



ОБЗОРНАЯ СТАТЬЯ

УДК 624.21.095.4:004.8:378

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2022-20-1-9>

Применение искусственного интеллекта для транспортного строительства: инженерные и образовательные аспекты



Борис ЛЁВИН



Александр ПИСКУНОВ



Владимир ПОЛЯКОВ



Александр САВИН

*Борис Алексеевич Лёвин¹, Александр Алексеевич Пискунов²,
Владимир Юрьевич Поляков³, Александр Владимирович Савин⁴*

^{1, 2, 3, 4} Российский университет транспорта, Москва, Россия.

✉ ³ pyu55@mail.ru.

АННОТАЦИЯ

В статье, обобщающей исследования авторов, результаты которых как опубликованы, так и подготовлены для печати, рассматривается текущая ситуация с развитием представлений об искусственном интеллекте, анализируются возможности применения существующего на данном этапе искусственного интеллекта в проектировании объектов транспортной инфраструктуры и инженерном образовании.

Дано описание общей методологии и алгоритма применения искусственного интеллекта при проектировании объектов транспортной инфраструктуры с учётом синтеза конструкции с заданными параметрами поведения.

Ключевые слова: искусственный интеллект, инженерное образование, транспорт, транспортное образование, междисциплинарный подход, методы поддержки принятия решений.

Показана взаимосвязь решаемых пользователями инженерных задач и внедрения компетенций в области искусственного интеллекта в образовательный процесс при подготовке специалистов транспортного комплекса, приведены примеры выполнения студентами практически ориентированных заданий.

Продемонстрированы возможности междисциплинарного подхода в обучении, который позволяет наглядно показать обучаемым необходимость комплексного рассмотрения задач проектирования.

Экспериментальное обучение показало реальность и результативность применения искусственного интеллекта студентами при решении обучающих и практических задач.

Для цитирования: Лёвин Б. А., Пискунов А. А., Поляков В. Ю., Савин А. В. Применение искусственного интеллекта для транспортного строительства: инженерные и образовательные аспекты. 2022. Т. 20. № 1 (98). С. 74–79. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2022-20-1-9>.

**Полный текст статьи на английском языке публикуется во второй части данного выпуска.
The full text of the article in English is published in the second part of the issue.**

ВВЕДЕНИЕ

Практическое применение методов искусственного интеллекта (ИИ) в инженерном деле, несмотря на реально достигнутые успехи и множество реализуемых в транспортной отрасли проектов практического плана, находится с исторической точки зрения на начальном этапе, в первую очередь если давать оценку, исходя из степени реализации его потенциала.

Сегодня ИИ используется в большом числе отраслей экономики. Широкое применение ИИ находит на транспорте: например, для управления дорожным движением и парковочными пространствами крупных городов, обработки данных пользователей платных автодорог, при реализации комплексных логистических процессов. При этом особенное значение ИИ приобретает при проектировании сложных технических систем, успешность которого во многом обуславливается применением методов поддержки принятия решений [1], необходимых, в том числе для анализа больших данных, решения междисциплинарных и иных проблем повышенной сложности.

Сегодня различают так называемый «сильный» и «слабый» ИИ [2]. «Сильный» ИИ с человекоподобными мыслительными процессами, согласно опросу специалистов в области ИИ [3], вряд ли появится в ближайшие 75–100 лет, хотя многие вообще сомневаются в его появлении. Причиной скепсиса является фундаментальная невозможность воспроизведения психических процессов (мышления) на компьютерах [4]. Интеллект предполагает операции не с лишёнными конкретного содержания формальными символами, а с понятиями и смыслами. В силу этого отсутствие сознания у ИИ на современном этапе делает сильный ИИ пока недостижимой целью.

Существующий сегодня «слабый» ИИ [5] может решать достаточно сложные задачи в узкоспециализированной области [6]. Такой ИИ не является «сильным», он не может решать разнообразные задачи, которые ставит сама жизнь, подобно человеку – урегулировать производственные проблемы, водить автомобиль, делать выбор в магазине и т.п.

Вместе с тем продвижение по пути внедрения технологий ИИ в экономике, в том числе, на транспорте, должно быть обеспе-

чено подготовкой специалистов, обладающих компетенциями по разработке, внедрению и применению технологий ИИ. Очевидно, что для высшего инженерного образования сегодня целью становится применение методологии «слабого» ИИ, задача которого – воссоздать с помощью вычислительных систем целенаправленные действия, совершаемые человеком.

Необходимо отметить, что в качестве инструмента познания ИИ достаточно широко применяется в различных отраслях науки: в теории принятия решений [2], оптимизации систем [1], обработке больших данных и машинного обучения [7; 8], нечёткой логике [9] и генетических алгоритмах [10].

Целью работы является подтверждение гипотезы о возможности реализации междисциплинарного подхода в обучении, который позволяет продемонстрировать обучаемым необходимость комплексного рассмотрения задач проектирования.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Проблема применения ИИ при проектировании содержания обучения

Чему следует учить сегодня студентов на предмете «Искусственный интеллект»? Представляется, что целью обучения должно стать приобретение компетенций, позволяющих применять методологию ИИ в задачах, решение которых не подвластно человеческому интеллекту. При этом нужно предусматривать, чтобы обучающийся будущий инженер применял уже освоенные в рамках овладения своей специальностью знания и навыки с использованием системы поддержки принятия решений, которая сегодня относится к «слабому» ИИ. И «слабый» ИИ, не умеющий решать проблему от начала до конца, от формулировки задачи до выпуска проектной документации, хорошо подходит для этого. В точных науках накоплен огромный массив знаний в виде законов, представленных математическими выражениями в замкнутой форме, и, следовательно, возможно создание систем поддержки принятия решений на основе законов природы.

Ключевой тезис об обучении ИИ в высшем техническом образовании, в том числе транспортном, заключается в целесообразности включения человека в контур управления сложной системы, в которой ИИ будет играть роль действенной подсистемы под-



держки принятия решений, выявляя неочевидные зависимости и помогая таким образом принятию студентом содержательных решений в конкретной предметной области. Таким образом, учащийся приобретает навыки взаимодействия с ИИ. Целью предмета становится обучение методологии и применению ИИ, задачей которого является воссоздание с помощью вычислительных систем целенаправленных действий, осуществляемых осознающим законы природы человеком.

В Российском университете транспорта (РУТ (МИИТ)) разработана методология проектирования сооружений транспортной инфраструктуры, основанная на использовании ИИ, которая позволяет решать комплексные инженерные задачи. Сегодня выбор облика сооружения, его первоначальных параметров осуществляется на основе имеющегося опыта. Свод правил почти не дает рекомендаций по назначению технических параметров, а только содержит методы проверки уже спроектированных/построенных сооружений. То есть, это не нормы проектирования, а нормы проверки назначенных параметров. Как только человек встретится с неизвестной ранее задачей, отсутствие опыта может привести к серьезным ошибкам.

В нашей стране отсутствие опыта строительства высокоскоростных магистралей (ВСМ) является серьезной проблемой. В мировой практике отсутствует опыт строительства целого класса тоннелей, и вариантное проектирование здесь столкнется с большими трудностями. Наконец, опыт проектирования отсутствует у студентов. Необходимо внедрение подхода, основанного на синтезе конструкции с заданными параметрами поведения, отвечающего нормам и предотвращающего в определенном смысле неблагоприятные события [11]. При этом применяется не проверка принятого решения на соответствие нормативным документам, а осуществляется именно проектирование (синтез) конструкции в новых условиях, например, высокоскоростного движения.

Именно ИИ может оказать поддержку человеку в назначении проектных параметров. Участие ИИ становится критически важным в случае указанного отсутствия опыта проектирования в новых условиях.

Наконец, использование ИИ будет весьма продуктивным в эксплуатации сооружений. В этом случае постоянное дистанционное наблюдение за сооружением будет порождать огромный объем информации («большие данные»). Человеку достаточно сложно, а часто и невозможно, отследить и правильно интерпретировать изменения в состоянии сооружения, выявить риски на начальном этапе и предотвратить негативные последствия.

Согласно общепринятому алгоритму, процесс проектирования начинается с первичного назначения проектных параметров, изменяющихся в пространстве управляющими функциями. Первоначально эти функции могут задаваться произвольными и постоянными. Как ранее указывалось, с помощью математической модели поведения системы во времени [12] происходит переход в пространство состояний, где описывается поведение системы, а затем с помощью критериев производится оценка качества принятого решения в пространстве оценок [13]. При наличии возможности дальнейшего улучшения качества и/или при нарушении установленных ограничений на поведение системы производится коррекция управляющих функций и повторение процедуры.

