Самойленко Руслан Александрович
магистрант
Научный руководитель
Ивушкина Елена Борисовна
д-р филос. наук, профессор, заведующий кафедрой
Институт сферы обслуживания и предпринимательства (филиал)
ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет»
г. Шахты, Ростовская область

ГЕНЕРАТИВНЫЕ МОДЕЛИ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА КАК ИНСТРУМЕНТ СИМУЛЯЦИИ АВАРИЙНЫХ СЦЕНАРИЕВ И СТРЕСС-ТЕСТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ТРАНСПОРТНЫХ ПРОЦЕССОВ

Аннотация: *традиционные подходы к обеспечению транспортной безопасности опираются на анализ исторических данных, что делает системы уязвимыми перед новыми, ранее не встречавшимися каскадными сбоями. В статье рассматривается применение генеративных моделей искусственного интеллекта (GAN, вариационные автоэнкодеры и диффузионные модели) для синтеза реалистичных, но ранее не наблюдавшихся аварийных сценариев. Предложена методология и архитектура системы стресс-тестирования, интегрированной с цифровыми двойниками транспортных сетей. Показано, что использование синтетических данных позволяет проактивно выявлять скрытые уязвимости инфраструктуры и оценивать запас прочности транспортных процессов в экстремальных условиях, выходя за рамки ограниченного исторического опыта.*

Ключевые слова: *генеративный искусственный интеллект, стресс-тестирование, транспортные процессы, аварийные сценарии, диффузионные модели, цифровые двойники, устойчивость транспортных систем, каскадные отказы.*

Транспортная система, функционирующая в условиях постоянно усложняющейся городской и межрегиональной среды, всё чаще уподобляется живому

Content is licensed under the Creative Commons Attribution 4.0 license (CC-BY 4.0)

организму, чья уязвимость проявляется не столько в повседневной работе, сколько в моменты неожиданных потрясений. Анализируя статистику транспортных инцидентов за последнее десятилетие, исследователи отмечают тревожную тенденцию: доля каскадных отказов, возникающих на стыке нескольких подсистем, неуклонно растёт. Планируя развитие интеллектуальных транспортных систем, инженеры традиционно опираются на исторические данные, моделируя те аварии, которые уже происходили. Однако, конструируя защитные механизмы исключительно на основе прошлого опыта, проектировщики неизбежно оставляют слепые зоны, в которых могут зародиться катастрофы, не имеющие исторических прецедентов.

Именно здесь на передний план выходят генеративные модели искусственного интеллекта, способные не просто классифицировать известные угрозы, но и конструировать правдоподобные, но ранее не наблюдавшиеся сценарии. Рассматривая эти модели как своеобразных «режиссёров катастроф», исследователи получают инструмент, позволяющий подвергнуть транспортные технологии стресс-тестированию беспрецедентной глубины. Целью настоящей работы является концептуальное обоснование и методологическое оформление подхода, использующего генеративный ИИ для синтеза аварийных сценариев в задачах оценки устойчивости транспортных процессов.

Стресс-тестирование, заимствованное транспортными инженерами из арсенала финансовых аналитиков, предполагает намеренное помещение системы в экстремальные, но принципиально возможные условия с целью оценки её запаса прочности. Применяя эту методологию к транспортным процессам, исследователи сталкиваются с фундаментальной проблемой: пространство потенциальных аварийных ситуаций оказывается практически бесконечным, тогда как множество реально задокументированных инцидентов остаётся ограниченным.

Традиционные методы работают так: компьютер создает множество случайных сценариев сбоев или изменений, которые повторяют закономерности, замеченные в прошлом. Однако, полагаясь на известные распределения, такие методы оказываются бессильны перед лицом событий, выходящих за рамки

Содержимое доступно по лицензии Creative Commons Attribution 4.0 license (CC-BY 4.0)

наблюдаемой статистики. Создавая сценарии, ограниченные рамками прошлого, инженеры фактически воспроизводят уже известные уязвимости, оставляя непроверенными те точки отказа, которые ещё не проявили себя.

Генеративные модели искусственного интеллекта, напротив, обучаясь на скрытых паттернах транспортных данных, способны конструировать ситуации, сохраняющие внутреннюю непротиворечивость, но выходящие за пределы исторического опыта. Формируя многомерные распределения вероятностей, эти модели порождают сценарии, которые, оставаясь физически правдоподобными, оказываются неожиданными для инженеров, привыкших мыслить категориями прошлых инцидентов [1].

Рассматривая современное семейство генеративных моделей, исследователи выделяют три основных класса, каждый из которых обладает собственными преимуществами и ограничениями в контексте транспортных задач.

Генеративно-состязательные сети (GAN), первоначально разработанные для синтеза изображений, находят применение в задачах генерации временных рядов транспортных потоков. Обучаясь на данных телеметрии, эти сети, порождающие новые траектории движения и профили загрузки инфраструктуры, позволяют моделировать аномалии, сохраняющие статистическое сходство с реальными процессами. Однако, страдая от проблемы модового коллапса, GAN-архитектуры зачастую воспроизводят ограниченный набор сценариев, упуская редкие, но критически важные события [2].

Вариационные автоэнкодеры (VAE), сжимая высокоразмерные транспортные данные в компактное латентное пространство, предоставляют исследователям возможность целенаправленно варьировать параметры, конструируя сценарии с заданными характеристиками. Манипулируя координатами этого пространства, аналитик получает возможность плавно переходить от штатных режимов к экстремальным, отслеживая, как транспортная система реагирует на постепенное нарастание возмущений.

Диффузионные модели, совершившие в последние годы революцию в области синтеза мультимодальных данных, демонстрируют особую перспектив-

Content is licensed under the Creative Commons Attribution 4.0 license (CC-BY 4.0)

ность для транспортных задач. Постепенно, шаг за шагом, добавляя шум к исходным данным и обучаясь обратному процессу очистки, эти модели конструируют сценарии, отличающиеся высоким уровнем детализации и физической согласованностью. Генерируя последовательности событий, разворачивающиеся во времени и пространстве, диффузионные архитектуры позволяют воссоздавать каскадные аварии с такой реалистичностью, которая ранее была недоступна [3].

Сравнивая указанные подходы, исследователи приходят к выводу, что наибольший эффект достигается при их комбинировании: VAE обеспечивает управляемость генерации, диффузионные модели – детализацию, а GAN-дискурсивные модули – верификацию правдоподобия. Концептуальная схема такого гибридного генеративного ядра представлена на рисунке 1.

Переходя от концептуальных основ к практической методологии, исследователи предлагают поэтапный подход, позволяющий конструировать сценарии, обладающие как реализмом, так и экстремальностью. На первом этапе, анализируя исторические данные о транспортных инцидентах, инженеры выделяют ключевые факторы, способствующие возникновению аварий: погодные аномалии, отказы оборудования, человеческие ошибки, пиковые нагрузки. Формируя многомерный профиль этих факторов, аналитики получают основу для последующей генерации.

На втором этапе, обращаясь к латентному пространству VAE, исследователи целенаправленно смещают координаты сценариев в области, соответствующие экстремальным, но физически возможным комбинациям факторов. Генерируя тысячи таких сценариев, диффузионная модель разворачивает их во времени, воспроизводя последовательности событий с учётом пространственно-временных зависимостей. Верифицируя полученные результаты с помощью GAN-дискурсивного модуля, инженеры отсеивают сценарии, нарушающие законы физики или логики транспортных процессов.

Особое внимание уделяется конструированию каскадных аварий, при которых локальный инцидент, распространяясь по сети, провоцирует цепную реак-

Содержимое доступно по лицензии Creative Commons Attribution 4.0 license (CC-BY 4.0)

цию отказов. Моделируя такие сценарии, исследователи учитывают не только техническую топологию транспортной системы, но и поведенческие реакции участников движения, диспетчерского персонала, логистических операторов. Воспроизводя когнитивные искажения, возникающие в стрессовых ситуациях, генеративные модели позволяют оценить, как человеческий фактор усугубляет или, напротив, смягчает последствия технических сбоев [4].

Интегрируя генеративное ядро в единую систему стресс-тестирования, проектировщики формируют многоуровневую архитектуру, объединяющую симуляционную среду, аналитический контур и модуль принятия решений [5]. Поступая на вход симулятора, сгенерированные сценарии проигрываются в цифровом двойнике транспортной системы, позволяя оценивать, как существующие технологии реагируют на искусственно сконструированные вызовы. Анализируя результаты тысяч таких проигрываний, аналитический контур выявляет слабые места, формируя карту уязвимостей. Схема такой системы представлена на рисунке 1.

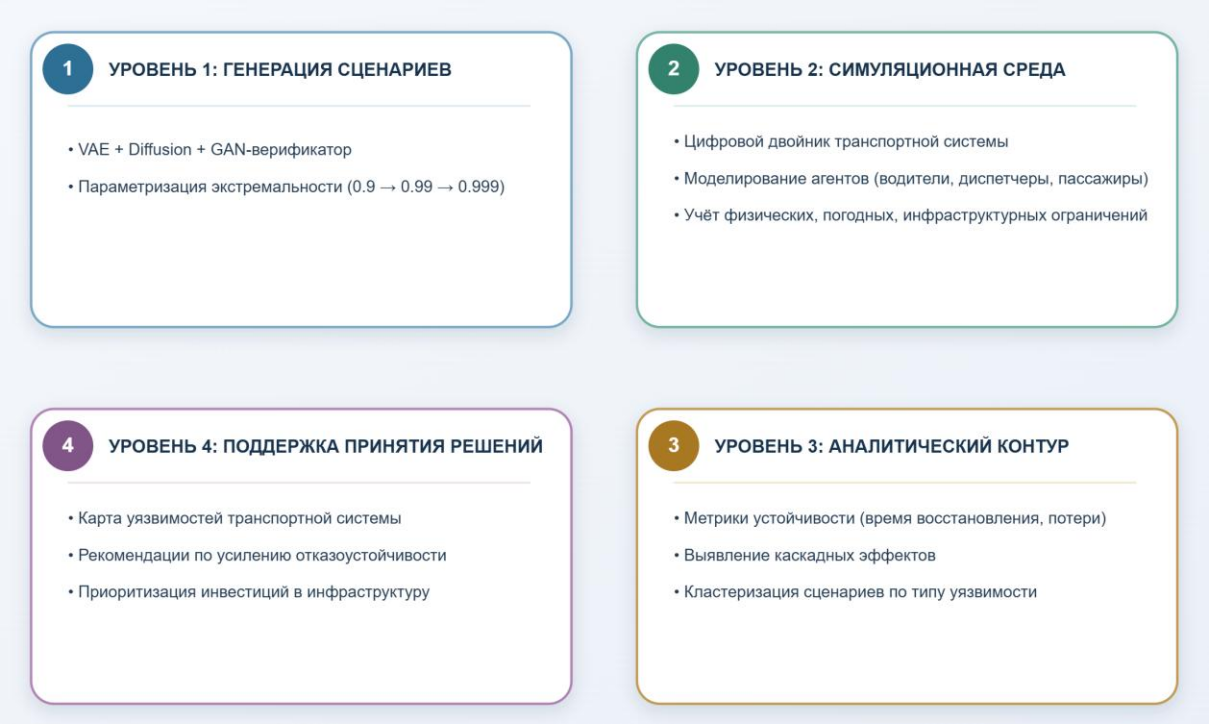


Рис. 1. Архитектура системы стресс-тестирования

Content is licensed under the Creative Commons Attribution 4.0 license (CC-BY 4.0)

Применяя такую архитектуру на практике, исследователи получают возможность не только выявлять скрытые уязвимости, но и сравнивать альтернативные технологические решения, оценивая, какое из них обеспечивает большую устойчивость в экстремальных условиях. Тестируя различные конфигурации интеллектуальных транспортных систем, инженеры принимают обоснованные решения, опираясь не на интуицию, а на результаты тысяч смоделированных катастроф.

Не отрицая очевидного потенциала генеративных моделей, исследователи вынуждены признать, что их применение сопряжено с рядом серьёзных методологических вызовов [6]. Во-первых, генерируя сценарии, модели могут создавать ситуации, формально правдоподобные, но физически невозможные – так называемые «галлюцинации». Отфильтровывая такие артефакты, инженеры вынуждены разрабатывать сложные верификационные процедуры, опирающиеся на физические симуляторы и экспертные оценки.

Во-вторых, используя сгенерированные сценарии для принятия инфраструктурных решений, проектировщики сталкиваются с проблемой ответственности: если инвестиционное решение, принятое на основе искусственно сконструированной аварии, окажется ошибочным, кто будет нести ответственность – разработчики модели, инженеры, внедрившие её, или руководители, утвердившие проект? Разрешая эти этические дилеммы, профессиональное сообщество постепенно формирует нормативную базу, регулирующую применение генеративного ИИ в критических областях.

В-третьих, обучая модели на исторических данных, исследователи неизбежно воспроизводят скрытые смещения, присутствующие в этих данных. Генерируя сценарии, отражающие не столько объективную реальность, сколько искажённое восприятие, зафиксированное в логах и отчётах, модели рискуют укреплять существующие стереотипы, вместо того чтобы раскрывать подлинные уязвимости. Преодолевая эту проблему, аналитики применяют методы дебиасинга (т.е. методы, направленны на снижение или устранение систематиче-

Содержимое доступно по лицензии Creative Commons Attribution 4.0 license (CC-BY 4.0)

ской ошибки в данных), корректируя распределения и вводя дополнительные ограничения.

Подводя итог, можно утверждать, что генеративные модели искусственного интеллекта открывают принципиально новые возможности для стресс-тестирования транспортных процессов, позволяя выходить за рамки исторически обусловленного мышления. Конструируя правдоподобные, но ранее не наблюдавшиеся аварийные сценарии, эти модели предоставляют инженерам инструмент, с помощью которого можно оценивать устойчивость транспортных систем перед лицом неизвестных угроз.

Список литературы

1. Конкина, В. В. Генеративные системы искусственного интеллекта : в 2 ч. Ч. 1 / В. В. Конкина, Н. В. Майстренко, А. В. Майстренко. – Тамбов : Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2026. – 97 с.

2. Каптерев, А. И. Вызовы генеративного искусственного интеллекта для системы высшего образования / А. И. Каптерев // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Информатизация образования. – 2023. – Т. 20, № 3. – С. 255–264.

3. Городничев, М. Г. О задаче применимости синтетических данных при тестировании интеллектуальных транспортных систем / М. Г. Городничев // Computational Nanotechnology. – 2025. – Т. 12, № 1. – С. 105–115. – DOI 10.33693/2313-223X-2025-12-1-105-115.

4. ГОСТ Р 55691-2013. Системы управления и информации на транспорте. Системы оповещения о дорожных происшествиях (TIWS). Требования к системе. – Москва : Стандартинформ, 2018. – 24 с.

5. ГОСТ Р 71159–2023. Интеллектуальные транспортные системы. Подсистема выявления дорожных инцидентов. Общие требования. – Москва : Российский институт стандартизации, 2024. – 30 с.

6. Коледачкин, А. А. Использование моделирования и симуляций в тестировании: перспективы с применением ИИ / А. А. Коледачкин // Вестник науки. – 2024. – № 9 (78). – С. 513–540. – DOI 10.24412/2712-8849-2024-978-513-540.

Content is licensed under the Creative Commons Attribution 4.0 license (CC-BY 4.0)