

НИЦ «Надежность и ресурс больших систем и машин» УрО РАН  
Институт строительства и архитектуры Уральского федерального университета  
Международная группа экспертов по надежности Gnedenko Forum

Всероссийская научная конференция  
и школа молодых ученых с международным участием

РИСК-ОРИЕНТИРОВАННЫЕ МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЕ  
ТЕХНОЛОГИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ЭКСПЛУАТАЦИИ  
СОЦИОТЕХНИЧЕСКИХ ИНФРАСТРУКТУР

**РОМТПЭСИ-2026**

28–30 мая 2026 г.

**ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ КОНФЕРЕНЦИИ**

г. Екатеринбург  
2026

Сборник тезисов Всероссийской научной конференции и школы молодых ученых с международным участием «Риск-ориентированные междисциплинарные технологии проектирования и эксплуатации социотехнических инфраструктур: РОМТПЭСИ-2026» / сост.: С.А. Тимашев, А.А. Почекета / НИЦ «Надежность и ресурс больших систем и машин» УрО РАН; Институт строительства и архитектуры Уральского федерального университета; Международная группа экспертов по надежности Gnedenko Forum, 2026. – 40 с.

В сборнике представлены тезисы докладов Всероссийской научной конференции и школы молодых ученых с международным участием «Риск-ориентированные междисциплинарные технологии проектирования и эксплуатации социотехнических инфраструктур: РОМТПЭСИ-2026». Доклады отражают результаты оригинальных исследований, посвящённых развитию новой зонтичной науки инфранетики. Значительная часть материалов отражает инновационный образовательный процесс и содержит результаты, полученные студентами при выполнении дипломных работ на степень магистра. Доклады представляют интерес для специалистов, работающих в области надёжности, живучести, безопасности и риска инфраструктурных систем.

© НИЦ «Надежность и ресурс больших систем и машин» УрО РАН

© Институт строительства и архитектуры Уральского федерального университета

© Международная группа экспертов по надежности Gnedenko Forum

## Оглавление

|                                                                                                                                                                                                                        |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ИНФРАНЕТИКА – КЛЮЧЕВОЙ ИНСТРУМЕНТ УПРАВЛЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫМ РИСКОМ СОЦИОТЕХНИЧЕСКИХ ИНФРАСТРУКТУР И РОСТОМ БЛАГОСОСТОЯНИЯ РЕГИОНОВ. <i>Тимашев С.А.</i> .....                                                        | 5  |
| Алгоритмы применения метода углеродной цепи для прогнозирования показателей взрывопожароопасности горючих веществ. <i>Алексеев С.Г.</i> .....                                                                          | 10 |
| Углеродный след глобальной инфраструктуры. <i>Ковальчук Т.Г., Тимашев С.А.</i> .....                                                                                                                                   | 11 |
| Методика оценки зон поражения при авариях с криогенным кислородом на потенциально опасных объектах. <i>Ланенкин М.В., Полуян Л.В.</i> .....                                                                            | 12 |
| Риск-ориентированный подход при реализации проактивных методов обеспечения комплексной безопасности. <i>Лесных В.В.</i> .....                                                                                          | 13 |
| Энтропийный подход к оценке социально-когнитивных изменений и ущербов от природно-техногенных чрезвычайных ситуаций. <i>Малютина Е.В., Тимашев С.А.</i> .....                                                          | 14 |
| Применение нейронных сетей для прогнозирования прочности высокопрочных бетонов со сложной рецептурой. <i>Махов А.И., Полуян Л.В.</i> .....                                                                             | 15 |
| Безопасность как свойство надежности электроэнергетической системы. <i>Обоскалов В.П.</i> .....                                                                                                                        | 16 |
| Оценка технических потерь энергии в электрической сети при неопределенности графиков нагрузок. <i>Обоскалов В.П., Кирпиков А.В.</i> .....                                                                              | 17 |
| Оценка надежности транспортно-логистических перевозок в условиях глобального потепления и СВО. <i>Пономарев В.А., Тимашев С.А.</i> .....                                                                               | 18 |
| Построение цифровой модели бетона, армированного переработанными волокнами, для определения характеристик трещиностойкости с использованием ABAQUS. <i>Раззак А.В.Р., Алехин В.Н.</i> .....                            | 19 |
| Оценка эффективности мероприятий защищенности техносферы на примере Байкальской природной территории. <i>Сливаков Д.А., Тасейко О.В.</i> .....                                                                         | 20 |
| Особенности расчета надежности газопроводов методами непараметрической статистики. <i>Сызранцев В.Н.</i> .....                                                                                                         | 21 |
| Риск-ориентированная оптимизация эксплуатации межпромыслового трубопровода на его жизненном цикле. <i>Тимашев С.А., Бушинская А.В., Ли Ц.Х., Малютина Е.В.</i> .....                                                   | 22 |
| Риск-ориентированная оценка глубины дефектов трубопровода с использованием результатов внутритрубной диагностики и экспертных мнений. <i>Тимашев С.А., Почекета А.А.</i> .....                                         | 23 |
| Модель оперативного управления выбросами предприятия для уменьшения рисков здоровью населения с учетом снижения неприятного запаха. <i>Фоменко Г.А., Фоменко М.А., Скуратова Е.А., Гоге Э.А., Михайлова А.В.</i> ..... | 24 |
| Задача маршрутизации перевозок с элементами декомпозиции и возможности динамического программирования. <i>Ченцов А.Г., Ченцов П.А.</i> .....                                                                           | 25 |
| Медико-биологические аспекты/характеристики суб- и супраживучести при воздействии различного рода стрессоров. <i>Черешнев В.А.</i> .....                                                                               | 26 |
| A hybrid genetic algorithm for the optimisation of steel I-sections. <i>Abdullah H., Alekhin V.N.</i> .....                                                                                                            | 27 |
| Creation of a neural network approximator for calculating the stability of a centrally compressed steel column. <i>Alexandrov A.D., Eremin N.A., Poluyan L.V.</i> .....                                                | 28 |

|                                                                                                                                                                                                                   |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Deflection calculation of reinforced concrete beams using Artificial Intelligence and neural networks. <i>Bazhin S.A., Kiyko N.A., Poluyan L.V.</i> .....                                                         | 29 |
| Application of the Bayesian approach in the risk assessing of rare natural hazards.<br><i>Chikir M.V.</i> .....                                                                                                   | 30 |
| Prediction of crack resistance class of reinforced concrete structures using Machine Learning. <i>Chuvyzygalov N.A., Poluyan L.V.</i> .....                                                                       | 31 |
| Risk-oriented Artificial Intelligence technologies and the dynamic bow-tie method for ensuring the safety of potentially hazardous facilities in the petrochemical industry. <i>Eiva A.E., Poluyan L.V.</i> ..... | 32 |
| Development and implementation of solar air collectors with improved thermal performance. <i>Hu Wentao, Huang Yue, Alekhin Vladimir N.</i> .....                                                                  | 33 |
| Thermal performance evaluation of PCM-filled hollow bricks under cold climate conditions. <i>Huang Yue, Hu Wentao, Alekhin Vladimir Nikolaevich</i> .....                                                         | 34 |
| Artificial Intelligence in construction. <i>Khokhlov D.A., Poluyan L.V.</i> .....                                                                                                                                 | 35 |
| Risk-based artificial intelligence technologies and the Pareto method for predicting accidents at potentially dangerous facilities in the oil and gas industry. <i>Kuntsevich A.D., Poluyan L.V.</i>              | 36 |
| Forecasting foundation precipitation: from classical consolidation theory to neural network time series analysis. <i>Kuzmina A.A., Tertyshnaya E.S., Poluyan L.V.</i> .....                                       | 37 |
| Building Information Modeling (BIM): Capabilities and benefits. <i>Luzin E.A., Poluyan L.V.</i> ....                                                                                                              | 38 |
| Risk-based safety management of regional socio-natural-technogenic systems.<br><i>Moskvichev V.V., Taseiko O.V.</i> .....                                                                                         | 39 |
| Development of an expert system for industrial safety management in organizations operating hazardous production facilities based on Bayesian networks. <i>Pegushina A.A., Poluyan L.V.</i> .....                 | 40 |

# ИНФРАНЕТИКА – КЛЮЧЕВОЙ ИНСТРУМЕНТ УПРАВЛЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫМ РИСКОМ СОЦИОТЕХНИЧЕСКИХ ИНФРАСТРУКТУР И РОСТОМ БЛАГОСОСТОЯНИЯ РЕГИОНОВ

Тимашев С.А.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Научно-инженерный центр «Надежность и ресурс больших систем и машин»  
Уральского отделения Российской академии наук, Екатеринбург

<sup>2</sup>Уральский федеральный университет, Институт строительства и архитектуры,  
Екатеринбург  
timashevs@gmail.com

I. В современном мире, где технологии, климат и геополитика стремительно меняются, *способность правильно (и быстро) оценивать и парировать риски становится ключевой основой устойчивого развития*. Риск представляет собой *нетривиальное сочетание* вероятности реализации опасного, как правило, многомерного события и тяжести комплексного последствия этого события для каждого человека, населения, экономики, и экосистем в целом.

От сложных рисков, которые ныне возникают на переднем крае развития четвертого технологического уклада, никто не защищён, они характеризуются качественно большей неопределённостью, латентны, не воспринимаются органами чувств, выходят за пределы пространства конкретных предприятий и времени их функционирования, имеют глобальный вневременной характер и проникают практически во все сферы жизни и, одновременно, во многом обусловлены вмешательством человека в природу. Поэтому современное общество риска характеризуется институциональной неопределённостью социально-экономических и культурных условий производства.

Современные технологии, необходимые для производства конкурентоспособной продукции и качественного жизнеобеспечения современного *общества риска*, реализуются с помощью систем взаимозависимых инфраструктур. Они являются основой экономики, средством устойчивого роста ВВП, средней продолжительности жизни здорового населения и показателем благосостояния и могущества страны. Ни власть, ни промышленность, ни академические учреждения не могут себе позволить проигнорировать наблюдаемое наступление комбинации возможностей и рисков, которая сопровождает возникновение инфраструктур нового поколения, основанных на цифровизации, роботизации, блокчейне, интернете вещей, больших данных, квантовых компьютерах и искусственном интеллекте. Сама структура и фактура Российского общества будет определяться производительностью и услугами этих инфраструктур.

Широчайший круг междисциплинарных задач, порожденных бурным ростом новых типов и видов инфраструктур, и необходимость осознания их роли в устойчивом развитии современного общества риска привели к появлению (в 2016 году) новой синтетической (зонтичной) дисциплины *инфранетики* (*инфраструктуры + кибернетика*) [1]. Под зонтик инфранетики встают все знания, которые необходимы при решении задачи критичных инфраструктур, с обязательным указанием их связи между собой. Основой инфранетики являются конвергентные МИБИКС-технологии (стохастическая *механика* и дизайн, объяснимый *искусственный интеллект*, прикладная *биология*, *информатика*, *когнитивные* и *социальные науки*). Инфранетика призвана гармонизировать коллективное управление (говернанс) инфраструктурой территорий, регионов и городов, вне зависимости от численности их населения, по обобщённым критериям риска, посредством управления второй природой – системами взаимозависимых социотехнических инфраструктур в условиях рыночной экономики, на основе следующих региональных/обобщённых критериев риска: средняя ожидаемая продолжительность жизни в добром здравии (РСОПЖ); региональный/ муниципальный

индекс качества жизни (РИКЖ); живучесть взаимозависимых систем ВКИ; энтропия создания и деградации региональной системы ВКИ, величина вредоносного следа региональных инфраструктур.

К достижениям инфранетики на современном этапе её развития можно отнести [1]: методы описания всех видов неопределённостей (в том числе, эпистемных и алеаторных) и анализа их растекания по алгоритму оценки риска инфраструктуры; методику построения стохастического жизненного цикла стратегически важных инфраструктур; способы оценки ущерба, связанного с гибелью, физическими, когнитивными и социальными травмами и болезнями людей в результате функционального отказа инфраструктуры, аварии или катастрофы; концепцию и методологию управления риском по региональным критериям СОПЖ и ИКЖ; анализ применимости концепции хрупкости и антихрупкости к эксплуатации инфраструктур и их систем; понятие, концепцию, классификацию суб- и супраживучести (функциональная, когнитивная, социальная), способы их исследования и применения при управлении социально-технологическими системами; энтропийно-вероятностный подход к анализу риска сложных инфраструктур и взаимозависимости их элементов; энтропийную методику исследования активности горожан после крупной аварии на основе социальных сетей; концепцию вредоносности функционирующих инфраструктур (углеродный след, травматизм, смертность); особенности применения объяснимого ИИ в задачах риск-ориентированных диагностики, мониторинга, обслуживания и говернанса стратегически важных инфраструктур; методику оптимизации риск-ориентированной эксплуатации критичных инфраструктур как функции времени, которая в явном виде связывает вероятностные и экономические параметры их функционирования; основы оптимального управления (говернанса) когнитивными и творческими компонентами региона/города/стратегической инфраструктуры с использованием технологии блокчейн; анализ эмпирического материала, показывающего, что несмотря на то, что человек – наиболее опасный компонент любой инфраструктуры, усилия, затрачиваемые в настоящее время на минимизацию вредной составляющей его деятельности, совершенно не адекватны этой опасности.

Одним из важнейших приложений этой синтетической науки является придание свойства (супра)живучести энергетической, транспортной, промышленной, строительной, социально- когнитивной инфраструктурам с целью обеспечения повышения качества жизни жителей регионов и городов. Существующая структура РАН, построенная, в основном, на давно устоявшейся классификации естественных и гуманитарных наук, плохо приспособлена для исследования таких, изначально транс- и междисциплинарных, задач.

Используя эти достижения, полученные за последние 10 лет [1], НИЦ УрО РАН выполнил целую серию работ, направленных на устойчивое, безопасное развитие регионов, метрополий, муниципалитетов, корпораций, в том числе: разработка стратегии трансформации Иссык-Кульской области Республики Кыргызстан в супраживучий безопасный регион; оценка структурной надежности ЭЭС Республики Коми; выявление белых пятен в фундаментальных и прикладных знаниях, которые не позволяют решить многие актуальные задачи надежности, живучести и безопасности инфраструктур.

По заданию Администрации столицы Урала НИЦ УрО РАН разработал первые в истории города стратегический план развития г. Екатеринбурга до 2020 г. и 2030 гг., и его паспорт безопасности. НИЦ УрО РАН также разработал по заказам паспорта безопасности для многих других муниципальных образований Среднего Урала. По заданию Администраций Правительства Свердловской области и г. Екатеринбурга, НИЦ УрО РАН разработал первые в истории планы по предупреждению и ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов (ПЛАРН) для территорий Свердловской области и г. Екатеринбурга. Для многих опасных производственных объектов Среднего Урала, в том числе, Белоярской АЭС, разработаны паспорта безопасности, ПЛАРН, декларации

промышленной безопасности и планы мероприятий по локализации и ликвидации аварий. Уникальность этих разработок состоит в том, что в них дается прогнозирование показателей риска на территории МО (в том числе, риска железнодорожных аварий), оценка уровней защиты потенциально опасных объектов (ПОО), и адаптация моделей риска к потребностям ПОО.

Заслуживают упоминания (1) методика оптимальной эксплуатации системы водоснабжения с применением искусственных нейронных сетей по критериям надежности, живучести и безопасности, разработанная для г. Камышлова, но пригодная для всех городов Среднего Урала. Ее применение позволит повысить качество эксплуатации трубопроводных инфраструктур ЖКХ и достичь технологического суверенитета в этой области; (2) автоматизированная методика энтропийной оценки социально-когнитивных изменений общества и ущербов от природно-техногенных конфликтных и чрезвычайных ситуаций на основе сбора данных из социальной сети «ВКонтакте»; (3) методики оценки и прогнозирования живучести и безопасности умных городских инфраструктур при действии природных и техногенных стрессоров, которые позволяют осуществлять говернанс урбанистических инфраструктур.

В настоящее время НИЦ совместно с УрГУППС МЧС и Президентом Союза нефтегазопромышленников России, готовят к выпуску два тома «Безопасность Уральского федерального округа» (входят в многотомную серию «Безопасность России», которая издаётся с 1998 г. по рекомендациям Совета Безопасности и Управления делами Президента РФ). Эти книги посвящены вопросам антропогенной, техногенной и природной безопасности всех субъектов УрФО.

II. Дизайн любой многокомпонентной распределенной биогеотехнической системы *социум – человек – критичная инфраструктура – среда (СЧИС)*, и её эксплуатация на жизненном цикле, реализуются, в конечном счете, как управление природно-техногенным или антропогенным риском. Такая киберфизическая или социотехническая система инфраструктур должна обеспечивать стабильное функционирование какого-либо ПОО или отрасли индустрии, поддерживать жизнедеятельность населения и устойчивое развитие территории его проживания. Актуальность и практическая ценность фундаментальных и прикладных исследований в этой области очевидна: уменьшение риска приводит к увеличению средней ожидаемой продолжительности жизни населения в добром здравии и увеличению регионального валового продукта. А это и есть императивные цели региона и государства.

Развитие современной теории риска отстает от скорости возникновения новых типов угроз. Уровень внимания к природно-техногенным, антропо-техногенным, и злонамеренным угрозам – рискам, характерных для региональных, муниципальных, а также отраслевых/корпоративных систем, взаимозависимых критичных и стратегически важных инфраструктур, зачастую ниже уровня их важности. Практика эксплуатации таких систем показывает, что существуют белые пятна и зияющие пробелы в знаниях о рисках их жизненного цикла: способах их описания, изучения, и минимизации. Лица, принимающие ответственные решения (ЛПОР), на корпоративном, муниципальном или региональном уровне, зачастую не имеют инструментов, позволяющих принимать всесторонне взвешенные решения в отношении рисков, связанных с нарушениями функционала вверенных им объектов. Ошибки в принятии решений становятся все дороже, особенно, для будущих поколений. Все острее ощущается необходимость ускоренного развития фундаментальных, фундаментальных ориентированных и прикладных задач анализа и синтеза риска искусственной (второй) природы.

В условиях, когда способность социума предотвратить гибель или (физические или когнитивные) травмы людей конечна и ограничена его способностью создавать общественное богатство, центральной проблемой управления величиной оцененного потенциально-возможного ущерба (риска) становится оптимизация распределения (объема, места и времени приложения) ограниченных ресурсов на нужды безопасности,

что эквивалентно уменьшению всяческих последствий всех видов отказов инфраструктур за счет применения оптимального предсказательного проактивного обслуживания, а также средств защиты.

*Рискология* как наука, входящая в состав инфранетики, исследующая природу, структуру и последствия риска возникающего при эксплуатации инфраструктурных систем, (1) создает методы и средства идентификации, классификации, анализа и оценки его источников и факторов; (2) формирует принципы и оценки социальной приемлемости различных видов рисков, а также подходы к прогнозированию и управлению рисками в целом, (3) играет ключевую роль в современном обществе, поскольку помогает системно анализировать, прогнозировать и минимизировать угрозы в условиях неопределенности. Рискология предоставляет инструменты для принятия обоснованных решений. Без нее общество рискует действовать вслепую, увеличивая уязвимость перед кризисами. Рискология не просто констатирует опасности, но и исследует их взаимосвязи, например, как искусственный интеллект создает новые этические дилеммы. Рискология становится неотъемлемой частью стратегического мышления ЛПР, позволяя обществу адаптироваться к непредсказуемым переменам.

III. Для достижения технологического суверенитета необходимо разработать новые, прежде всего сквозные, технологии, в том числе с использованием объяснимого ИИ. Сквозные технологии – это, по сути, междисциплинарные конвергентные технологии. Их применение позволяет существенно увеличить скорость адаптации отечественных компаний, корпораций и российской экономики в целом к глобальным трендам, повысить энергетическую эффективность, справиться с возникающим дефицитом ресурсов.

Для создания отечественного генеративного искусственного интеллекта (ГИИ), функционально идентичного лучшим образцам зарубежных ГИИ (DeepSeek, Open AI, Anthropic, xAI и др.) и в те же сроки, необходимы экстраординарные усилия. В условиях СВО и санкционного давления страна не может тратить триллионы на разработку ГИИ. Необходимо найти инновационные способы создания ГИИ, не уступающего зарубежным, при затратах в десятки, если не в сотни раз меньше. Неконтролируемое, квантовое развитие и применение ГИИ, вызвало появление совершенно нового типа рисков, связанных с так называемыми галлюцинациями ИИ, когда ИИ неправильно или ошибочно/преднамеренно выполняет задаваемые ему промпты, придумывает несуществующие факты, публикации и др. Разработка методов выявления таких галлюцинаций, и ликвидации их последствий является первоочередной задачей, без решения которой невозможно использовать ГИИ в инженерии, и, вообще, везде, где требуется точная оценка количественных параметров эксплуатируемой системы. Однако в настоящее время эта проблема вообще не стоит на повестке дня.

IV. Для исправления этой стратегической ошибки необходимо изменить кардинальным образом отношение всего российского общества к риску, начиная с уровня детского сада и средней школы. Для каждого уровня иерархии нужны свои методы анализа риска. Для ГИИ необходимо иметь систему анти-джейлбрейкеров. Управление рисками позволяет, при тех же финансовых и людских ресурсах минимизировать потери на всех фазах жизненного цикла киберфизических и социотехнических инфраструктур, в том числе, от проявления физической, когнитивной и социальной субживучести, что, в масштабе страны, оценивается в триллионы рублей ежегодно. В целом, инфранетика позволяет, опосредованно, делать как общество в целом, так и каждого гражданина России более состоятельным и благополучным.

В современном обществе постоянно случается множество нежелательных событий, его нормальное состояние – конфликтное или чрезвычайное положение. Необходимость в защите от сложных рисков и купировании возможных последствий от них приводит к резкому возрастанию роли знания о рисках всех категорий. Остро требуются эксперты по всем типам рисков, деятельность которых снижает риски в

принятии решений, делает управленческие решения более устойчивыми к внешнему воздействию, а цели – более обоснованными и зримыми.

V. В связи со всем вышеизложенным, представляется целесообразным преобразовать НИЦ УрО РАН в *Научно-исследовательский центр комплексных проблем безопасности больших систем (НИЦ ББС)* для решения междисциплинарных фундаментальных и прикладных проблем безопасности функционирования и развития критически и стратегически важных инфраструктур. *НИЦ ББС* способен создать научную базу для разработки инновационных технологий, направленных на осуществление стопроцентно суверенной риск-ориентированной оптимизации эксплуатации критически и стратегически важных систем РФ (например, морских подводных трубопроводов), при одновременном обеспечении необходимого уровня их безопасности. Эти технологии будут конкурентоспособными на внешнем рынке, как это и предусмотрено Концепцией технологического развития РФ.

В условиях дефицита квалифицированных специалистов, способных работать с современными технологиями и оценивать риски, *НИЦ УрО РАН* (совместно с ИСА УрФУ) уже готовит такие кадры для России и дружественных ей стран (магистранты, специалитет, аспирантура).

Целесообразно выступить с обращением к Минобрнауки и РАН с предложением рассмотреть и конструктивно решить вопрос о создании *НИЦ ББС* для системного исследования данной проблемы всевозрастающей актуальности.

[1] Тимашев С.А. Инфраструктуры. Часть III. Книга 1. Инфранетика. Рискология. Говернанс. Екатеринбург, УрО РАН, АО *Уральский Рабочий*, 2025, 751 с.

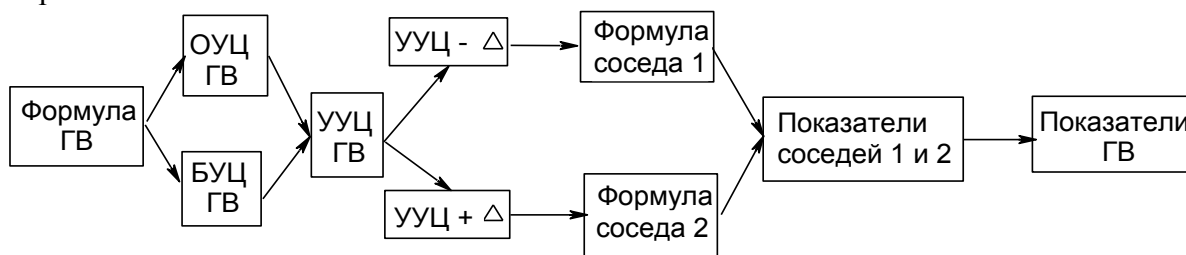
# Алгоритмы применения метода углеродной цепи для прогнозирования показателей взрывопожароопасности горючих веществ

Алексеев С.Г.

НИЦ «Надежность и безопасность больших систем и машин» УрО РАН, Екатеринбург  
3608113@mail.ru

Метод углеродной цепи или МУЦ представляет собой обобщенный синтез-метод, сочетающий в себе подходы сравнительного и дескрипторного методов прогнозирования различных свойств продуктов химической, нефтехимической, металлургической и других отраслей промышленности. Из сравнительного метода прогнозирования МУЦ заимствовал подход сравнения физико-химических и взрывопожароопасных свойств в одном гомологическом ряду. Отличие заключается в том, что сравнение производится не между родственными классами органических соединений, а в пределах только одного гомологического ряда. Из дескрипторного метода прогнозирования взято использование нового дескриптора – условная углеродная цепь (УУЦ). Исходя из основных положений МУЦ [1, 2] предложено 2 алгоритма применения МУЦ для прогнозирования взрывопожароопасных свойств (ВПО) горючих веществ (ГВ).

## Вариант А



## Вариант Б

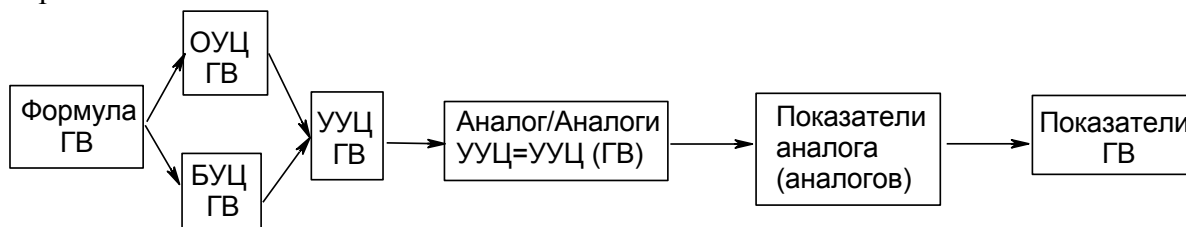


Рисунок – Алгоритмы определения показателей ВПО по МУЦ.  
ОУЦ – основная углеродная цепь. БУЦ – боковая углеродная цепь.

Особенностью предлагаемых алгоритмов применения МУЦ заключается то, что для определения показателей ВПО ГВ не требуется никаких специальных формул.

[1] Алексеев С.Г., Алексеев К.С., Барбин Н.М. Методы прогнозирования основных показателей пожаровзрывоопасности органических соединений // Техносферная безопасность, 2015. – №2 (7). С. 4-14.

[2] Алексеев К.С., Алексеев С.Г., Барбин Н.М. Связь показателей пожарной опасности с химическим строением. Часть XXII. Диалкилкарбонаты // Бутлеровские сообщения, 2016. – Т. 45, №1. С. 93-100.

# Углеродный след глобальной инфраструктуры

*Ковальчук Т.Г., Тимашев С.А.\**

Научно-инженерный центр «Надежность и ресурс больших систем и машин»

Уральского отделения Российской академии наук, Екатеринбург

\*timashevs@gmail.com

Глобальное потепление климата на Земле признано ООН «одним из основных современных вызовов человечеству». Неизбежной стороной технического прогресса является формирование и стремительный рост его вредоносного углеродного следа (УС) в виде выбросов парниковых газов (ПГ), способствующих изменению климата. В связи с этим решающей задачей современности становится снижение УС «второй», искусственной природы, которое, в конечном счете, сводится к снижению УС каждой отдельной инфраструктуры. В статье представлены материалы, иллюстрирующие актуальную ситуацию в глобальных, страновых, отраслевых эмиссиях ПГ, основные проблемы и возможные пути сокращения УС.

Нефтегазовая отрасль является существенным, хотя и не самым ключевым эмитентом ПГ. Операции по добыче и производству углеводородного топлива (УВТ) составляют всего 10% от глобальных выбросов. Однако дальнейшее использование УВТ дает дополнительно 33% выбросов в сферах конечного потребления. На всем цикле от добычи до конечного потребления 57% выбросов ПГ от нефти сконцентрированы в сфере транспорта; в газе 72% эмиссий происходят в генерации, промышленности и коммунально-бытовых предприятиях. При добыче, переработке и транспорте нефти и газа существенный вес занимает метан – 42%, связанный с добычей природного газа и попутного нефтяного газа, а также транспортировкой сухого отбензиненного газа [1].

В части углеводородного топлива большинство компаний сходятся во мнении, что в базовом сценарии в ближайшие 10–20 лет переход на другие источники энергии не приведет к абсолютному снижению спроса. Так, согласно прогнозам, потребление нефти к 2030 г. вырастет на 0–15% относительно 2019 г., тогда как спрос на газ будет расти минимум до 2040 г. в пределах 25–52% [1].

В статье рассматривается с междисциплинарных позиций проблема количественного учета, оценки и минимизации углеродного следа инфраструктур нефтегазового сектора (НГС) на всех этапах их жизненного цикла (ЖЦ), включая диагностику, мониторинг, мейнтенанс, восстановление после аварий и катастроф. Конечная цель исследования – разработка рабочего алгоритма, позволяющего сформулировать уравнение глобального углеродного баланса по схеме сверху–вниз, в котором виден вклад каждой инфраструктуры в глобальный углеродный след, с учетом изменения климата по критерию необходимости достижения нулевого уровня выбросов CO<sub>2</sub> к 2060 году, согласно принятым Россией обязательств в рамках Парижского соглашения 2015 года.

# **Методика оценки зон поражения при авариях с криогенным кислородом на потенциально опасных объектах**

*Ланенкин М.В.<sup>1</sup>, Полуян Л.В.<sup>1,2\*</sup>*

<sup>1</sup>Уральский федеральный университет, Институт строительства и архитектуры, Екатеринбург

<sup>2</sup>НИЦ «НиР БСМ» УрО РАН, Екатеринбург  
ludmila.poluyan@gmail.com

*Актуальность и проблема.* Аварии на потенциально опасных объектах (ПОО), связанных с обращением криогенных жидкостей, представляют высокую угрозу из-за синергетического сочетания барических, термических и баллистических факторов. Сжиженный кислород, являясь мощным окислителем, критически повышает пожаровзрывоопасность технологических сред и инициирует каскадное развитие аварий («эффект домино»). Существующие нормативные методики в РФ (Ростехнадзор) базируются на детерминированной оценке тротилового эквивалента преимущественно для газовой фазы. Зарубежные стандарты делают акцент на количественном анализе рисков и вероятностном моделировании рассеяния тяжелых газов. Отсутствие единого отечественного алгоритма, интегрирующего специфику криогенного вскипания и оценку баллистического разлета осколков оборудования, обуславливает необходимость разработки комплексной методики.

*Методология исследования.* Предложенный универсальный методический подход инвариантен к масштабу технологической системы и включает суперпозицию трех зон поражения:

*Первичный физический взрыв:* расчет энергии адиабатического расширения газовой подушки на основе абсолютного давления в сосуде с определением зон избыточного давления.

*Баллистическое поражение:* определение начальной скорости и максимальной дальности полета осколков (включая крупнотоннажные фрагменты корпуса) с учетом сопротивления воздушной среды.

*Вторичный пространственный взрыв:* термодинамическое моделирование мгновенного вскипания пролива и детонационного/дефлаграционного воздействия кислородно-обогащенного облака при контакте со смежными средами.

*Результаты и практическая значимость.* На основе полученных количественных параметров разработанный методический подход позволяет на этапе проектирования новых ПОО научно обосновать безопасные расстояния и оптимальное размещение оборудования на генплане. Для уже существующих (модернизируемых) объектов, где нормативные дистанции не могут быть обеспечены из-за плотности застройки, методика обосновывает необходимость внедрения компенсирующих пассивных барьеров. Применение данного подхода обеспечивает переход от консервативных избыточных оценок к гибкому и эффективному управлению промышленной безопасностью криогенных объектов.

# **Риск-ориентированный подход при реализации проактивных методов обеспечения комплексной безопасности**

*Лесных В.В.*

ООО «Газпром газнадзор», Москва  
vvlesnykh@gmail.com

В современных условиях увеличения масштабов и сложности производственных систем особое значение приобретают проактивные методы обеспечения безопасности за счет применения риск-ориентированного подхода. В рамках данных методов основные усилия направлены на раннюю идентификацию нарушений и отклонений в работе или обслуживании объекта и их устранение до того, как нарушения и отклонения станут предпосылками к событиям с негативными последствиями (аварии, инциденты, несчастные случаи и т.д.).

В докладе сформулированы основные положения риск-ориентированного подхода применительно к инспекционной контрольной деятельности как одного из ключевых проактивных методов обеспечения комплексной безопасности [1]. Показано, что риск-ориентированный подход на этапе планирования проверок опирается на расчет так называемого «риска недоконтроля», связанного с риском неверного выбора объекта проверки. Данный показатель включает большое число факторов, отражающих как место размещения объекта, статистику происшествий, проверок, результаты устранения нарушений и т.д. Это позволяет ранжировать объекты по величине «риска недоконтроля» для установления последовательности их проверок.

Риск-ориентированный подход также применяется на стадии оценки эффективности результатов инспекционной контрольной деятельности. В качестве показателя эффективности рассматривается величина ожидаемого предотвращенного ущерба. В докладе рассмотрены методические положения оценки данного показателя. Оценка ожидаемого предотвращенного ущерба осуществляется с использованием коэффициентов пирамиды происшествий для событий промышленной безопасности, охраны труда и пожарной безопасности, полученных на основе анализа статистических данных [2].

В докладе представлены результаты оценок «риска недоконтроля» и ожидаемого предотвращенного ущерба для объектов нефтегазовой отрасли.

[1] Лукъянчиков М.И., Лесных В.В., Бочков А.В. На пути к формализму риска. Риск-ориентированный инспекционный контроль производственной безопасности в газовой отрасли – Москва; Вологда: Инфра-Инженерия, 2025. – 188 с

[2] Лукъянчиков М.И., Лесных В.В., Тимофеева Т.Б. Проблемы оценки эффективности проактивных методов обеспечения производственной безопасности в нефтегазовой отрасли // Вести газовой науки, 2024, №1(57), сс.143-149.

# **Энтропийный подход к оценке социально-когнитивных изменений и ущербов от природно-техногенных чрезвычайных ситуаций**

*Малютина Е.В.\*, Тимашев С.А.*

НИЦ «Надежность и ресурс больших систем и машин» УрО РАН, Екатеринбург  
2malyutina2@mail.ru

Предлагается новый подход к измерению динамики изменения когнитивной способности общества при чрезвычайных ситуациях, основанный на автоматизированном энтропийном анализе реакции социума на стрессор в социальных сетях. Анализ динамики энтропии позволил выделить характерные фазы когнитивной нестабильности и адаптации сообщества.

Поведение пользователей в социальных сетях в кризисных ситуациях отражает сложные когнитивные и эмоциональные процессы, что делает эти платформы ценным источником данных для диагностики состояния сообщества. Согласно модели эвристико-систематической обработки информации (Heuristic-Systematic Model, HSM), в условиях стресса, дефицита времени и неопределенности индивиды переключаются между двумя режимами мышления. Систематический режим предполагает глубокий рациональный анализ, требующий когнитивных ресурсов. Эвристический режим основан на упрощенных стратегиях, интуитивных решениях и опоре на внешние субъективные сигналы (например, на авторитет источника или на эмоциональную окраску сообщения). В посткризисный период, когда когнитивные ресурсы людей и общества истощены, вероятность использования эвристик возрастает, что повышает уязвимость социума к дезинформации.

Разработанный авторами программный комплекс, реализованный на языке Python, осуществляет автоматизированный сбор данных из социальной сети «ВКонтакте» с использованием официального API (Application Programming Interface – программный интерфейс приложений), их фильтрацию по категориям чрезвычайных ситуаций и сохранение в структурированную базу данных SQLite. Ключевым элементом анализа является расчет энтропии Шеннона для временных рядов социальной активности (комментариев, публикаций) и ее первой производной.

Методология энтропийного анализа не заменяет, но существенно дополняет традиционные социологические и психологические методы. Она позволяет получить непрерывную картину динамики коллективных когнитивных процессов в реальном времени, тогда как опросы и интервью дают точечные срезы и глубинное понимание индивидуальных переживаний.

Оценка материального ущерба от потери социальной и когнитивной компетенций индивидов и сообщества в совокупности – одна из самых сложных задач данного исследования и, на сколько известно авторам, ранее никогда не ставилась.

Представленные результаты позволяют сделать вывод о том, что автоматизированный мониторинг социальных сетей с применением парциального энтропийного анализа дает возможность не только фиксировать факты чрезвычайных ситуаций, но и отслеживать динамику когнитивных изменений в разных слоях пострадавшего сообщества. Производные парциальных энтропий выступают чувствительными индикаторами изменения когнитивной способности социума, позволяя количественно оценивать длительность восстановительного периода и интенсивность когнитивной реакции.

Дальнейшее развитие подхода предполагает интеграцию методов обработки естественного языка (NLP) для более тонкого анализа содержательных изменений в дискурсе на разных фазах адаптации, а также сопоставление парциальных энтропийных характеристик с результатами традиционных психологических измерений для валидации предлагаемых метрик.

# **Применение нейронных сетей для прогнозирования прочности высокопрочных бетонов со сложной рецептурой**

*Махов А.И.<sup>1</sup>, Полуян Л.В.<sup>1,2\*</sup>*

<sup>1</sup>Уральский федеральный университет, Институт строительства и архитектуры, Екатеринбург

<sup>2</sup>НИЦ «НиР БСМ» УрО РАН, Екатеринбург  
ludmila.poluyan@gmail.com

Прогнозирование прочности бетона многокомпонентного состава остается сложной многокритериальной задачей в современном строительном материаловедении. Традиционные макроструктурные формулы (такие как закон водоцементного отношения или формулы Боломея-Скрамтаева) хорошо работают для базовых песчано-гравийных смесей, однако дают существенную погрешность при добавлении в рецептуру дисперсных минеральных компонентов (зола-унос, шлак, микрокремнезем) и химических суперпластификаторов. Данные добавки вступают в сложные синергетические реакции, создавая нелинейные зависимости между составом и итоговой прочностью на сжатие, которые не поддаются точному детерминированному расчету.

В работе предложен и апробирован подход, базирующийся на применении алгоритмов искусственного интеллекта для аппроксимации нелинейных зависимостей в рецептурах бетона. Основная идея заключается в переходе от классического аналитического расчета к предиктивному моделированию, где искусственная нейронная сеть (ИНС) выступает в роли цифрового двойника физического эксперимента.

В качестве эмпирической базы проанализирована выборка, содержащая результаты свыше 1000 лабораторных испытаний бетонных образцов различного состава и возраста. Входной вектор данных включал восемь параметров: расход цемента, доменного шлака, золы-уноса, воды, суперпластификатора, крупного и мелкого заполнителей, а также срок твердения бетона (в сутках). Целевой переменной выступала фактическая прочность на сжатие (МПа).

Разработана модель на базе архитектуры многослойного перцептрона (MLP), а также проведено сравнительное обучение ансамблевых деревьев решений. Обучение алгоритмов производилось с использованием алгоритма обратного распространения ошибки. Оценка качества аппроксимации показала, что нейросетевые модели способны прогнозировать прочность бетона с точностью, значительно превышающей традиционные инженерные подходы, достигая коэффициента детерминации  $R^2 > 0,9$  на тестовой выборке.

Таким образом, доказано, что применение нейросетевых технологий позволяет с высокой степенью достоверности предсказывать класс бетона до начала физического замеса. Практическая значимость работы подтверждается тем, что разработанная модель может быть интегрирована в технологические процессы заводов железобетонных изделий и товарного бетона. Использование алгоритма позволит технологам оперативно корректировать рецептуры, минимизировать расход цемента без снижения проектных физико-механических характеристик и существенно сократить цикл лабораторных исследований при внедрении новых составов.

## Безопасность как свойство надежности электроэнергетической системы *Обоскалов В.П.*

УрФУ, УралЭНИН; НИЦ «НиР БСМ» УрО РАН, Екатеринбург

Представлен анализ понятия «безопасность ЭЭС» как одного из свойств надежности электроэнергетической системы (ЭЭС). ЭЭС рассматривается как сложная, связанная единством электроэнергетических процессов техническая система кибернетического типа. В то же время она является одной из основных инфраструктур, определяющей практически все сферы человеческой деятельности. Показывается недостаточность существующего определения «безопасность ЭЭС».

Предлагается расширенное толкование этого свойства надежности с акцентом на масштабе и специфике события «отказ» с точки зрения безопасности ЭЭС:

«Энергетическая безопасность» – это способность энергосистемы обеспечить потребителей *минимально допустимым* объемом энергии *регламентированного качества* при возникновении отказов, относящихся к классу «безопасность», в том числе:

- экологическая катастрофа (радиационная, химическая, биологическая и др. зараженность местности) из-за отказов в ЭЭС;
- событие в ЭЭС, связанное со смертью человека;
- нарушение функционирования ЭЭС при отказах в смежных инфраструктурах
- событие, идентифицируемое как «Системная авария», в том числе:
  - внезапное отключение крупной генерации (электростанции), узла транспортной подсистемы (подстанция), узлов нагрузки или выделенной (заданной) совокупности элементов энергосистемы;
  - Нарушение статической или динамической устойчивости ЭЭС;
  - Нарушение синхронизма и деление ЭЭС на подсистемы;
  - каскадное развитие аварии в ЭЭС с отключением большого числа электроприемников;
  - развитие аварии в ЭЭС на смежные инфраструктуры.

Приводится описание перечисленных отказов класса «безопасность ЭЭС. Основное внимание уделяется выявлению функциональной зависимости отказов в ЭЭС и смежных инфраструктурах. Показывается, что отказы в ЭЭС могут привести к инфраструктурным каскадным отказам. В частности, отказ в системе железнодорожной доставке угля может привести к отключению электростанции, работающей на угле. Это, в свою очередь, может привести к отключению подстанции, питающую железнодорожную электросеть, что вызовет прекращение доставки топлива на другие электрические станции.

Отмечается, что проблема безопасности ЭЭС является составной частью при анализе безопасности функционирования иных инфраструктур, в том числе государственной безопасности в целом. Обсуждаются меры повышения безопасности ЭЭС.

Предлагаются и рассматриваются показатели безопасности (ПБ) ЭЭС, а также математические процедуры их определения. Основным математическим методом при определении ПБ целесообразно рассматривать метод статистического моделирования (Монте-Карло). Для оценки уникальных техногенных рисков предлагается использовать сценарный подход, а не формулы вероятности или математического ожидания от недопоставки энергоресурса.

# **Оценка технических потерь энергии в электрической сети при неопределенности графиков нагрузок**

*Обоскалов В.П.\*, Кирников А.В.*

УрФУ, УралЭНИН; НИЦ «НиР БСМ» УрО РАН, Екатеринбург  
v.p.oboskalov@urfu.ru

Рассмотрены вероятностно-статистические методы определения суммарных технических потерь мощности в электрической сети. В качестве расчетной принята электрическая сеть постоянного тока. Выполнено сопоставление выбранных методов по качественной и вычислительной эффективности. Дано представление характеристик графика нагрузок через вероятностные показатели. Показано, что учет корреляционных моментов между мощностями и между напряжениями узлов необходим для снижения погрешности расчетов. Предложена существенно повышающая точность расчетов технических потерь процедура коррекции математического ожидания напряжений узлов. Выполнены сопоставительные расчеты, которые показали наилучшую вычислительную эффективность предложенного метода учета ковариаций напряжений с учетом коррекции напряжений для режима, при котором определяется матрица корреляционных моментов напряжений.

Задача оценки нагрузочных потерь мощности и электроэнергии (ПМЭ) в электрической сети рассматривалась большим числом авторов в течение всего процесса развития электроэнергетики. Специфика предлагаемых расчетных процедур, как правило, заключается в направленности решаемой задачи – для оперативных и финансовых расчетов требуется более точная математическая модель, а для перспективного планирования, где исходные данные имеют большую неопределенность вполне приемлемы приближенные оценки.

Точные оценки ПМЭ априори невозможны из-за вероятностного характера нагрузок, состава и стратегии загрузки генерирующих установок. Показано, что наиболее значимым фактором, определяющим погрешность математической модели расчета ПМЭ, является суточная и сезонная неравномерность электропотребления. Именно в направлении учета этого фактора выполнена настоящая работа.

Для оценки ПМЭ рассмотрены методы: характерных суточных графиков; средних нагрузок; среднеквадратичных параметров режима; наибольших потерь. В силу абсолютно вероятностного характера задачи на первый план выдвигаются и нами рассмотрены вероятностно-статистические методы оценки ПМЭ и их пригодность для задачи оценки балансовой надежности ЭЭС.

ПМЭ при передаче электроэнергии по электрическим сетям имеют вероятностный характер, вызванный в основном вероятностным характером нагрузок и неопределенностью распределения нагрузки между источниками электроэнергии. Наиболее значимыми вероятностными характеристиками для ПМЭ являются математические ожидания и корреляционные моменты между нагрузками узлов электрической сети. Наиболее точным методом в условиях вероятностной определенности графиков нагрузки является метод, основанный на применении матрицы ковариации напряжений с коррекцией математического ожидания напряжений. В работе учтены падения напряжений в элементах электрической сети, что существенно увеличивает точность расчетов потерь мощности и энергии.

Предлагаемый в статье метод коррекции МО напряжений в узлах значительно снижает погрешность оценки технических ПМЭ и может быть рекомендован как самостоятельная процедура для любого из существующих методов расчета ПМЭ, основанных на использовании математических ожиданий напряжений. Эффективность рассмотренных методов оценивалась на основе проверочных расчетов тестовой схемы. Метод, основанный на использовании матрицы квадратичных коэффициентов потерь, обеспечивает погрешность расчета ПМЭ, сопоставимую с погрешностью более точного метода с учетом матрицы корреляции напряжений.

# Оценка надежности транспортно-логистических перевозок в условиях глобального потепления и СВО

*Пономарев В.А.<sup>1\*</sup>, Тимашев С.А.<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup>Научно-инженерный центр «Надежность и ресурс больших систем и машин»  
Уральского отделения Российской академии наук, Екатеринбург

<sup>2</sup>Уральский федеральный университет, Екатеринбург  
wasilko@rambler.ru

В работе представлены методы и оценка решения транспортно-логистической задачи инфраструктуры Азовского моря с точки зрения надежности маршрутов доставки под влиянием климатических и геополитических факторов. Проведенная оценка имеющихся и перспективных методов грузового и пассажирского сообщения в зоне Азовского моря и его береговой линии выявила общую уязвимость и недостаточную робастность/устойчивость транспортной сети исследуемой территории. В связи с этим в работе предложен вероятностный подход к оценке надежности транспортно-логистической задачи, учитывающий не только влияние внешних факторов во время транспортировки, но и позволяющий заранее выделять наиболее надежный маршрут с минимальными транспортными расходами и издержками.

Для оценки надежности всей транспортной сети, состоящей из компонент (ветвей) представлен метод прогнозирования отказа системы, учитывающий влияние большого количества причинно-следственных связей между событиями.

Для решения практического вопроса о сроках прибытия пассажирского или грузового транспорта по различным элементам транспортной сети предложен метод оценки, основанный на максимизации вероятности своевременного прибытия. Данный метод позволяет выбрать маршрут с максимальной степенью вероятности прибытия транспорта в определенный узел сети в заранее заданные временные рамки. Применение данной методики для решения практических задач требует наличия и углубленного анализа развитой базы статистических данных и учета рисков, связанных с военными действиями и глобальным изменением климата.

[1] Куценко Е.И., Солдатова Л.А. Методические подходы к оценке грузоперевозок на основе логистического подхода // Азимут научных исследований: экономика и управление. 2020. Т. 9. №3 (32). С. 228-232.

[2] Задачи, решаемые транспортной логистикой [Электронный ресурс] – URL: <https://studfile.net/preview/10586723/page:18/> (Дата обращения 22.04.2026).

[3] 1400 км без пробок. Что такое Азовское кольцо, где оно пройдет и когда его закончат? [Электронный ресурс] – URL: <https://93.ru/text/transport/2025/04/02/75288407/> (Дата обращения 23.04.2026).

[4] Новый глобальный дорожный проект в России [Электронный ресурс] – URL: <https://iz.ru/1810499/vladimir-gavrilov/bratstvo-kolca-vremya-v-puti-vokrug-azovskogo-morya-sokratitsya-na-pyat-chasov> (Дата обращения 23.04.2026).

[5] Проектирование новой железнодорожной ветки [Электронный ресурс] – URL: <https://www.nvgazeta.ru/news/12373/622510/> (Дата обращения 23.04.2026).

[6] Запуск пассажирского сообщения по Азовскому морю [Электронный ресурс] – URL: <https://kuban.rbc.ru/krasnodar/freenews/6681a4a99a7947515f8f90a5> (Дата обращения 23.04.2026).

[7] Тимашев С.А., Пономарев В.А. Влияние изменения климата на функциональную надежность авторанспортных сетей // Надежность. 2026. №2. С.

[8] С.А. Тимашев, А.В. Бушинская, М.Г. Малюкова, Л.В. Полуян Целостность и безопасность трубопроводных систем. – Екатеринбург: УрО РАН, 2013. – 590 с.

[9] Prakash, A. A. Algorithms for most reliable routes on stochastic and time-dependent networks. Transportation Research Part B: Methodological, 138. 2020. 211–235.

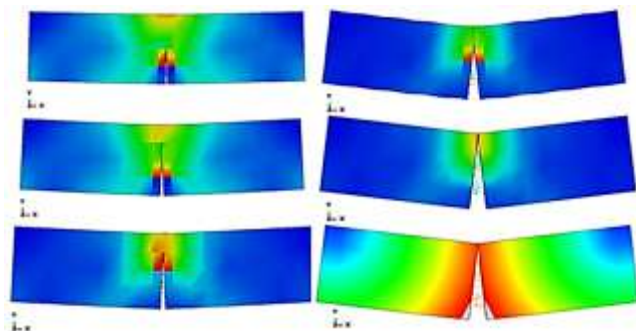
[10] Sokolov, V., Soyer, R. Bayesian Dynamic Gamma Models for Route-Level Travel Time Reliability. arXiv preprint, arXiv:2501.01234. 2025.

# **Построение цифровой модели бетона, армированного переработанными волокнами, для определения характеристик трещиностойкости с использованием ABAQUS**

*Раззак А.В.Р., Алехин В.Н.*

Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург  
alaawahhabrazzaq@yandex.com, v.n.alekhin@urfu.ru

Данный доклад посвящен численному моделированию бетона, армированного переработанного волокна из отходов, с акцентом на его трещиностойкость и вязкость разрушения. В нем обсуждается значение бетона армированного волокном, методика проведения испытаний бетона на трещиностойкость в соответствии с Российским Стандартом ГОСТ 29167-2021, а также представлены результаты испытаний на трёхточечный изгиб для анализа кривых зависимости нагрузки от смещения бетонных моделей. Сравнения показывают значительное улучшение несущей способности и пластичности при использовании переработанных волокон, что подтверждает роль арматуры из переработанных волокон в повышении трещиностойкости бетона [1].



Разрушение при растяжении и рост трещин под нагрузкой для бетонной модели, армированной переработанными волокнами

Поскольку обычный бетон имеет свойство трещать при растяжении, переработанные волокна помогают композиту повысить трещиностойкость и более эффективно поглощать энергию [1]. Помимо повышения эксплуатационных характеристик, переработанные волокна способствуют экологичности, сокращая потребность в материалах и количество отходов [2].

[1] Sanjaya, B. G. V., Venkatesan, S., Appuhamy, J. M. R. S., Bandara, W. M. K. R. T. W., Gravina, R. J. Enhancing structural integrity and crack resistance of rubberized concrete using aqua-thermally treated rubber aggregates and recycled tire steel fibers for structural applications. *Sustainable Materials and Technologies*, 2025. Vol. 46, e01720.

[2] El-Messiry, M., Eid, E. S. M. Comprehensive analysis of crack resistance and failure modes in cement concrete reinforced with recycled water bottle fibers: Influence of fiber diameter, length, and content under compression. *Journal of Industrial Textiles*, 2025, Vol. 55, 15280837251342568.

# Оценка эффективности мероприятий защищенности техносферы на примере Байкальской природной территории

*Спиваков Д.А.<sup>1\*</sup>, Тасейко О.В.<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup>Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева, Красноярск

<sup>2</sup>Федеральный исследовательский центр информационных и вычислительных технологий, Красноярск  
Sbeerkov@yandex.ru

В условиях роста антропогенной нагрузки и технологического развития обеспечение защищенности техносферы становится одной из ключевых задач устойчивого развития территорий. Социально-природно-техногенные (С-П-Т) системы представляют собой сложные образования, в которых взаимодействуют природная среда, техническая инфраструктура и общество, что обуславливает формирование совокупности взаимосвязанных рисков.

В рамках риск-ориентированного подхода основными взаимосвязанными характеристиками С-П-Т систем являются риск, уязвимость и защищенность, увеличение рисков приводит к росту уязвимости и снижению уровня защищенности территорий.

Актуальность темы обусловлена необходимостью оценки существующих мероприятий, направленных на повышение защищенности техносферы Байкальской природной территории (БПТ), рассматриваемой как социально-природно-техногенная (С-П-Т) система, а также выявления их эффективности в условиях возрастающей антропогенной нагрузки. Проведение такого анализа позволяет определить слабые места в системе обеспечения безопасности и разработать рекомендации по её совершенствованию.

В основе оценки лежит экономико-экологический подход, предполагающий сопоставление предотвращенного ущерба и затрат на реализацию мероприятий. Применение данного подхода к анализу государственных программ, реализуемых на Байкальской природной территории, показывает, что приоритетное финансирование направлено на охрану окружающей среды, предотвращение и предупреждение чрезвычайных ситуаций, что соответствует стратегическим задачам обеспечения экологической безопасности региона.

Проведенный анализ свидетельствует о сохранении эффективности реализуемых мероприятий при тенденции к оптимизации бюджетных расходов. Таким образом, оценка эффективности мероприятий по повышению защищенности техносферы позволяет выявлять приоритетные направления управления рисками и служит основой для дальнейшего совершенствования системы обеспечения безопасности С-П-Т систем.

[1] Belov S.V. Life safety and environmental protection (technoferic security): textbook for universities / S. V. Belov. – 6th edition., trabab. and add. – Moscow: Publishing house Urayt, 2026. – 636 pp. – (Higher education). – ISBN 978-5-534-16270-7 // Education Platform Office [website]. – URL: <https://urait.ru/bcode/599025> (date of application: 10.04.2026).

[2] Management of territorial development risks and protection of social, natural, and technological systems / I.V. Bychkov, O.V. Taseiko, U.S. Postnikova et al. // Bulletin of the Russian Academy of Sciences, 2024, vol. 94, 11, pp. 974-987.

[3] Zaikanov V.G., Minakova T.B., Buldakova E.V. Geoeological security of urbanized territories: approaches and ways of implementation // Geoeology. Engineering geology. Hydrogeology. Geocrology. 2019. 1. pp. 17-23. URL: <https://journals.eco-vector.com/0869-7809/article/view/11811> (Date of application: 15.04.2026).

[4] Копылов И.С., Коноплев А.В. Методология оценки и районирования территорий по опасностям и рискам возникновения чрезвычайных ситуаций как основного результата действия геодинамических и техногенных процессов // Современные проблемы науки и образования, 2014, вып. 1. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=11918>.

# **Особенности расчета надежности газопроводов методами непараметрической статистики**

*Сызранцев В.Н.*

Тюменский индустриальный университет, Тюмень  
syzrantsevn@tyuiu.ru

На основе методов непараметрической статистики рассматривается задача расчета прочностной надежности магистральных трубопроводов (вероятности отказа, коэффициента запаса прочности, в том числе при наличии коррозионных дефектов трубы), подвергаемых в условиях эксплуатации случайному спектру давлений и температуры независимо от его сложности. Показано, что учет фактических законов изменения напряжений в трубопроводе в процессе его эксплуатации принципиально изменяет результаты расчета его надежности по сравнению с использованием законов распределения случайных величин, разработанных в рамках классической теории параметрической статистики.

- [1] *Сызранцев В.Н., Голофаст С.Л., Невелев Я.П.* Расчет прочностной надежности изделий на основе методов непараметрической статистики. Новосибирск: – «Наука», Сибирская издательская фирма РАН, 2008.-216 с.
- [2] *Сызранцев В.Н., Новоселов В.В., Созонов П.М., Голофаст С.Л.* Оценка безопасности и прочностной надежности магистральных трубопроводов методами непараметрической статистики. Новосибирск: – «Наука», Сибирская издательская фирма РАН, 2013. – 172 с.
- [3] Syzrantsev V.N., Syzrantseva K.V. Computational and experimental method for evaluating gas pipeline residual service life by fatigue strength // Bulletin of the Tomsk Polytechnic University, Geo Assets Engineering, 2019. Vol. 330, No. 12, 2019. pp. 64-74.
- [4] Сызранцев В.Н., Антонов М.Д. Восстановление функции плотности распределения предельных напряжений материала газопровода на основе значений их квантильных оценок // Газовая промышленность. 2020. – №12 (810). – С.86-93.

# **Риск-ориентированная оптимизация эксплуатации межпромышленного трубопровода на его жизненном цикле**

*Тимашев С.А.<sup>1,2</sup>, Бушинская А.В.<sup>1,2</sup>, Ли Ц.Х.<sup>2\*</sup>, Малютин Е.В.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Научно-инженерный центр «Надежность и ресурс больших систем и машин»  
Уральского отделения Российской академии наук, Екатеринбург

<sup>2</sup>Уральский федеральный университет, Екатеринбург

\*eternity\_909@mail.ru

Предлагается гибридная эволюционно-стохастическая структура для многокритериальной оптимизации эксплуатации межпромышленного трубопровода (МПТ) на его жизненном цикле (ЖЦ), с учетом бюджетных ограничений [1]. Общая стоимость технического обслуживания и восстановления рассматривается как целевая функция оптимизации. Модель сочетает эволюционные алгоритмы для глобального поиска со стохастическими имитациями (Монте-Карло NHPP/Марковские процессы) для точного представления неопределенности деградации, ремонта и восстановления. Подход интегрирует, в единой структуре поддержки принятия решений (1) цифровую модель (квазидвойник) МПТ со стохастическим моделированием деградации материала МПТ на основе полевых наблюдений, ВТД и мониторинга, (2) оценку целевой функции – стоимости владения объектом на его жизненном цикле, и (3) многокритериальную Парето-оптимизацию технического обслуживания (мейнтенанс), отражающего реальные условия планирования эксплуатации МПТ. При этом в алгоритм-движитель оптимизации входит метод Монте-Карло и генетический алгоритм. Эффективность оптимизации оценивается с помощью статистической оценки множества независимых запусков, анализа стабильности сходимости, исследования компромисса между бюджетом и производительностью и анализа чувствительности к параметрам законов отказов.

Деградация компонент межпромышленного трубопровода возникает из-за коррозии материала трубы, заводских сварных стыков металлургических труб и полевых сварных стыков плетей, а также изменчивости нагрузки, что вызывает вариативность/цикличность механических напряжений. Механизмы этих деградационных процессов различаются по своей природе и степени наблюдаемости. Это требует использования гибридной стратегии моделирования, позволяющей охватить как физически непрерывные процессы коррозии, так и дискретные (из-за принятой политики эксплуатации) переходы процесса деградации из одного состояния в другое, и обеспечивает необходимую эмпирическую основу для вероятностных моделей деградации.

Интегрируя статистически калиброванные распределения времени жизни и механизмы перехода между состояниями, предложенная гибридная структура позволяет реалистично представить эволюцию надежности компонент и всего МПТ во времени. Такой подход к моделированию необходим для построения стратегии оптимизации, которая одновременно минимизирует годовой уровень риска эксплуатации трубопровода, и стоимость технического обслуживания и ремонта в условиях эксплуатационной неопределенности.

Все действия по мейнтенансу представляют собой переменные параметры решения задачи оптимизации, а не жестко заданные правила. Цель состоит не в том, чтобы априори навязывать пороги обслуживания, а в том, чтобы определить: (1) оптимальную частоту (и состав) мониторинга и диагностики, (2) оптимальные сроки (и объем) вмешательства, (3) оптимальные значения порогов вмешательства, (4) условно Парето-оптимальное распределение ресурсов на мейнтенанс с учетом реальных бюджетных ограничений.

Предложенная гибридная формулировка с ограничениями обеспечивает надежное и практически применимое решение для планирования технического обслуживания систем межпромышленных трубопроводов, подверженных коррозионному износу, работающих в условиях финансовой и эксплуатационной неопределенности.

[1] С.А. Тимашев, Инфраструктуры. Часть III. книга 1. Инфранетика. Рискология. Говернанс. – Екатеринбург: УрО РАН, 2025. – 751 с.

# **Риск-ориентированная оценка глубины дефектов трубопровода с использованием результатов внутритрубной диагностики и экспертных мнений**

*Тимашев С.А.<sup>1,2</sup>, Почекета А.А.<sup>1\*</sup>*

<sup>1</sup> Научно-инженерный центр «Надёжность и ресурс больших систем и машин»  
Уральского отделения Российской академии наук, Екатеринбург

<sup>2</sup> Уральский федеральный университет, Екатеринбург

\* pocheketa@ya.ru

Предложен нечётко-вероятностный метод прогнозирования роста дефектов (протечек/щелевых разрывов) межпромысловых нефте-, газопроводов в условиях неопределённостей (неизбежно неточные результаты инструментальной внутритрубной диагностики, плохо предсказуемые условия эксплуатации) с учётом мнений экспертов.

Метод даёт возможность получить нечёткую (вероятностную) оценку глубины наиболее опасных дефектов трубы, за которыми ведётся наблюдение, а значит и спрогнозировать момент времени (неделя, месяц) исчерпания ресурса соответствующего участка трубопровода, что поможет лицам, принимающим решение, составить график ремонтов.

Прогнозирование выполняется с использованием методов оценки целостности трубопроводных систем [1] на основании:

1) данных внутритрубного контроля потери металла в стенке трубы [2] за прошедший период жизненного цикла трубопровода, где основным показателем каждого дефекта является остаточная толщина стенки трубы в месте дефекта, измеренная не менее двух-трёх раз за период 5–10 лет;

2) экспертных мнений об оставшемся сроке службы каждого из участков трубы в местах наиболее опасных дефектов.

Точность прогнозирования в значительной степени зависит от квалификации специалистов, осуществляющих процедуры внутритрубного контроля, и от состоятельности предоставленных ими данных.

[1] Тимашев С.А., Бушинская А.В., Малюкова М.Г., Полуян Л.В. Целостность и безопасность трубопроводных систем. – Екатеринбург: УрО РАН, 2013. – 590 с.

[2] Гетманский М.Д., Житников Ю.В., Зимин П.А., Мухаметшин Р.Р. Организация системы контроля технического состояния промышленных трубопроводов с внутренним покрытием и защитой сварных соединений втулками различной конструкции // Территория нефтегаз. – 2007. – №4. – С. 50 – 55.

# Модель оперативного управления выбросами предприятия для уменьшения рисков здоровью населения с учетом снижения неприятного запаха

Фоменко Г.А.<sup>1</sup>, Фоменко М.А.<sup>2</sup>, Скуратова Е.А.<sup>3</sup>,  
Гоге Э.А.<sup>3</sup>, Михайлова А.В.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>НПО «Институт устойчивых инноваций», Ярославль

<sup>2</sup>ООО НТЦ «Ресурсы и консалтинг», Ярославль, info@ntc-rik.ru

<sup>3</sup>НИПИ «Кадастр», Ярославль, info@ntc-rik.ru

**Актуальность и цель.** Санитарно-экологическое благополучие населения рассматривается в качестве важного фактора обеспечения устойчивого развития городов. По мере развития промышленного производства, увеличения объемов существующего выпуска и введения в оборот новых продуктов и материалов, с одной стороны, и расширения селитебных территорий, вызванных процессами урбанизации, с другой, возрастает вероятность превышения приемлемого уровня рисков здоровью населения. Актуализируется гармонизация решений по развитию промышленного производства, как основы экономического развития, с вопросами обеспечения санитарно-экологического благополучия. Недовольство жителей вблизи промышленных объектов навязчивыми неприятными запахами, усиливаясь посредством интернет-коммуникаций, создает социальную напряженность, влияет на стоимость недвижимости, снижает социально-экономический рейтинг территории и репутацию бизнеса. Менеджмент нуждается в комплексном подходе к оперативному управлению экологическими воздействиями, включающем механизмы идентификации, анализа, оценки, обработки и мониторинга рисков здоровью, а также внедрение мер по их снижению. Исследование нацелено на разработку практикоориентированного подхода к управлению рисками здоровью населения от загрязнения окружающей среды, с использованием ольфактометрических параметров.

**Методология.** Исследование базируется на стандартах ISO 31000 и руководстве Р 2.1.10.3968-23 и включает идентификацию загрязнителей, анализ рисков, разработку мер снижения выбросов и контроль эффективности. Учтено гигиеническое нормирование пахучих веществ, обеспечивающее психологическое благополучие населения, а также то, что в ряде случаев жалобы обусловлены природными факторами, особенностями рельефа или метеорологическими условиями. Модель соответствует принципам ESG-подходов, способствуя защите здоровья населения, экологическому и социальному благополучию.

**Результаты.** С 2020 года на нефтехимическом предприятии нами внедрена и успешно применяется Модель оперативного управления выбросами. Центральный элемент – программный комплекс «Жалобы. Запахи. Выбросы» (свидетельство №2022614425 от 21.03.2022). ПК обеспечивает: автоматизированный сбор и анализ жалоб, интеграцию с метеоданными, выявление потенциальных источников выбросов веществ, вызвавших беспокоящий запах, оценку приемлемости создаваемых рисков здоровью населения. Математическое моделирование учитывает диффузию и турбулентность для расчета концентраций пахучих веществ. За 2020–2025 гг. обработано более 100 жалоб. Зафиксировано устойчивое снижение числа обращений и претензий надзорных органов.

**Выводы.** Модель учитывает как санитарно-гигиенические показатели, так и субъективное восприятие запахов. Она позволяет: оперативно реагировать на жалобы с установлением причинно-следственных связей; предотвращать пиковые загрязнения при неблагоприятных метеоусловиях; обосновывать решения по использованию городских территорий; планировать обоснованные методы управления промышленными выбросами в рамках экологического менеджмента предприятий; избегать репутационных потерь, юридических и финансовых рисков.

**Практическая значимость.** Модель и ПК могут использоваться промышленными предприятиями и муниципальными службами для мониторинга, планирования профилактических мер и публичной отчетности. Инструмент соответствует принципам ESG в сфере управления территориями, а также стратегического развития, оперативного планирования и менеджмента бизнеса.

# **Задача маршрутизации перевозок с элементами декомпозиции и возможности динамического программирования**

*Ченцов А.Г.<sup>1,2</sup>, Ченцов П.А.<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup>ИММ УрО РАН, 620077, ул. С.Ковалевской, 16, г. Екатеринбург

<sup>2</sup>Уральский федеральный университет, 620002, ул. Мира, 19, г. Екатеринбург

Рассматриваются экстремальные задачи маршрутизации, ориентированные на проблемы грузоперевозок с использованием беспилотных авиационных систем (БАС). Особенностью является использование аддитивного критерия в условиях ограничений, связанного с возобновлением ресурса (дефицит топлива, необходимость зарядки аккумуляторов). Исследование ориентировано на решение задач о последовательном посещении большого числа мегаполисов одной БАС с использованием декомпозиции, когда общее множество заданий представимо суммой кластеров; посещение кластеров с целью осуществления грузоперевозок априори упорядочено (этот может соответствовать работе БАС в различных регионах с местными особенностями), а в пределах каждого кластера допускается оптимизация при ограничениях предшествования. Цель исследования состоит в построении оптимальных композиционных маршрутных процессов за приемлемое для инженерной практики время. Используется раздельное (по кластерам) динамическое программирование и специальные процедуры, реализующие оптимальную связку частичных задач маршрутизации. Алгоритм реализован на многоядерной ПЭВМ; проведен обширный вычислительный эксперимент. Теоретические конструкции соответствуют [1-3].

[1] Ченцов А.Г. Экстремальные задачи маршрутизации и распределения заданий: вопросы теории. Ижевск: Ижевский институт компьютерных исследований, 2008.

[2] Ченцов А.Г. Двухэтапное динамическое программирование в задаче маршрутизации с элементами декомпозиции / А.Г. Ченцов, П.А. Ченцов // Автоматика и телемеханика. 2023. №5. С. 133–164.

[3] Ченцов А.Г. Многоэтапное динамическое программирование в задачах маршрутизации с ограничениями / А.Г.Ченцов, П.А.Ченцов // Известия ИМИ УдГУ. 2025. Т. 66. С. 115–165.

# Медико-биологические аспекты/характеристики суб- и супраживучести при воздействии различного рода стрессоров

Черешнев В.А.

Д.мед.н., проф., научный руководитель Института иммунологии и физиологии УрО РАН, академик РАН, Екатеринбург  
V.Chreshnev@mail.ru

*Живучесть* – способность человека в *полной мере* использовать свои физические, когнитивные и социальные функции при действии на него того или иного стрессора определенной (условно нормальной) интенсивности, или после причинения вреда его здоровью (физическая или моральная травма).

*Субживучесть* – *пониженная* (по сравнению с нормальной живучестью) способность человека использовать свои физические, когнитивные и социальные функции при действии на него того или иного стрессора с интенсивностью выше критической (феномен угнетения биологических и психологических способностей человека).

*Супраживучесть* – *повышенная* (по сравнению с нормальной живучестью) способность человека использовать свои физические, когнитивные и социальные функции при действии того или иного стрессора с интенсивностью выше нормальной (феномен квантового /скачкообразного роста биологической, когнитивной и психологической способностей человека). Супраживучесть – это свойство человеческого организма *внезапно*, в момент возникновения опасности для жизни (своей, чужой, или всего сообщества) *спонтанно* проявлять свои скрытые резервы физической, когнитивных или социальных способностей. Супраживучесть никогда не исследовалась с медико-биологических позиций [1].

С ростом интенсивности и/или продолжительности действия стрессора сначала наступает синдром супраживучести, который, после превышения стрессором некоторого, *критического* уровня, переходит в синдром субживучести (например, посттравматический синдром).

Нужны систематические медико-биологические исследования этих взаимосвязанных феноменов живучести, с тем, чтобы: (1) накопить знания о количественной связи уровня стрессора с уровнем физических, когнитивных и социальных способностей людей различающихся по полу, возрасту, здоровью, региону проживания, образованию и др., (2) использовать эти знания для оценки *величины материального и социального ущерба*, который наносится субживучестью, как самим индивидуумам, так и обществу в целом, из-за иррационального поведения и принимаемых решений в условиях повышенного стресса; (3) использовать эти знания для оценки *величины выгоды*, которая возникает из-за супраживучести отдельных индивидуумов (и общества в целом), благодаря их рациональному, инновационному поведению и принимаемым неординарным решениям в условиях действия критического стрессора, (4) выработки мероприятий по снижению величины когнитивного и социального ущерба и стоимости их компенсации.

Для реализации вышеизложенного необходимо: (1) осознание обществом важности исследования этой проблемы, для закрытия зияющего пробела в междисциплинарных знаниях, и (2) институционализировать разрозненные исследования в этой области в масштабе регионов и страны.

[1] Тимашев С.А. Инфраструктуры. Инфранетика. Рискология. Говернанс. Часть III. Книга 1. УрО РАН, Екатеринбург, 2025, 751 с.

# A hybrid genetic algorithm for the optimisation of steel I-sections

*Abdullah H., Alekhin V.N.*

Ural Federal University, Institute of Civil Engineering and Architecture, Yekaterinburg  
hussein.abdallah.1996@gmail.com, referetsf@yandex.ru

Genetic algorithms (GAs) represent a class of stochastic search methods in multidimensional space characterised by complex interactions among their parameters [1]. Although GAs have proven effective for many real-world optimisation problems over recent decades, they are known to struggle with huge solution spaces and numerous local optima, where achieving global optimality cannot be guaranteed [2].

(GA) begins by initialising a population with random candidate solutions and then iteratively evolves toward an optimal solution across generations. During the search process, GA applies three main genetic operators: selection, crossover, and mutation [3].

To enhance the effectiveness of GAs in finding the global optimum and to speed up the convergence, this work proposes a hybrid GA that integrates classical genetic mechanisms for search domain exploration with the Grid Search (GS) technique for local exploitation in aim to optimise steel I-sections.

The optimisation parameters are the geometric characteristics of the section (web height  $X_1$ , web thickness  $X_2$ , flange thickness  $X_3$ , flange width  $X_4$ ) as demonstrated in Figure.1, which vary with a predefined search step.

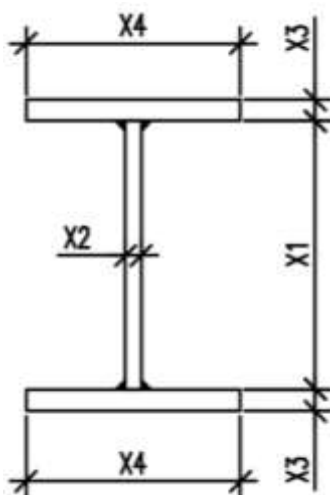


Figure 1. Parameters of the optimised I-section

- [1] Alekhin, V. N. Optimization of multistory steel frame members using genetic algorithm / V. N. Alekhin, A. B. Galieva, A. A. Antipin, L. F. Boswell // Russian Journal of Construction Science and Technology. – 2015. – №1. – P. 28–30.
- [2] D'Angelo, G. GGA: A modified genetic algorithm with gradient-based local search for solving constrained optimization problems / G. D'Angelo, F. Palmieri // Neurocomputing. – 2021. – Vol. 547. – P. 136–162.
- [3] Alhijawi, B. Genetic algorithms: theory, genetic operators, solutions, and applications / B. Alhijawi, A. Awajan // Evolutionary Intelligence. – 2024. – Vol. 17. – P. 1245–1256.

# **Creation of a neural network approximator for calculating the stability of a centrally compressed steel column**

*Alexandrov A.D.<sup>1</sup>, Eremin N.A.<sup>1</sup>, Poluyan L.V.<sup>1,2\*</sup>*

<sup>1</sup>Institute of Civil Engineering and Architecture UrFU, Yekaterinburg

<sup>2</sup>Science and Engineering Center “Reliability and Safety of Large Systems and Machines”,  
UB RAS, Yekaterinburg

ludmila.poluyan@gmail.com

The paper presents a method for predicting the stability of a centrally compressed steel column using an artificial neural network. A multilayer perceptron type model has been developed, trained on the data obtained as a result of engineering calculations according to SP 16.13330.2017 "Steel Structures". The results of the stability calculation using the traditional engineering approach are compared with the values obtained as a result of neural network prediction. The advantages and limitations of the method are considered.

The first section discusses the features of the traditional approach to calculating the stability of a centrally compressed column. The calculation was carried out according to the regulatory documents of the Russian Federation. In the field of designing buildings and structures made of metal structures, such a document is SP 16.13330.2017 "Steel structures". The calculation was performed for a 30K1 I-beam steel column made of C255 steel. The calculated positions for determining the stability conditions of a centrally compressed column were: column flexibility, conditional column flexibility, maximum column flexibility, stability coefficient under central compression.

In the next section, a database has been created for neural network training. The initial data used to train the model were: the load acting on the column, the height of the column, and the stability value. The database was formed and engineering calculations were performed in the Microsoft Excel software package, followed by the file's adaptation to CSV format for import into Google Colab.

The third section describes the characteristics of the neural network model and presents the Python program code for developing the model.

The fourth section presents the results of model training and their analysis. The following metrics were used to evaluate the quality of the model: average absolute error, standard deviation, coefficient of determination, maximum absolute error, and average relative error. A graph for checking the accuracy of the model is provided. Analysis of the results showed that the model explains 99.9% of the variance of the target variable.

The advantages and limitations of the model are given and conclusions are drawn. The work showed the possibility of using neural network methods for rapid prediction of the stability of centrally compressed steel columns without performing iterative calculations according to traditional methods.

# **Deflection calculation of reinforced concrete beams using Artificial Intelligence and neural networks**

*Bazhin S.A.<sup>1</sup>, Kiyko N.A.<sup>1</sup>, Poluyan L.V.<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup>Institute of Civil Engineering and Architecture UrFU, Yekaterinburg

<sup>2</sup>Science and Engineering Center “Reliability and Safety of Large Systems and Machines”,  
UB RAS, Yekaterinburg

sega\_bazhin@mail.ru, nikolarchitect@gmail.com, ludmila.poluyan@gmail.com

Deflection calculation of reinforced concrete beams is one of the key tasks in building and structure design, since exceeding the limiting deformations can lead to disruption of normal structural performance, damage to finishes, partitions, and engineering systems. The traditional deflection calculation according to SP63.13330 requires consideration of physical nonlinearity of concrete (deformation with cracks), material creep, interaction between reinforcement and concrete, as well as the need to solve iterative equations to determine the height of the compressed zone of the cross-section. These complexities make multi-variant calculations time-consuming at the preliminary design stage, when an engineer needs to quickly evaluate dozens or hundreds of combinations of geometric cross-sectional parameters. Existing code-based methods have high physical validity but require significant time costs. The lack of tools for rapid express assessment of deflection necessitates the introduction of artificial intelligence methods into the design practice of reinforced concrete structures.

This study implements a comparative approach, juxtaposing classical engineering deflection calculation according to SP 63.13330 with prediction using a deep neural network. The information base of the study was a synthetic database of 151200 design cases generated based on code formulas. The following parameters were varied: beam width (150-400 mm), height (200-900 mm), span (1000-12000 mm), load (1-15 t/m), concrete grade (B15-B35), and support condition (4 types). The developed neural network architecture comprises 6 input neurons, five hidden layers (512→256→128→64→32 neurons), and one output neuron. Regularization techniques applied during training included Dropout (0.4-0.3), L2 regularization (0.001), and batch normalization. The target variable was subjected to logarithmic transformation  $y = \ln(1 + f)$  to account for the wide range of deflections (0-100 mm). Training was performed using the Adam optimizer, weighted MSE loss function, early stopping, and adaptive learning rate reduction.

Based on comparative analysis, the applicability boundaries of both approaches were determined. Classical code-based methods are indispensable at the detailed design stage, where full justification of load-bearing capacity is required. The trained neural network model provides high accuracy in deflection prediction: on the test set (17669 samples), the mean absolute error was 0.83 mm, the median relative error was 3.8%, and the coefficient of determination  $R^2 = 0.997$ . The computation speed of the neural network is milliseconds per case, which is hundreds of times faster than traditional iterative calculation. At the intersection of the two approaches, a hybrid methodology is justified: classical deterministic calculation is used for final verification of critical structures, while neural network prediction is used for rapid assessment at the preliminary design stage, for cross-section optimization, and in decision support systems. The developed approach provides a transition from labor-intensive manual calculations to automated deflection prediction of reinforced concrete beams.

# **Application of the Bayesian approach in the risk assessing of rare natural hazards**

*Chikir M.V.*

Science and Engineering Centre «Reliability and Safety of Large Systems and Machines»,  
Ural Branch, Russian academy of Sciences, Studencheskaya, 54-A, Yekaterinburg  
mary-catchikir2012@yandex.ru

Natural anomalies are increasingly leading to a decline in life quality, environmental problems, and disruptions in the operation of various infrastructures and communication systems. When addressing the tasks of monitoring and forecasting natural accidents, researchers face the problem of insufficient data. Natural disasters occur rarely, so on the scale of multi-year accident registration they appear as statistical outliers compared to typical accidents. However, these anomalies can indicate ultimate loads that were not accounted for in infrastructure design [1-4]. The study presents the results of Bayesian modeling of damage from natural accidents on railways abroad, recorded from 1975 to 2022.

A comprehensive exploratory data analysis and modeling of trial Bayesian networks led to assumptions about behaviour of the target variable “Total damage cost” [5]. There are a large spread of values and a heavy tail distribution due to extremely high values for rare accidents. Therefore, it is necessary to use more sophisticated methods for selecting damage distributions. Several models with characteristic probability distributions are considered, and their quantitative and qualitative comparison is performed. The possibility of using mixed models of natural railway accidents to describe long-tailed distributions is evaluated. The calculations were performed in the Python software environment.

The study results can complement existing failures systems on the railway in the process of long-term accident forecasting in the conditions of climate change.

- [1] *Alawad H., Kaewunruen S., An M.A.* A deep learning approach towards railway safety risk assessment // IEEE Access, 2020. No. 8. pp. 102811-102832.
- [2] *Vranešić K., Haladin I., Burnać K.* Influence of climate changes on railway superstructure // Građevinar, 2025. No. 1(77). pp. 43–67.
- [3] *Thaduri A., Garmabaki A., Kumar U.* Impact of climate change on railway operation and maintenance in Sweden: A State-of-the-art review // Maintenance, Reliability and Condition Monitoring, 2021. No. 1. pp. 52-70.
- [4] *Bushinskaya A.V., Timashev S.A.* Specifics of applying the fragility and antifragility theory in the operation of technical system and structures. Preprint, Ural University Publishing House, 2022. 79 pages.
- [5] *Chikir M.V.* Two-stage railway accident modeling of a natural nature: Part I – Bayesian modeling // Pacific Rim countries transportation system, 2025. No. 3(44). pp. 108–119.

# Prediction of crack resistance class of reinforced concrete structures using Machine Learning

*Chuvyzgalov N.A.<sup>1</sup>, Poluyan L.V.<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup>Institute of Civil Engineering and Architecture UrFU, Yekaterinburg

<sup>2</sup>Science and Engineering Center “Reliability and Safety of Large Systems and Machines”, UB RAS, Yekaterinburg

nikitmail@yandex.ru, ludmila.poluyan@gmail.com

The existing system for assessing the technical condition of reinforced concrete structures in the Russian Federation is based on periodic visual inspections and instrumental measurements of already-formed defects. Crack classification according to SP 63.13330.2018 and GOST 31937-2011 makes it possible to record the current state of a structure; however, it is reactive in nature: the engineer states a fait accompli but lacks a tool for predicting defect development during the inter-inspection period. Current design verification methodologies fail to fully account for the operational history: cyclic loads are addressed by a coarse coefficient, while factors such as concrete aging, environmental aggressiveness, temperature fluctuations, and construction quality remain beyond the scope of formalized calculation. The absence of a quantitative prediction of the crack resistance class based on accumulated operational data leads to suboptimal repair planning and the risk of missing a critical degradation stage.

A model for predicting the crack resistance class of reinforced concrete structures based on gradient boosting is proposed, making it possible to predict crack width and automatically classify the technical condition using design parameters and loading history. The model replaces labor-intensive design verification calculations with instantaneous prediction and ensures a transition from reactive diagnostics to predictive life-cycle management of the structure.

Based on normative calculations according to SP 63.13330.2018, a database of 2000 records comprising over 50 parameters was generated: cross-sectional geometric characteristics, concrete and reinforcement grades, bending moments, and seven degradation factors — cyclic fatigue, aging, environmental aggressiveness, temperature fluctuations, humidity, overload history, and compaction quality. The target variable — crack width — was calculated using Formula 8.128 of SP 63, adjusted by an integral degradation coefficient. An ensemble of six regression models (Ridge, Lasso, Random Forest, Gradient Boosting, XGBoost, LightGBM) was trained; Gradient Boosting Regressor demonstrated the best performance with a coefficient of determination  $R^2 = 0.941$  and a root-mean-square error  $RMSE = 0.113$  mm. A two-stage pipeline was implemented: the regression model predicts the numerical crack width value, after which a threshold classifier according to GOST 31937-2011 assigns the technical condition category. Classification accuracy reached 94.3%. Feature importance analysis revealed that cyclic loads and the degradation coefficient ranked among the key predictors, confirming the model's ability to capture fatigue effects not explicitly described by the simplified normative methodology.

The developed gradient boosting-based model bridges the methodological gap between normative calculation and real-world operation, enabling a transition to quantitative, measurable, and adaptive prediction of the technical condition. The proposed approach can be utilized by operating organizations for condition-based repair planning, integrated into structural health monitoring (SHM) systems and digital twins of buildings, and serve as a foundation for improving normative methodologies for crack resistance assessment that account for accumulated loading history.

# **Risk-oriented Artificial Intelligence technologies and the dynamic bow-tie method for ensuring the safety of potentially hazardous facilities in the petrochemical industry**

*Eiva A.E.<sup>1</sup>, Poluyan L.V.<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup>Institute of Civil Engineering and Architecture UrFU, Yekaterinburg

<sup>2</sup>Science and Engineering Center “Reliability and Safety of Large Systems and Machines”, UB RAS, Yekaterinburg

eiva2k@bk.ru, ludmila.poluyan@gmail.com

Ensuring the safety of potentially hazardous facilities in the petrochemical industry remains a relevant task due to the high probability of severe environmental, economic, and social consequences of accidents. The traditional Bow-Tie method makes it possible to visually describe the causes, central event, and consequences of an accident; however, in its classical form, it is mainly a qualitative and static tool. It does not fully account for the uncertainty of initial data, changes in probabilities over time, and the influence of protective barriers on the overall risk level.

The study proposes an approach based on the integration of the Bow-Tie method and Bayesian networks as a risk-oriented artificial intelligence technology. The main idea is to move from a static description of an accident scenario to a dynamic probabilistic model, where causes, barriers, the central event, and consequences are represented as interconnected nodes. Such a model makes it possible to perform quantitative risk assessment, consider cause-and-effect relationships, and recalculate probabilities when new information becomes available.

A fire scenario on an offshore oil platform is considered as a calculation example. The model identifies the main groups of accident causes. Preventive and mitigating barriers are also taken into account.

The practical implementation of the approach was carried out in the GeNIe software package, where a Bayesian network was built in the format of the Bow-Tie method. The calculations showed that the probability of an accident, taking into account preventive barriers, is 20%. When preventive measures were excluded, the probability of an accident increased to 23%, which confirms the sensitivity of the Bayesian network to changes in input parameters.

The conducted sensitivity analysis showed that the method makes it possible to identify critical elements of the model and justify priority measures for risk reduction.

The developed approach combines the visual clarity of the Bow-Tie method with the computational capabilities of Bayesian networks. It can be used to assess accident probability, analyze consequences, identify weaknesses in the safety system, and support decision-making at potentially hazardous petrochemical facilities. The universality of the approach lies in the possibility of adapting the network structure to any complex object by changing the set of nodes, their relationships, and initial probabilities. In combination with the Bow-Tie method, the Bayesian network provides a clear and flexible risk analysis: from accident causes to the central event and its consequences.

# Development and implementation of solar air collectors with improved thermal performance

Hu Wentao<sup>1</sup>, Huang Yue<sup>1,2</sup>, Alekhin Vladimir N.<sup>1,3</sup>

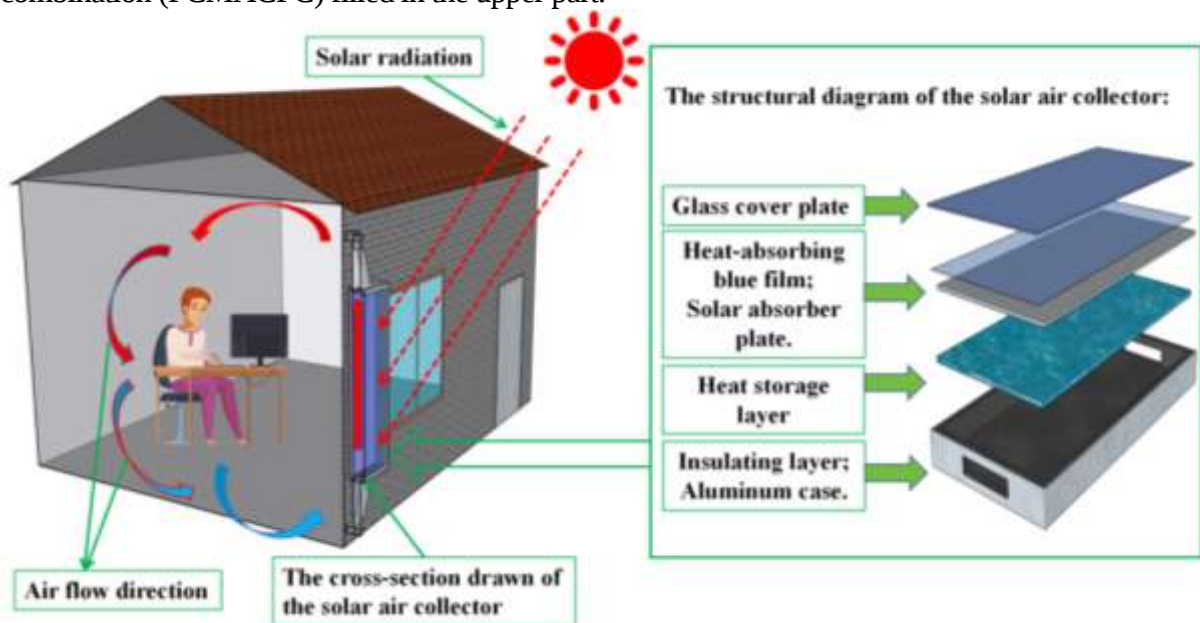
<sup>1</sup>Institute of Civil Engineering and Architecture, Ural Federal University, 19, Mira st., Yekaterinburg, 620002.

<sup>2</sup>Cross-Media Technology Center, Ural Institute of Humanities, Ural Federal University, 51, Lenin st., Yekaterinburg 620002.

<sup>3</sup>Design and Scientific Center, Ural State University of Architecture and Art, Karla Libknekhta Street, 23, 620075.

huwentaogood@163.com, imhuangyue@163.com, v.n.alekhin@urfu.ru

Phase change materials are often used in construction, industry and other fields due to their heat storage capacity [1]. To develop a high-performance solar air collector model to enhance heating for residential residents, this study designed a solar air collector with phase change materials (**Figure 1**) base on phase change materials (PCM) [2]. Then, four sets of comparative tests were set up based on solar air collectors with PCM: with or without PCM, the filling position of PCM, the filling rate of PCM, and the thermal conductivity efficiency of PCM. The research results show that the solar air collector with PCM has the continuous release heat ability during the day and night. The upper part filled with PCM is the optimal filling position scheme, and the upper part filled with 50% PCMs is the optimal filling rate scheme. the copper foam and PCM composite significantly improves the thermal conductivity of the test block. According to the research results, to achieve the best performance, it is recommended to use a solar air collector with 50% PCM and copper foam combination (PCMACFC) filled in the upper part.



**Figure 1.** The structural diagram of the solar air collector with phase change materials (PCM).

[1] W. Hu. Design and thermal performance evaluation of a new solar air collector with comprehensive consideration of five factors of phase-change materials and copper foam combination / W. Hu, V. N. Alekhin, Y. Huang. // *Applied Energy*. 2023, Vol. 344, P. 121268.

[2] R. Piyush. Effect of sensible heat storage materials on the thermal performance of solar air heaters: State-of-the-art review / R. Piyush, P. Vikrant, S. Sandip. // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2022, Vol. 157, P.112085.

# Thermal performance evaluation of PCM-filled hollow bricks under cold climate conditions

Huang Yue<sup>1,2</sup>, Hu Wentao<sup>1</sup>, Alekhin Vladimir Nikolaevich<sup>1,3</sup>

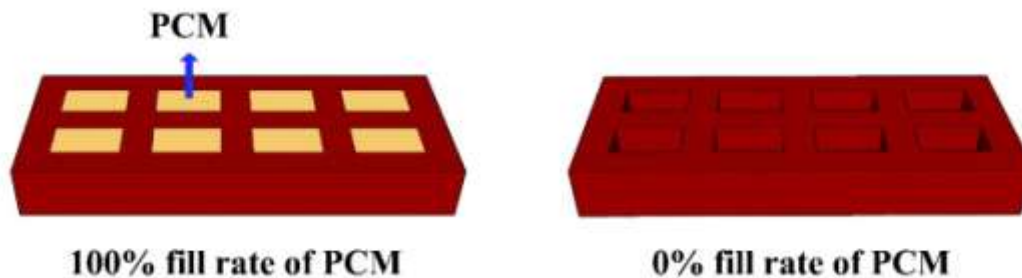
<sup>1</sup> Institute of Civil Engineering and Architecture, Ural Federal University, 19, Mira st., Yekaterinburg, 620002.

<sup>2</sup> Cross-Media Technology Center, Ural Institute of Humanities, Ural Federal University, 51, Lenina st., Yekaterinburg 620002.

<sup>3</sup> Design and Scientific Center, Ural State University of Architecture and Art, Karla Libknekhta Street, 23, 620075.

imhuangyue@163.com, huwentaogood@163.com, v.n.alekhin@urfu.ru

Composite phase-change materials (PCMs) have demonstrated significant potential for enhancing the thermal performance of building walls. In this study, C<sub>16</sub>H<sub>34</sub> phase-change material was used to fill the cavities of hollow bricks, and two wall models were established: PCM-filled hollow bricks and conventional hollow bricks. A cooling–heating experimental chamber system was employed to simulate the indoor–outdoor temperature difference under winter conditions in cold regions. By comparatively analyzing the inner surface temperature, internal temperature, temperature difference between the inner and outer surfaces, and heat flux density of the walls, the influence of PCM on the thermal insulation performance of the wall was evaluated. The results indicate that PCM-filled hollow bricks can effectively improve the thermal insulation performance of building envelopes in cold climates, reduce heating energy consumption, and enhance indoor thermal comfort, thereby meeting the development requirements of green and low-energy buildings.



**Figure 1:** Schematic Diagram of the Hollow Blocks Model

[1] Huang Y., Alekhin V. N., Hu W., Pu J. Adaptability analysis of hollow bricks with phase change materials considering thermal performance and cold climate// Buildings, 2025, Vol.15, P. 590.

[2] Hu W., Xia Y., Li F., Yu H., Hou C., and Meng X. Effect of the filling position and filling rate of the insulation material on the insulation performance of the hollow block // Case Studies in Thermal Engineering, 2021, Vol.26, p. 10102.

[3] Hu W., Huang Y., Yuan M., Zhang J., Alekhin V.N. Optimization of the thermal performance of self-insulation hollow blocks under conditions of cold climate and intermittent running of air-conditioning // Case Studies in Thermal Engineering, 2022, Vol.35, p. 102148.

# **Artificial Intelligence in construction**

*Khokhlov D.A.<sup>1</sup>, Poluyan L.V.<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup>Institute of Civil Engineering and Architecture UrFU, Yekaterinburg

<sup>2</sup>Science and Engineering Center “Reliability and Safety of Large Systems and Machines”,  
UB RAS, Yekaterinburg

[danil\\_khokhlov@list.ru](mailto:danil_khokhlov@list.ru), [ludmila.poluyan@gmail.com](mailto:ludmila.poluyan@gmail.com)

Cracks in monolithic reinforced concrete structures remain one of the most common defects reducing the durability and reliability of buildings. While not directly leading to immediate collapse, abnormal cracks create open pathways for aggressive environments, provoke reinforcement corrosion, and reduce sectional stiffness. As noted in publications by the National Association of Builders, up to 46% of emergencies in construction are associated with violations of building codes. At the same time, traditional construction control mainly records already occurred violations but does not allow for a quantitative assessment of the risk of their occurrence in advance, and open statistics on the causes of crack formation in new construction are practically absent.

The aim of the study is to develop an expert system for construction organizations that allows for quantitative risk assessment of crack occurrence in load-bearing reinforced concrete structures based on Bayesian networks and substantiates the effectiveness of preventive measures.

A database of crack formation cases at Russian construction sites for the period 2015–2023 has been modeled and analyzed. Based on the analysis, enlarged groups of defect causes, distributed across the stages of the object's life cycle, have been identified. Using the GeNIe software package, a Bayesian network has been constructed that reflects the cause-and-effect relationships between groups of factors and the probability of crack occurrence. A key feature of the proposed approach is the rejection of deterministic strength calculations in favor of statistical risk prediction, which complements traditional construction control methods. The constructed network is integrated with the Ishikawa diagram, transforming a static list of causes into a dynamic interactive model where each factor has a numerical probability value.

The practical significance of the work lies in the possibility of a quantitative comparison of two quality management strategies: reactive, focused on eliminating already occurred defects, and proactive, involving the timely introduction of preventive barriers. The approbation of the methodology on the example of the construction of a multi-storey residential building, considering complex engineering-geological conditions, showed that the introduction of a set of barriers can significantly reduce the probability of crack formation. The developed tool provides construction organizations with justified criteria for selecting measures and allows for assessing the expected economic effect from their implementation. The obtained results can be applied in construction control systems to transit from subjective expert assessments to objective, statistically based risk prediction.

# **Risk-based artificial intelligence technologies and the Pareto method for predicting accidents at potentially dangerous facilities in the oil and gas industry**

*Kuntsevich A.D.<sup>1</sup>, Poluyan L.V.<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup>Institute of Civil Engineering and Architecture UrFU, Yekaterinburg

Head, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher at the Scientific Research Center

<sup>2</sup>Science and Engineering Center “Reliability and Safety of Large Systems and Machines”,  
UB RAS, Yekaterinburg

kuntsevitch.ar@yandex.ru, ludmila.poluyan@gmail.com

Forecasting accidents at hazardous production facilities in the oil and gas complex remains a complex multi-criteria task, especially in conditions of limited resources for measures to improve industrial safety. Traditional static risk analysis methods do not allow for dynamic reallocation of priorities when new information arrives and do not identify a limited number of critical factors that determine the main share of accidents. The paper proposes and tests an approach that integrates Bayesian networks (providing adaptive probabilistic inference) and the Pareto method (which allows to identify a small number of causes that make the greatest contribution to accidents). The main idea is to move from static risk ranking to dynamic multi-criteria ranking, where the Bayesian network acts as a "live" model that updates estimates when evidence arrives, and the 80/20 rule focuses on the most influential factors.

As an empirical basis, information on 87 accidents at oil and gas hazardous production facilities was analyzed, obtained from the declaration of industrial safety of Lukoil-Volgogradneftepererabotka LLC and open sources. Six enlarged groups of causes and 29 specified causes are identified, conditional probabilities are calculated for each. In the environment of the GeNIe software package, a hierarchical Bayesian network has been built, including the target node "Accident at the facility", six intermediate cause nodes and 29 refinement nodes; tables of conditional probabilities have been filled in. A sensitivity analysis (with the construction of a tornado diagram) and an analysis of the influence of nodes were carried out. Both methods independently showed that the nodes "Personnel errors and safety violations" (No. 4), "External influences" (No. 6) and "Violation of technological regime and regulations" (No. 3) have the greatest impact on the final probability of an accident. Additionally, the classical Pareto calculation was performed: these three categories together account for 63% of all reported accidents (21.8%, 20.6% and 20.6%, respectively), while the remaining three categories account for only 37% of accidents. Thus, the results of the identification of critical factors obtained by Bayesian modeling and the Pareto method are completely consistent.

The developed approach allows not only to identify Pareto-important causes (staff errors, external influences, regime violations) that require priority management decisions, but also provides the possibility of adaptive recalculation of priorities as new data becomes available. The practical significance of the work is confirmed by the creation of a workable Bayesian model in the GeNIe environment, which can be used by operating organizations to assess the likelihood of an accident, rank risks and justify the allocation of resources for measures to improve industrial safety. The proposed approach is applicable not only to oil and gas facilities, but also to other potentially hazardous industries with a multi-criteria risk structure.

# **Forecasting foundation precipitation: from classical consolidation theory to neural network time series analysis**

*Kuzmina A.A.<sup>1</sup>, Tertyshnaya E.S.<sup>1</sup>, Poluyan L.V.<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup>Institute of Civil Engineering and Architecture UrFU, Yekaterinburg

<sup>2</sup>Science and Engineering Center “Reliability and Safety of Large Systems and Machines”, UB RAS, Yekaterinburg

i@annaakuzmina.ru, tertyshnaya.ekaterrina@mail.ru, ludmila.poluyan@gmail.com

Relevance and problem. Monitoring and forecasting deformations of the foundations of buildings and structures over time are key tasks of ensuring the mechanical safety of construction sites throughout their entire life cycle. Traditional geotechnical control often fixes structural defects that have already occurred, making it impossible to quickly manage risks at the preventive stage. Existing analytical methods (the method of layer-by-layer summation, the linear theory of filtration consolidation by K. Terzaghi–N.M. Gersevanov) have a high physical validity, but they have an error of up to 20-30% due to the lack of accounting for the creep of the skeleton of the soil and the difficulty of approximating multilayer foundations. The lack of flexible tools for operational short- and medium-term forecasting of deformation dynamics necessitates the introduction of data mining methods.

Research methodology. The paper implements comparative and hybrid approaches comparing classical geotechnical calculations and predictive analytics methods based on artificial neural networks. The information base of the study was the results of field geodetic observations of the precipitation of reference points, presented in the form of time series. The proposed neural network modeling algorithm extrapolates deformations by training the network on sliding observation windows, which makes it possible to automatically identify a long-term trend (precipitation attenuation) and stochastic seasonal fluctuations in soils.

Results and practical significance. Based on a comparative analysis, the limits of applicability and the synergetic effect of both approaches have been determined. It has been established that classical methods are indispensable at the design stage of new facilities in the absence of retrospective data. In turn, the trained neural network model, in the presence of a long series of geodetic measurements, ensures the accuracy of forecasting the precipitation dynamics of existing buildings within  $\pm 5\text{--}15\%$ .

A hybrid methodology is justified at the junction of approaches: a classical deterministic calculation determines the limiting (final) value of the stabilized sediment of the base, and a neural network analysis of time series simulates the unsteady trajectory of the process over time. The developed approach provides a transition from discrete expert assessments to continuous automated forecasting of deformations of construction objects (foundation precipitation).

# **Building Information Modeling (BIM): Capabilities and benefits**

*Luzin E.A.<sup>1</sup>, Poluyan L.V.<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup>Institute of Civil Engineering and Architecture UrFU, Yekaterinburg

<sup>2</sup>Science and Engineering Center “Reliability and Safety of Large Systems and Machines”,  
UB RAS, Yekaterinburg

elisey.luzin@mail.ru, ludmila.poluyan@gmail.com

Traditional two-dimensional design in construction is characterized by fragmented drawings, high losses due to errors (up to 30% of total costs), clashes, and labor-intensive modifications. The lack of a unified information environment leads to delays, budget overruns, and inefficient facility operation. This paper examines Building Information Modeling (BIM) as a process of creating and managing a single electronic database throughout the entire life cycle – from concept to demolition.

It is shown that parametrization of elements (geometric, physical, and assigned properties) ensures automatic updating of all views, sections, schedules, and material takeoffs upon any change in the model. Key advantages are identified: clear 3D visualization with any level of detail, automated clash detection (intersections of pipes, trays, structures), reduced documentation time, improved scheduling and cost accuracy, and convenient information storage and exchange among participants.

Based on data from the Russian Ministry of Construction, quantitative effects of BIM implementation are confirmed: reduction of errors in design documentation by 40%, total time of technologists' work by 30%, project implementation time by 20%, construction and operation costs by 20–50%. The 4D extension is considered separately – adding construction schedules to the 3D model allows visualizing the construction process over time.

An approach to BIM quality control using regression testing is proposed, which identifies “black holes” (missing space), “white spots” (missing objects), accessibility errors, and clashes. The software ecosystem (Revit, Navisworks Manage, Civil 3D, Robot Structural Analysis, Dynamo Studio, etc.) that enables the technology is described.

The research results enable construction organizations to make a sound transition from traditional drawing to integrated, controlled, and cost-effective information modeling, and also serve as a basis for the implementation of BIM in the construction control and operation system.

# **Risk-based safety management of regional socio-natural-technogenic systems**

*Moskvichev V.V., Taseiko O.V.*

Federal Research Center for Information and Computational Technologies, Krasnoyarsk  
krasn@ict.nsc.ru

This paper considers problems formulation and research results related to information and analytical support for the safety of social-natural-technogenic (S-N-T) systems. The study covers the regulatory and legal framework, key challenges of regional environmental and technogenic safety in Siberia and Arctic zone as well as the priorities, research directions and stages of the conducted work.

Basic risks of social-ecological-economic development at the regional level are substantiated within the proposed conceptual framework and on the bases of integrated monitoring data for S-N-T system.

The structure of the information system for territorial risk and safety management (ISTRSM) is presented. The system includes five interconnected subsystems: monitoring, risk analysis, risk visualization, risk management and decision-making as well as a digital territorial safety passport. The practical implementation of the ISTRSM based in the developed algorithms for territorial risks assessment and methodological approaches to individual and integrated risks has been carried out for several regions of Siberian Federal District including Irkutsk region and Baikal natural territory, Kemerovo region – Kuzbass, Krasnoyarsk region and Arctic zone). The obtained results are presented in regulatory and technical guidelines governing territorial risks assessment in regional S-N-T systems.

# **Development of an expert system for industrial safety management in organizations operating hazardous production facilities based on Bayesian networks**

*Pegushina A.A.<sup>1</sup>, Poluyan L.V.<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup>Institute of Civil Engineering and Architecture UrFU, Yekaterinburg

<sup>2</sup>Science and Engineering Center “Reliability and Safety of Large Systems and Machines”, UB RAS, Yekaterinburg

nastya.pegushina1@gmail.com, ludmila.poluyan@gmail.com

The current industrial safety management system (ISMS) for hazardous production facilities in the Russian Federation is formal and static in nature. There are no regulated feedback mechanisms, quantitative methods for determining the safety level in real time, or unified performance assessment indicators for ISMS. An analysis of accident rates for 2020–2025 confirms the recurrence of incidents at the same enterprises, indicating the inadequacy of existing deterministic methods.

A model for the development and implementation of an industrial safety management system based on Bayesian networks is proposed. It allows closing the management loop, providing a quantitative probabilistic assessment of the industrial safety level in near real time, and increasing the validity of corrective actions through Bayesian updating of posterior probabilities.

Based on an analysis of the regulatory framework (Federal Law No. 116-FZ, Government Decrees No. 1243 and No. 2168, Order of Rostekhnadzor No. 318) and 34 major accidents, four systemic deficiencies have been identified: lack of feedback, lack of quantitative safety level, lack of ISMS performance assessment, and lack of verification procedures. A register of ISMS creation processes with decomposition down to 5 levels, built according to the PDCA cycle (Plan-Do-Check-Act), has been developed, which serves as a structural basis for Bayesian modeling. A Bayesian network model is proposed that allows probabilistic inference with incomplete data, updating risk assessments as new incidents and audit results become available, and quantifying the final level of ISMS.

The expert system based on Bayesian networks fills the identified regulatory and methodological gaps, ensuring a transition from reactive to proactive, measurable, and adaptive management. The developed process register and Bayesian model can be used by operating organizations when creating, implementing, and upgrading ISMS, and can also serve as a basis for improving the industry regulatory framework.