Отметим ранее заявленные в [1; 12; 13] особенности. В описанном выше алгоритме ИИ проявляется в нескольких фрагментах [1]. Прежде всего, оценка качества конструкции непосредственно не вытекает из описания системы, между этими этапами действует сложная математическая модель. В данном случае это система обыкновенных дифференциальных уравнений и уравнений в частных производных [12]. Кроме того, оценка опосредована функционалами качества (критериями) в форме двукратных интегралов [13]. Анализ тенденций в поведении системы и чувствительность этого поведения к изменению управления (проектных параметров) не поддается осмыслению человеческим интеллектом, поскольку требует ориентации в многомерном пространстве состояний, где описано поведение систем в тех или иных условиях. Необходимо фиксировать состояние системы через крайне малые интервалы времени. Это влечёт формирование массива больших данных, выявление закономерностей в которых стало теперь уже традиционной

Таблица 1

Основные параметры сталежелезобетонного пролётного строения [11]

Параметры пролётного строения	Прототип	Рекомендации ИИ
Общий вес пролётного строения, т	1985	1729
Стальная балка, т	240	195
Железобетонная плита, т	812	621
Изгибная жёсткость, МН•м ²	11,2•10 ⁵	6,45•10 ⁵
Максимальный прогиб под высокоскоростным поездом, мм	5,5	7,1
Максимальный динамический момент, МН•м	20,02	20,12

прерогативой ИИ. Так как направления изменений, будучи опосредованы сложными взаимосвязями и операциями, неочевидны, то выбор направления изменения управления (проектных параметров) в пространстве оценок для улучшения показателей системы и выполнения предписанных ограничений на взаимодействие также не подвластен человеку.

Так же очевидно, что многие вопросы должны решаться на основе междисциплинарного подхода, комплексно, в силу взаимодействия компонентов сложной системы, рассматриваемых в рамках разных дисциплин.

Это диктует, в том числе, и вектор развития компетенций у сегодняшних и будущих специалистов транспортного комплекса в сфере ИИ.

Результаты экспериментального обучения

В Российском университете транспорта разработана программа обучения по дисциплине «Искусственный интеллект в транспортном строительстве» для специальности 23.05.06 «Строительство железных дорог, мостов и транспортных тоннелей». Её внедрению предшествовала экспериментальная проверка применения ИИ в процессе курсового и дипломного проектирования.

Рассмотрим процесс обучения студентов РУТ (МИИТ) взаимодействию с ИИ. Обычно студент использует для назначения параметров традиционной, хорошо известной конструкции изложенный в учебниках прежний опыт строительства. После выполнения многочисленных проверок конструкции на соответствие нормам и вследствие внесения многочисленных поправок полученная в результате конструкция оказывается далёкой от

оптимальной. Кроме того, студент в соответствии с нормами принимает модель нагрузки, не отражающую действительное взаимодействие, например, в такой сложной системе, как «мост-путь-поезд».

Напротив, с помощью ИИ, выступающей в данном случае системой поддержки принятия решений, обучающийся способен получить понимание реального взаимодействия в многокомпонентной системе. Студент таким образом овладевает новой компетенцией – системным видением инженерной деятельности. Это подразумевает осознанное представление о её целостности, многоаспектности, стадийности, междисциплинарных взаимосвязях.

Рассмотрим ряд конкретных примеров использования ИИ в учебном процессе (подробнее примеры изложены в ряде работ, например, в [14]).

В практическом плане, после того как преподаватель с использованием программного комплекса ИИ выдаёт рекомендации по изменению проектных параметров длины балки железнодорожного моста, студент (в данном случае обучающийся по специальности «Мосты») приступает к принятию конструктивных решений. Так как конструкция может быть оптимизирована по нескольким критериям одновременно [15], для простоты изложения в контексте статьи был выбран критерий минимума массы балки. Оптимизация происходит при строгом соблюдении технологических ограничений на параметры конструкции, ограничений на деформации балки, вертикальное ускорение в вагоне и других. Здесь также происходит освоение новых компетенций, порождаемых мультидисциплинарным аспектом и оценкой проектных решений по нескольким критериям, так как динамическое поведение конструкции



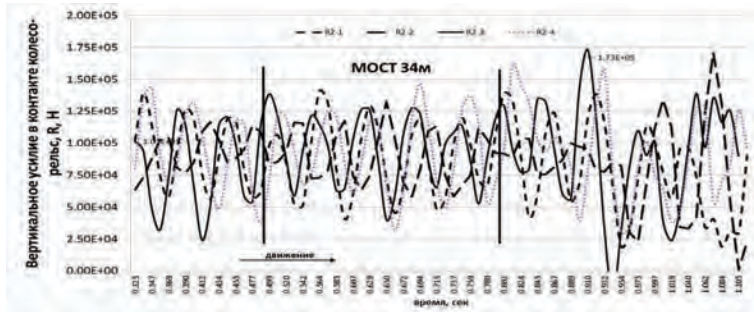


Рис. 1. Усилие в контакте колеса и рельса для второго вагона на скорости 350 км/ч. После прохода моста происходит отрыв колёс от рельса.

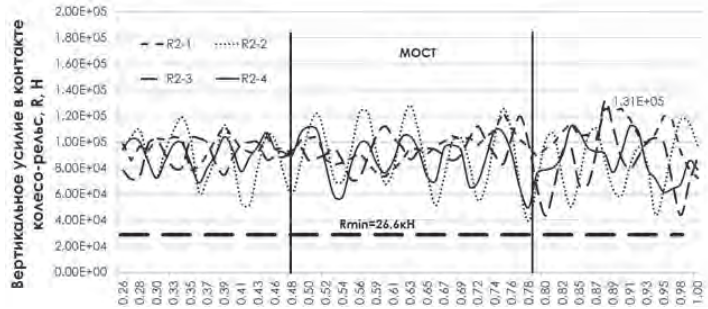


Рис. 2.. Усилие в контакте колеса и рельса после конструирования пути с системой поддержки принятия решений ИИ не падает ниже минимально допустимого значения 26,6 кН.

моста и вагона изучаются не только на разных специальностях, но и на разных направлениях подготовки (23.00.00 «Техника и технологии наземного транспорта» и 08.00.00 «Техника и технологии строительства»).

В рассматриваемом примере помимо требования о минимизации массы конструкции было выдвинуто требование о неизменности максимума динамического изгибающего момента от высокоскоростного поезда, что было выполнено с приемлемой точностью. Было принято решение о конструктивной реализации управляющих функций, доставляющих минимум функционалу качества (суммарной массе пролётного строения) за счёт уменьшения толщины железобетонной плиты проезжей части и общей высоты стальной балки. Результаты работы приведены в табл. 1. При этом все проверки по своду правил были выполнены. Несмотря на увеличение прогиба до 7,1 мм он не превышает пределов, установленных нормами.

Другой студент выполнял проект железобетонного пролётного строения для ВСМ, преследуя в процессе оптимизации цель снижения материалоемкости. В этом случае ИИ рекомендовал балку с неоднородными свойствами, так как в процессе оптимизации прогиб балки превышал допустимый предел. Студент принял

решение об изменении высоты балки и толщины стенки для выполнения рекомендаций ИИ. Экономия железобетона в сравнении с прототипом (реальный проект) составила 58 м³.

Для студентов специализации «Управление техническим состоянием железнодорожного пути» применяется другая система критериев, соответствующая задачам, возлагаемым на мостовое полотно и верхнее строение пути. Система поддержки принятия решений на основе ИИ предложила вариант оптимального распределения жёсткости железнодорожного пути, обеспечивающего минимальное воздействие на щебёночный балласт и максимально равномерное для снижения расстройств по длине.

Одновременно было выдвинуто требование обеспечения безотрывного движения колеса по рельсу для предотвращения схода – требование безопасности (см., напр.: [16]). На рис. 1 приведены диаграммы вертикального усилия в контакте колёс и рельса одного из вагонов высокоскоростного поезда. После прохода моста, из-за колебаний балки, рельса и вагонов, происходит отрыв колеса, что недопустимо. ИИ предложила управляющую функцию, от которой зависит жёсткость пути. По этой функции можно подобрать жёсткость прокладок в промежуточном рельсовом скреп-

лении в соответствии с рекомендациями ИИ с помощью кусочно-линейной аппроксимации функции. В результате среднее значение нагрузки на шпалу снижено на 17 %, локальные перегрузки балласта снижены почти в два раза, а главное – выполнено ограничение по безопасности. Усилие в контакте за все время прохода через мост не только не показывает отрыв колеса, но и не падает менее минимально необходимого для обеспечения безопасности движения (рис. 2).

В приведённых примерах отчётливо видна роль ИИ в рекомендации неочевидных закономерностей, обусловленных сложным процессом взаимодействия и многоэтапными вычислительными процедурами.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе приведённых результатов можно констатировать, что ИИ является востребованным инструментом проектирования новых конструкций или известных конструкций в новых условиях, а также обучения студентов технических университетов. Экспериментальное обучение показало реальность и результативность применения ИИ даже студентами. Разработана программа обучения студентов использованию ИИ в практической проектно-конструкторской деятельности.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Poliakov, V. The artificial intelligence and design of multibody systems with predicted dynamic behavior. *International Journal of Circuits, Systems and Signal Processing*, 2020, Vol. 14. DOI: 10.46300/9106.2020.14.124.
2. Бруссард М. Искусственный интеллект: Пределы возможного / Пер. с англ. Е. Арьё. – М.: Альпина нон-фикшн, 2019. – 362 с. ISBN 978-5-00139-080-0.
3. Bostrom, N. *Superintelligence: Paths, Dangers, