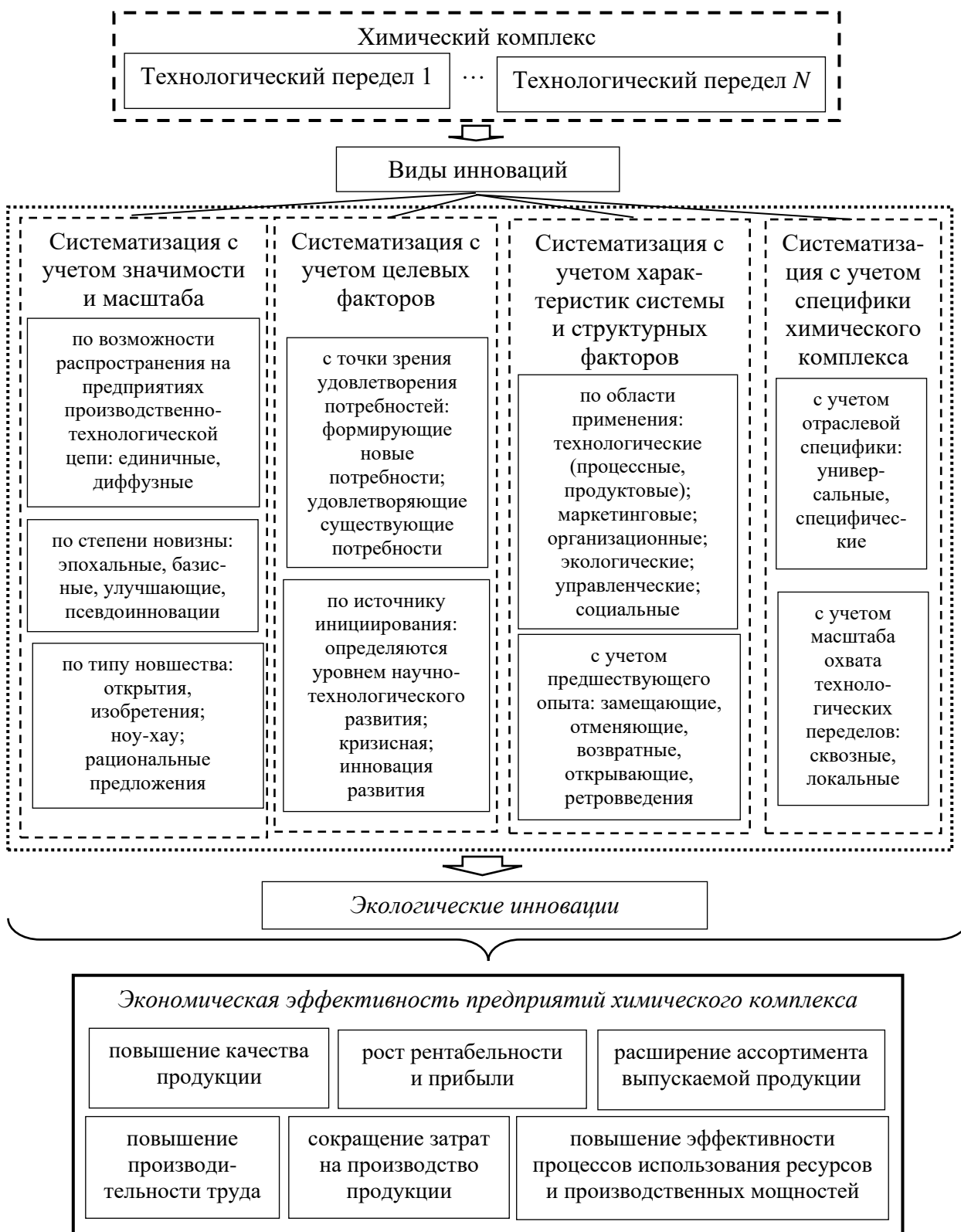


Рисунок 1 - Роль инноваций в повышении экономической эффективности предприятий химического комплекса

Представляется, что эффективное решение задач, связанных с развитием химических предприятий, осуществляющих производство продукции разных переделов и отличающихся наличием сложных взаимосвязанных производственно-технологических процессов, невозможно без реализации комплексного подхода к управлению инновациями во всех звеньях производственно-технологической цепи, позволяющего учитывать как инновационный потенциал предприятий-участников данной цепи, так и их потребности в инновационной сфере.

Список литературы

1. Ленкова О. В., Антонов М. Л. Сущность и виды инноваций в нефтехимии // Известия высших учебных заведений. Социология. Экономика. Политика. 2012. № 4. С. 28-31.
2. Дли М. И., Какатунова Т. В., Литвинчук Ю. Я. Контроллинг локальных инноваций авиастроительного предприятия // Контроллинг. 2009. № 30. С. 32-36.

*В.Г. Халин, д.э.н., проф.; Г.В. Чернова, д.э.н., проф.,
М.В.Забоев, к.э.н., доц., Е.С. Сысоева, студ.*

(Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург)

СИСТЕМНЫЙ И ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ КАЧЕСТВА УПРАВЛЕНИЯ ПРОГРАММОЙ «ПРИОРИТЕТ-2030»

Статья является четвертой в серии публикаций авторов, посвященных анализу результатов реформирования российской высшей школы за последние тридцать лет своего развития. Доказано, что качество управления программой «Приоритет-2030» на этапе ее реализации с 2021 по 2024 годы является неудовлетворительным.

Ключевые слова: высшая школа России, программа «Приоритет-2030», качество управления, системный анализ, математические методы в экономике.

Введение. Стратегической целью развития высшей школы России является подготовка высококвалифицированных кадров, востребованных национальной экономикой и конкурентоспособных на мировом рынке труда независимо от разного влияния внешних и внутренних факторов [1]. К числу современных факторов, существенно оказывающих негативное воздействие на подготовку кадров в рамках высшей школы России, относятся специальная военная операция (далее СВО) и экономические санкции Запада.

Учет влияния этих факторов определяет следующие цели и ключевые задачи современного развития российской высшей школы: скорейшая ликвидация разрыва между острой потребностью в высококвалифицированных кадрах для обеспечения технологического суверенитета России и реальным состоянием ее рынка труда; подготовка и целевая переподготовка кадров, направленная на обеспечение инновационного развития ключевых отраслей России; подготовка высококвалифицированных кадров для полноценного социально-экономического развития не только новых территорий России, но и всей страны в целом [2, 3, 4]. Достижение этих целей и решение новых задач

развития высшей школы России в современных условиях требует кардинального улучшения качества ее управления.

Целью данной статьи является анализ качества современного управления российской высшей школой на примере разработки и реализации крупномасштабной программы «Приоритет-2030»¹.

Управленческие решения (УР) по программе «Приоритет-2030» и их оценка. Программу «Приоритет-2030» инициировал министр науки и высшего образования России Фальков В.Н. К ключевым УР по данной программе на федеральном уровне относят следующие нормативные документы: распоряжение Правительства РФ от 31.12.2020 г. № 3697-р; постановление Правительства РФ от 13.05.2021 № 729; постановление Правительства РФ от 13.05.2021 № 730; приказ Минобрнауки России от 31.05.2021 № 432; распоряжение Правительства РФ от 27.09.2021 № 2690-р; Протоколы заседания Президиума Совета Приоритет-2030; Протоколы заседания комиссии Минобрнауки РФ по Приоритету-2030².

Проведенный авторами системный анализ качества ключевых УР федерального уровня [5, 6, 7], принимаемых на момент разработки и начало в 2021 году реализации программы «Приоритет-2030», убедительно показал неудовлетворительное качество многих из них.

Полученные за 2021-2024 годы результаты освоения этой программы также показали, что качество управления программой не только осталось по-прежнему неудовлетворительным, но и по ряду критериев и показателей стало даже еще хуже. Так, например, по критерию «ясность цели Программы» за 4 года ее освоения ничего не было сделано. Цель, как первоначально не отвечала критериям конкретности, измеримости и достижимости, так и осталась таковой к настоящему времени. Далее. В ключевые документы Программы постоянно вносятся изменения и уточнения по отбору вузов, правилам распределения финансов между вузами-участниками и др. Финансовое обеспечение Программы по-прежнему определено лишь с 2021 по 2024 гг., а не на весь период до 2030 г. В условиях СВО и санкций Запада ряд ключевых показателей для определения размера специальной части гранта для вузов-участников Приоритета-2030, относящихся к публикационной активности НПР в международных наукометрических базах данных, стал недоступен, что негативно сказалось на объективности оценок успешности развития этих вузов. Следует отметить, что ни один из вузов новых территорий России с 2022 г. по настоящее время не был включен в число участников программы «Приоритет-2030». Дополнительно выявилось, что при распределении Советом Программы специальной госбюджетной части гранта между вузами-участниками треков Приоритета-2030 за период с 2021 по 2024 гг. отсутствует объективность и прозрачность распределения госбюджетных средств. Так, например, некоторые

¹ Сайт программы «Приоритет-2030»: <https://priority2030.ru/> (дата обращения 15.06.2024)

² Сайт программы "Приоритет-2030" // Министерство науки и высшего образования РФ. — URL: <https://minobrnauki.gov.ru/action/priority2030/> (дата обращения: 15.06.2024)

вузы-участники территориально-отраслевого трека, которые получали «специальную часть гранта» в 2023 году и выполнили плановые задания только наполовину или даже меньше, все же могут получить из госбюджета «специальную часть гранта» в размере, который будет существенно больше, чем «специальная часть гранта», получаемая некоторыми другими вузами-участниками Программы, которые свои плановые задания выполнили по всем или почти всем обязательным показателям (Табл. 1).

Таблица 1

Размеры специальной части гранта вузов участников территориально-отраслевого трека Приоритет-2030 за 2021-2024 гг. (млн. руб.)

| Университеты | 2021 г. | 2022 г. | 2023 г. | 2024 г. |
|---------------------|---------|---------|---------|---------|
| КубГАУ | 170,3 | 824,2 | 117,1 | - |
| КФУ | 170,3 | 824,2 | 819,6 | 529,5 |
| МАИ | 170,3 | 824,2 | 819,6 | 529,5 |
| ПИМУ | 170,3 | 824,2 | 819,6 | 529,5 |
| РАНХиГС | 170,3 | 824,2 | 117,1 | 317,7 |
| РУТ | 170,3 | 824,2 | 351,2 | 317,7 |
| СамГМУ | 170,3 | 824,2 | 819,6 | 529,5 |
| ТюмГУ | 170,3 | 824,2 | 351,2 | 317,7 |
| БГМУ | 73,0 | 353,2 | 351,2 | 317,7 |
| БФУ | 73,0 | 353,2 | 819,6 | 529,5 |
| ДВФУ | 73,0 | 353,2 | 351,2 | 105,9 |
| КФУ им. Вернадского | 73,0 | 353,2 | 117,1 | - |
| ЛЭТИ | 73,0 | 353,2 | 351,2 | 317,7 |
| МГИМО | 73,0 | 353,2 | 819,6 | 317,7 |
| НГТУ | 73,0 | 353,2 | 117,1 | 317,7 |
| НИУ БелГУ | 73,0 | 353,2 | 351,2 | 317,7 |
| РХТУ | 73,0 | 353,2 | 117,1 | - |
| СевГУ | 73,0 | 353,2 | 117,1 | - |
| СПбГМТУ | 73,0 | 353,2 | 351,2 | 317,7 |

| | | | | |
|-------------------|---------------|----------------|----------------|---------------|
| ТУСУР | 73,0 | 353,2 | 819,6 | 529,5 |
| ИРНITU | 24,3 | 117,7 | 351,2 | 105,9 |
| НГТУ им. Алексева | 24,3 | 117,7 | 117,1 | 105,9 |
| СибГМУ | 24,3 | 117,7 | 351,2 | 529,5 |
| СтГАУ | 24,3 | 117,7 | 117,1 | - |
| СФУ | 24,3 | 117,7 | 117,1 | - |
| УГНТУ | 24,3 | 117,7 | 351,2 | 105,9 |
| ВМА | - | - | 117,1 | 529,5 |
| МПУ | - | - | 351,2 | 105,9 |
| НИУ МГСУ | - | - | 351,2 | 105,9 |
| СНИУ | - | - | 117,1 | - |
| УУНиТ | - | - | 351,2 | 105,9 |
| Итого | 2432,8 | 11773,6 | 11590,9 | 8366,1 |

Источник: составлено авторами на основании данных из протоколов Минобрнауки РФ³

Сравнительный анализ данных таблицы 1 и данных по ежегодному выполнению каждым вузом-участником обязательных восьми показателей эффективности (P1_c2, P2_c2, P3_c2, P4_c2, P5_c2, P6_c2, P7_c3, P8_c2)⁴ позволяет увидеть серьезные противоречия между количеством достигнутых обязательных показателей эффективности и величиной полученного госбюджетного гранта. Так, например, ПИМУ и КФУ достигли 6 и 8 показателей эффективности из 24 за три года и при этом имели наибольшие размеры грантов, а ИРНITU, СтГАУ, СФУ, достигшие 18, 15 и 15 показателей соответственно, получили намного меньший размер госбюджетного гранта. Это подтверждает субъективность и низкое качество УР, принимаемых Советом по ежегодному распределению госбюджетных средств между вузами-участниками программы «Приоритета-2030» по треку «Территориальное и (или) отраслевое лидерство». Отмеченный недостаток Приоритета-2030 – отсутствие прямой зависимости размеров распределяемых между вузами госбюджетных субсидий от качества выполнения каждым вузом утвержденных заданий по ряду показателей деятельности вуза, обуславливает необходимость более подробного рассмотрения вопроса справедливого распределения субсидий

³ URL: https://minobrnauki.gov.ru/documents/?ELEMENT_ID=62739 (дата обращения 15.06.2024)

⁴ <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202106230024?index=0&rangeSize=1> (дата обращения 15.06.2024)

между вузами-участниками программы, внутри каждого трека Приоритета-2030. Достаточно показательные УР Совета «Приоритет-2030» является исключение в 2024 году из территориально-отраслевого трека двух вузов Крыма: Крымского федерального университета имени В.И.Вернадского (КФУ им. Вернадского) и Севастопольского госуниверситета (СевГУ).

Авторский подход применения методов интеллектуального анализа и многокритериального ранжирования, который включает для каждого вуза оценку обязательных показателей в динамике, а также оценивает не только их фактические значения выполнения, но и их плановые значения, к которым стремится вуз, использует общедоступные количественные показатели из Мониторинга и авторитетных мировых рейтингов. Это дает более полную характеристику и оценку развития для каждого вуза - участника «Приоритета-2030», что, в свою очередь, позволяет принимать обоснованные, прозрачные и качественные УР по распределению госбюджетных средств между вузами - участниками Приоритета-2030.

Заключение. Проведенный анализ качества управления программой «Приоритет-2030» показал следующее.

1. Еще на этапе разработки Программы важнейшие управленческие решения федерального уровня могут быть оценены как неудовлетворительные. Их низкое качество проявляется в следующем – отсутствует четкая формулировка цели и задач программы; нечеткими являются Правила входа вуза в программу; не обоснован перечень показателей, учитываемых в Правилах входа вуза в программу; нечеткими являются Правила распределения субсидий между вузами-участниками Приоритета-2030 по трекам.

2. На этапе реализации программы в 2021-2024 гг. уровень качества большей части ключевых управленческих решений федерального уровня продолжает снижаться и достигает критически низкого уровня. Убедительным примером такой ситуации является неудовлетворительное качество финансового менеджмента «Приоритета-2030» при распределении специальной части гранта между вузами - участниками трека «Территориальное и (или) отраслевое лидерство».

3. Самым существенным недостатком государственного управления реализацией программы «Приоритет-2030» является то, что она не направлена на решение новых актуальных задач, которые стоят сегодня перед российской системой высшего образования в условиях СВО и экономических санкций Запада. В частности, на экстренную целевую подготовку высококвалифицированных кадров для обеспечения технологического суверенитета России и полноценного социально-экономического развития не только новых территорий России, но и всей страны в целом.

Литература

1. Халин В.Г. Модернизация национальной системы высшего образования в контексте выбора управленческих решений. Научное издание. СПб.: Изд-во С.-Петерб. ун-та, 2008.
2. Балацкий Е.В. Переформатирование российского университета в условиях гибридной войны: практико-ориентированная модель. Journal of Economic Regulation, 2022, 13(4): 24-38.

3. Садовничий В.А. Университеты — ключевой фактор в системе подготовки кадров для обеспечения технологического суверенитета России. / Заседание Совета РСР 20 февраля 2024. URL: <https://rsr-online.ru/events/2024/v-mgu-sostoyalos-rasshirenoe-zasedanie-soveta-rsr/> (дата обращения 15.06.2024)

4. Образование, которое мы можем потерять. Сборник. Под общей редакцией ректора МГУ академика В.А. Садовничего. – М.: МГУ им. М.В. Ломоносова, 2002.

5. Забоев М.В., Халин В.Г., Чернова Г.В., Юрков А.В. Интеллектуальный анализ данных в управлении российской высшей школой // Прикладная информатика. 2022. Т.17. № 4. С. 17–36. DOI: 10.37791/2687-0649-2022-17-4-17-36

6. Сысоева, Е. С. Оценка качества финансового обеспечения Приоритета-2030 по треку «Территориальное и (или) отраслевое лидерство» / Е.С. Сысоева, В.Г. Халин // Емельяновские чтения. Имитационное моделирование и системный анализ в управлении - 2023: Сборник трудов научного семинара, Смоленск, 15 июня 2023 года. – Смоленск: Универсум, 2023. – С. 58-63

7. Халин В.Г., Чернова Г.В. Риски управления российской высшей школой в условиях новых факторов. / Формирование страховой культуры: финансовое просвещение и ответственный бизнес: Сборник трудов XXV Междунар. науч.- практ. конф. (г. Москва, 4 июня 2024 г.) — М.: Прометей, 2024. – С. 364-371

*В.И. Бобков, д.т.н., доцент, П.А. Артюхова, маг.
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

С.В. Незамаев, соискатель (РХТУ им. Д.И. Менделеева)

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ГАЗОВЫХ ЭНЕРГОНОСИТЕЛЕЙ В ГОРНЕ ОБЖИГОВОЙ КОНВЕЙЕРНОЙ МАШИНЫ

Аннотация. Представлены результаты анализа возможности использования в горне обжиговой конвейерной машины для термической подготовки мелкодисперсного рудного сырья, альтернативных природному газу газовых энергоносителей, учитывающие эффективность эксплуатации газовых горелочных устройств и свойств альтернативных энергоносителей. Разработана методика оценки эффективности использования альтернативных энергоносителей, учитывающая критерии Воббе для применяемого и предлагаемого на альтернативу энергоносителя и позволяющая рассчитать «индикатор альтернативности», вычислить отношение этих индикаторов, что позволяет показывать направление изменения качества сжигания природного газа при использовании альтернативного газа в эксплуатируемом газогорелочном оборудовании горна обжиговой конвейерной машины.

Как показал анализ представленных результатов и практический опыт работы горно обжиговой конвейерной машины, эффективность функционирования горелочных газовых устройств главным образом зависит от свойств используемого газа [1]. Различные газы отличаются по своему составу, в результате чего при неизменных расчётных конструктивных и аэродинамических параметров газосжигающего оборудования горна обжиговой машины могут существенно изменяться основные характеристики процесса горения [2]. Особенности эксплуатации горелок на газовом энергоносителе, плотность и теплота сгорания топлива, обуславливают изменение тепловой мощности горелочного устройства, быстрым колебаниям температуры в пламени. Возникают продукты неполного сгорания. Появляется осадок в виде копоти. Возрастает коэффициент избытка воздуха [3]. Это особенно актуально для инжекционных горелочных устройств горна обжиговой конвейерной

машины. В негативных сценариях изменение состава газозудной топливной смеси приводит к утрате устойчивости горения – отрыву или отскоку пламени [4]. Проблеме совместимости различных видов альтернативы природному газу посвящено множество теоретических и практических работ во всём мире, в результате которых было установлено, что критерием совместимости является число Воббе, определяемое по выражению: $W_o = Q / \sqrt{s}$, где Q – теплота сгорания газа, МДж/м³; s – относительная плотность газа, определяемая по формуле $s = \rho_r / \rho_v$, где ρ_r – плотность газа, кг/м³; ρ_v – плотность воздуха, при одинаковых с газом условиях, кг/м³.

Таким образом, число Воббе имеет размерность, одинаковую с размерностью теплоты сгорания. Смысл этого числа состоит в том, что при равенстве прочих характеристик тепловая мощность горелки пропорциональна, а первичная степень аэрации обратно пропорциональна ему.

Горючие газы делятся на три группы: 1) W_o находится в диапазоне [18; 38] МДж/м³; 2) W_o находится в диапазоне [38; 68] МДж/м³; 3) W_o находится в диапазоне [68; 92] МДж/м³.

Обычный природный газ, относящийся ко второй группе, делится ещё на две подгруппы: $L - W_o$ находится в диапазоне [38; 48] и $H - W_o$ находится в диапазоне [48; 68] МДж/м³.

Первая группа соответствует прежде всего газам, применяемым в коммунально-бытовом хозяйстве. Вторая группа соответствует прежде всего природному газу. Третья группа соответствует пропану и бутану. Проблема взаимозаменяемости касается прежде всего первой и второй групп.

Разработан метод оценки взаимозаменяемости газов, который позволяет учитывать параметры, относящиеся как к газу, так и к газогорелочным устройствам, находящимся в непосредственной эксплуатации горна обжиговой конвейерной машины. В этом методе за основу принимается состав только одного газа, по отношению к которому решается проблема поиска альтернативы – другого газа. Это позволяет рассчитать для любого другого газа конкретное значение «индикатора альтернативности», который позволяет оценить вероятность того, что этот газ будет правильно сжигаться в реально эксплуатируемом горне обжиговой машины, то есть показывает пути управления качеством сжигания в случае подачи газа нового состава.

При применении этого метода необходимо соблюдать следующие условия: знать точные составы газов применяемого и предлагаемого на альтернативу; рассчитать число Воббе для каждого из них; рассчитать «индикатор альтернативности», рассчитать отношение этих индикаторов. Это отношение показывает направление изменения качества сжигания газа при использовании альтернативного газа в эксплуатируемом газогорелочном оборудовании горна обжиговой конвейерной машины.

Например, величина 1.5 показывает, что подача альтернативного газа увеличит в 1.5 раза число горелок в горне обжиговой машины, в которых при

сжигании его возрастёт содержание оксидов углерода, что позволяет качественно оценить, возможна ли замена «старого» газа на «новый».

При этом необходимо иметь в виду, что значения устойчивости пламени, воспламеняемости, тепловой мощности находятся для разных групп газов в различных пределах. Очевидно, что газы тем менее взаимозаменяемы, чем больше отличаются их характеристики.

Этот метод позволяет не только оценить количественно качество работы газогорелочных устройств горна обжиговой конвейерной машины в случае альтернативного выбора газов, но и использовать полученные результаты для оптимизации процесса сжигания газа в них либо посредством реинжиниринга (вплоть до замены), либо посредством регулировки и наладки.

С точки зрения теплофизики критерий Воббе показывает удельную тепло-производительность горелочного устройства горна обжиговой конвейерной машины постоянных конструктивных размеров ($f\mu = \text{const}$, где f – проходное сечение для газового энергоносителя, μ – коэффициент расхода газа через сопло) при неизменном режиме функционирования ($\Delta p_r / \rho_b = \text{const}$, где Δp_r – избыточное давление газа перед соплом).

Важным обстоятельством для замены одного газового энергоносителя на другой является неизменность тепловой мощности, выделяющейся на горелочном устройстве: $p_{r1} = p_{r2} = \text{const}$, следовательно, постоянном расходе воздуха через него $V_b = \text{idem}$.

Так как процент содержания природного газа в газо-воздушной смеси топлива небольшой, то изменять параметры тракта не имеет смысла, ведь вариации скорости истоки газо-воздушной смеси незначительны.

Расход альтернативного газа, м³/ч, вычисляется по формуле: $V_{r2} = V_{r1} - Q_{r1} / Q_{r2}$, где V_{r1} – расход «старого» газа, м³/ч; Q_{r1} и Q_{r2} – теплоты сгорания «старого» и альтернативного газа, кДж/м³.

Проходное сечение для альтернативного газа, м², определяется по формуле:

$$f_{r2} = \frac{f_{r1} Q_{r1}}{Q_{r2}} \sqrt{\frac{\rho_{r2} \Delta p_{r1}}{\rho_{r1} \Delta p_{r2}}}, \quad (1)$$

где f_{r1} – проходное значение для «старого» газа, м²; ρ_{r1} и ρ_{r2} – плотность «старого» и альтернативного газа, кг/м³; Δp_{r1} и Δp_{r2} – давление перед горелкой «старого» и альтернативного газа, Па.

По выражению (1) можно вычислить многочисленные способы подачи альтернативного газа: во-первых из-за изменения проходного сечения, во-вторых из-за давления газо-воздушного топлива перед горелкой.

При выборе альтернативного газа в диффузионных горелках при неизменном размере газового сопла необходимо учитывать, что при переходе на газ с повышенной теплотой сгорания, когда расход и скорость его истечения уменьшаются по сравнению с исходным, может ухудшиться перемешивание

газа с воздухом и появиться химический недожог. В этом случае необходимо изменять размер газовых сопел.

В дутьевых горелках при замене газа изменение скорости истечения газа сопровождается изменением глубины проникновения газа в воздушный поток (при боковой его подаче), что может изменить качество подготовки горючей смеси.

В инжекционных горелках как полного, так и частичного предварительного смешения необходимое давление газа определяется с учетом обеспечения заданного коэффициента избытка воздуха. Поэтому в таких горелках необходимо одновременно изменить размер газовых сопел и давление газа перед горелкой.

При использовании альтернативного газа весьма важным является определение запаса устойчивости процесса горения по отношению к проскоку и отрыву пламени. Механизм проскока пламени состоит в том, что на каком-либо участке фронта пламени скорость его распространения превышает скорость набегающего потока смеси. Возникновение проскока пламени зависит от рода горючего газа, коэффициента избытка воздуха, степени предварительного перемешивания и подогрева горючей смеси, от которых зависит скорость распространения фронта пламени, а также от размера кратера горелки и формы профиля скорости в нём. Явление проскока пламени чаще всего возникает в горелках предварительного смешения и представляет наибольшую опасность для инжекционных горелок, горелок инфракрасного излучения, дутьевых горелок с предварительным смешением и подогревом компонентов. Для дутьевых горелок общего назначения опасности возникновения режима проскока пламени практически не существует. Тем не менее, предварительную оценку запаса устойчивости пламени в отношении проскока можно произвести, исходя из теории критического градиента скорости потока газозвушной смеси у стенки огневого канала.

Согласно этой теории, проскок пламени происходит в том случае, когда градиент скорости потока у стенки огневого канала g меньше некоторого критического значения $g_{кр}$, которое зависит от вида газа и коэффициента избытка воздуха и определяется экспериментально.

Как правило проскок пламени возникает при малых скоростях потока, когда имеет место ламинарный режим течения. В этом случае запас устойчивости горения альтернативного газа по проскоку определяется по формуле: $g = 4\bar{w}_{гв} / R$, где g – градиент скорости у стенки канала, c^{-1} ; $\bar{w}_{гв}$ – среднерасходная скорость газозвушной смеси, м/с; R – радиус канала (сопла), м.

Условием устойчивости является сравнение расчётного значения с критическим значением $g_{кр}$, полученным в вычислительных экспериментах и определяемым по графику на рисунке 1. При этом необходимо, чтобы было соблюдено условие $g \leq g_{кр}$.

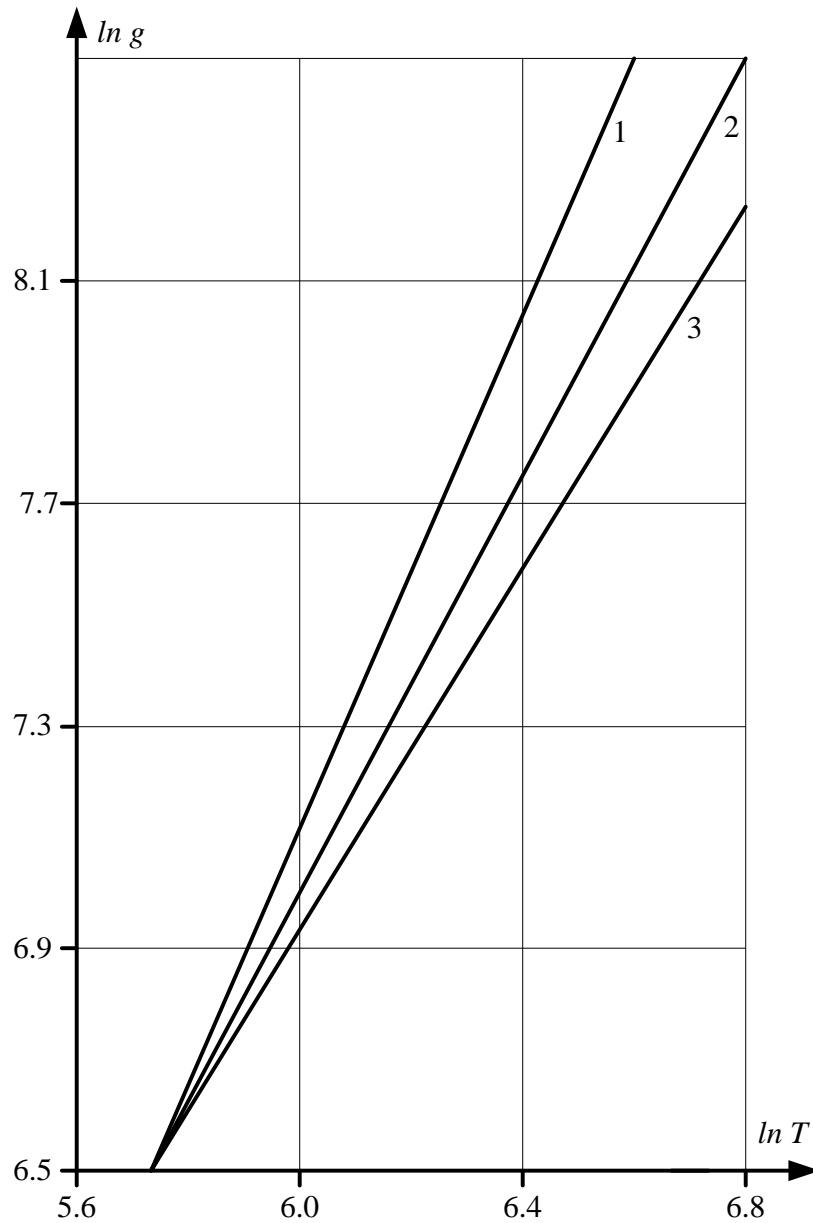


Рис. 1. Зависимость критического градиента скорости потока у стенки канала при проскоке пламени от температуры стенки. 1 – сжиженный газ + воздух; 2 – пропан + воздух; 3 – природный газ + воздух

В горне функционирующей обжиговой машины проскок пламени на горелке может возникнуть и при турбулентном режиме течения, для которого пока нет надёжного метода определения градиента скорости. В этих условиях следует исходить из того, что если исходный газ или газовая смесь горят устойчиво, то диапазон предельного регулирования горелки лежит внутри области стабильного горения диаграммы устойчивости (см. рис. 2), представляющей собой зависимость критического градиента скорости у стенки g при отрыве и проскоке факела от состава смеси, характеризуемого коэффициентом избытка воздуха α . Этот газ можно заменить другим только в

том случае, если диапазон предельного регулирования альтернативного газа также укладывается в область устойчивого горения.

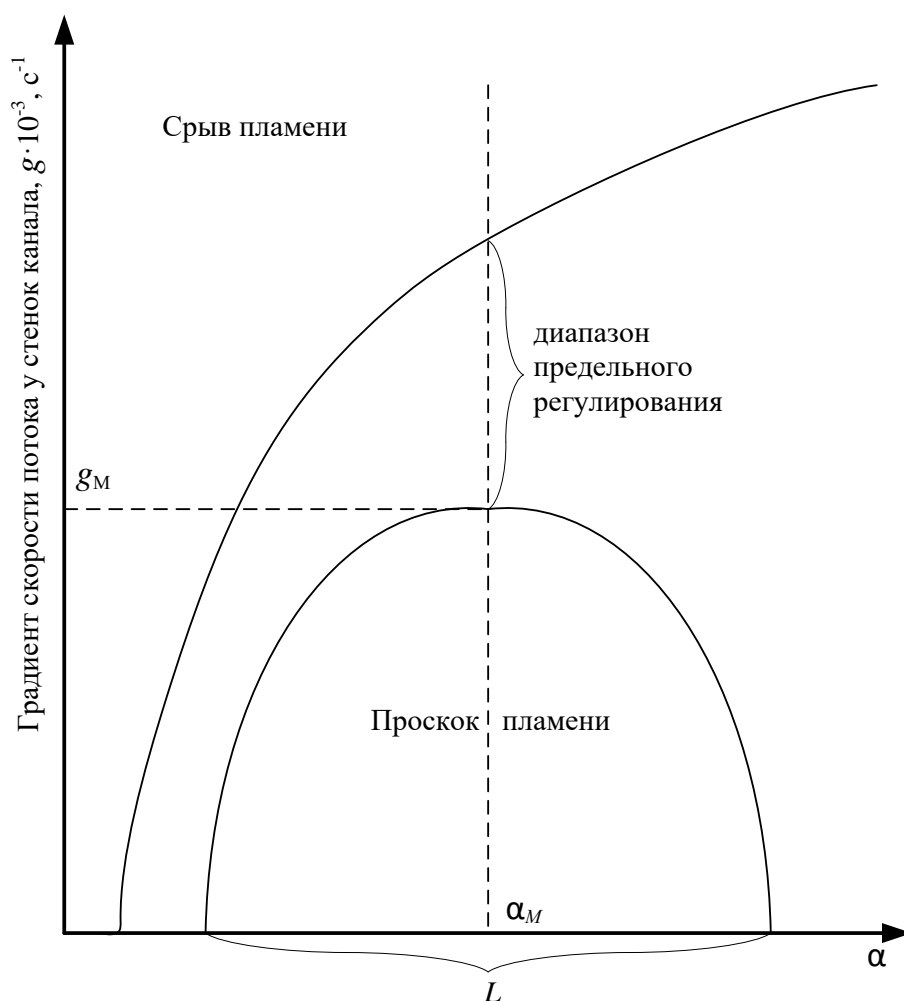


Рис. 2. Диаграмма устойчивости горения газа. (L – ширина области проскока)

Проверке на устойчивость подлежат верхний и нижний предельные режимы работы, а если регулирование мощности горелки производится при переменном коэффициенте избытка воздуха, то следует проверить и некоторые опасные промежуточные режимы по приближённым формулам: $g_2 = g_1 (\Delta p_{r2} / \Delta p_{r1})$, $\alpha_2 = \alpha_1 (W_{O_2} / W_{O_1})$.

При замене топлива изменяются также и границы области устойчивого горения. Так, при проскоке пламени максимальные значения критического градиента скорости соответственно для водорода и метана 105000 и 400 c^{-1} . При отрыве различие в значениях критических градиентов скорости гораздо значительнее.

Учитывая наличие большого разнообразия составов горючих газов, рекомендуется использовать обобщённую диаграмму устойчивости (см. рис. 3),

в координатах безразмерный приведенный пограничный градиент скорости \bar{g} и приведенный коэффициент избытка воздуха $\bar{\alpha}$: $\bar{\alpha} = g_{кр} / g_M$, где g_M – градиент в области максимума кривой проскока; $\bar{\alpha} = 1 + \varphi(\alpha - \alpha_M)$, α_M значение α , соответствующее максимуму кривой проскока; φ – коэффициент, зависящий от ширины области проскока.

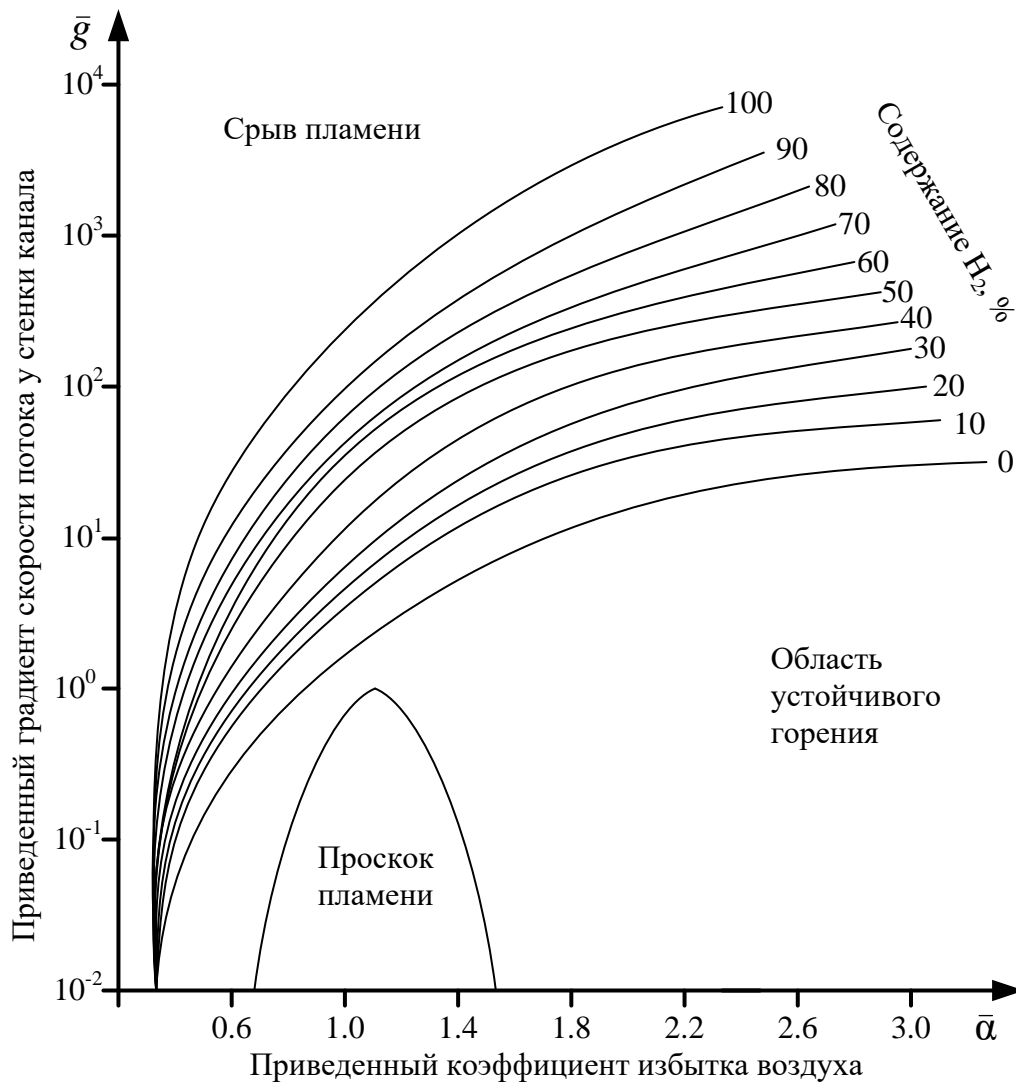


Рис. 3. Обобщённая диаграмма устойчивости горения газов с различным содержанием водорода

Числовые значения g_M , α_M , φ для чистых горючих газов, используемые в вычислительных экспериментах, приведены в таблице 1.

Таблица 1. Значения g_M , α_M , φ для чистых горючих газов

| Горючий газ | $g_M, \text{с}^{-1}$ | α_M | φ |
|-------------------------------|----------------------|------------|----------------|
| CH ₄ | 400 | 1.00 | 1.00 |
| C ₂ H ₆ | 650 | 1.13 | 0.80 |
| C ₃ H ₈ | 580 | 1.12 | 0.60 |
| C ₂ H ₄ | 1400 | 1.10 | 0.63 |
| C ₃ H ₆ | 800 | 1.14 | 0.68 |
| C ₆ H ₆ | 720 | 1.09 | 0.63 |
| H ₂ | 10500 | 1.2 | 0.46 |
| | | 1.7 | 0.37 (проскок) |
| CO | 1500 | 1.0 | 1.0 (срыв) |

В качестве параметра для кривых отрыва использовано содержание водорода в газе. Следует отметить, что вид кривой проскока, в обобщённых координатах не зависит от состава газа. Разработаны также зависимости, позволяющие учесть влияние на критический градиент скорости добавок инертных газов, таких как азот и углекислый газ.

Устойчивость по отрыву пламени следует определять по выражению: $w_{\text{отр}} = k \sqrt[3]{d_c}$, где $w_{\text{отр}}$ – скорость отрыва пламени, м/с; d_c – диаметр проходного сечения газозадушной смеси; k – коэффициент, зависящий от профиля сопла или соплового отверстия, для простых отверстий и форм $k = 10$.

Полный срыв пламени происходит при скорости, определённой пол формуле: $w_{\text{срыва}} = 15 \sqrt{0.2d_c^2 + 1}$.

Возможно также для практического поиска альтернативных газов пользоваться эмпирическими формулами для определения скорости в канале при проскоке, а также отрыве для горелок полного предварительного смешения:

а) подогрев смеси $t = 20 + 400$ °С при $d = 1.0$: $w_{\text{кр}} = 7.75 \cdot 10^{-3} u^2 (d/a)(T/293)^{1.65}$;

б) подогрев смеси и обогащение кислородом (21 – 35 %)
 $w_{\text{кр}} = 7.75 \cdot 10^{-3} (d/a)(T/293)^{2.25}$;

где d – диаметр канала, м; a – коэффициент температуропроводности, К/с; u – нормальная скорость распространения пламени, м/с; T – температура подогрева, К.

Из последних зависимостей вытекает, что для расчёта режима проскока в горелках горна действующих обжиговых машин не учитывается влияние таких факторов, как турбуленность потока, форма канала, состояние его поверхности, соотношение потока и стенок канала. Поэтому методики расчёта проскока для турбулентных потоков требуют дальнейшей доработки.

Проведенные исследования позволяют повышать энерго- и ресурсоэффективность многостадийных химико-энерготехнологических процессов термической обработки рудного сырья, увеличивать производительность горна обжиговой конвейерной машины осуществлять

мероприятия по повышению экологической и техногенной безопасности производства обогащённого рудного сырья, за счёт перевода агрегатов на альтернативный попутный газ, нефтяных и угольных добывающих предприятий.

Работа выполнена при поддержке РФФ (грант №22-11-00335)

Литература

1. Borisov V., Bulygina O., Vereikina E. The use of coevolutionary algorithms for optimizing the operating regimes of the roasting conveyor machine. // Journal of Applied Informatics. 2023. vol.18, no.3, pp.52-60. <https://doi.org/10.37791/2687-0649-2023-18-3-52-60>

2. Бобков В.И., Панченко С.В., Соколов А.М. Выявление потенциала энергоресурсосбережения в электротермических процессах переработки продуктов пеллетирования обжиговых машин конвейерного типа в руднотермических печах // Энергобезопасность и энергосбережение. 2019. №6. С. 32-36.

3. Пучков А.Ю., Лобанева Е.И., Култыгин О.П. Алгоритм прогнозирования параметров системы переработки отходов апатит-нефелиновых руд // Прикладная информатика. 2022. Т.17. №1(97). С.55–68.

4. Пучков А.Ю., Прокимнов Н.Н., Рысина Е.И., Шутова Д.Ю. Нейрорегулятор комплексной технологической системы переработки рудных отходов // Прикладная информатика. 2023. Т. 18. № 5. С. 91–105. <https://doi.org/10.37791/2687-0649-2023-18-5-91-105>.

СОДЕРЖАНИЕ

1. *Абраменков А.В., Булыгина О.В. АНАЛИЗ ИНФОРМАЦИОННЫХ РИСКОВ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЙРО-НЕЧЕТКОЙ МОДЕЛИ* 3
2. *Альхимович Н.А. ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ПРИМЕНЕНИЯ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В СФЕРЕ РОЗНИЧНОЙ ТОРГОВЛИ* 5
3. *Балацкий Д.Е., Булыгина О.В. ОПТИМИЗАЦИЯ ТРАНСПОРТНЫХ ЛОГИСТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРЕДПРИЯТИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МУРАВЬИНЫХ АЛГОРИТМОВ* 9
4. *Дли М.И., Верейкина Е.К. ДВУХКРИТЕРИАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ КЛАССИФИКАЦИИ ПОВЕДЕНЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ* 12
5. *Кравченко Н.Д., Маслов К.С. ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОЦЕССА КАЛИБРОВКИ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ* 15
6. *Кравченко Н.Д., Маслов К.С. ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ОПТИКОЭЛЕКТРОННЫХ ПРИБОРОВ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ И МОНИТОРИНГА ЗАБОЛЕВАНИЙ* 18
7. *Маслов К.С., Кравченко Н.Д. ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ КОРАБЕЛЬНЫХ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ* 22
8. *Митьков М.И., Баннов В.А., Юрков А.В. ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ НА ПЕРЕКРЁСТКЕ У МЕТРО «НЕВСКИЙ ПРОСПЕКТ»* 26
9. *Рагозина А.А., Юрков А.В. ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ АНАЛИЗА ДЕМОГРАФИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СВЕРДЛОВСКОЙ ОБЛАСТИ* 36
10. *Ракич Т., Вьюненко Л.Ф. ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА КОНСТРУИРОВАНИЯ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ* 41
11. *Терехов Р.А., Булыгина О.В. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ GHOST-СВЕРТОК В НЕЙРОСЕТЕВОЙ МОДЕЛИ YOLOV7 ДЛЯ ПОИСКА ПАРКОВОЧНЫХ МЕСТ* 46
12. *Тутов С. В. РОЛЬ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИННОВАЦИЙ В ПОВЫШЕНИИ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЙ ХИМИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА* 49
13. *Халин В.Г., Чернова Г.В., Забоев М.В., Сысоева Е.С. СИСТЕМНЫЙ И ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ КАЧЕСТВА УПРАВЛЕНИЯ ПРОГРАММОЙ «ПРИОРИТЕТ-2030»* 53
14. *Бобков В.И., Артюхова П.А., Незамаев С.В. АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ГАЗОВЫХ ЭНЕРГОНОСИТЕЛЕЙ В ГОРНЕ ОБЖИГОВОЙ КОНВЕЙЕРНОЙ МАШИНЫ* 58

Научное издание

ЕМЕЛЬЯНОВСКИЕ ЧТЕНИЯ.
ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
И СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ В УПРАВЛЕНИИ – 2024

Сб. трудов научного семинара

Подписано в печать 26.06.2024 г.
Формат 60x84^{1/16}. Тираж 100 экз. Печ. л. 17,75 Усл. печ. л. 4,25.

Издательство «Универсум»
Отпечатано в издательском секторе филиала МЭИ в г. Смоленске
214013 г. Смоленск, Энергетический проезд, 1

ISBN 978-5-91412-538-4

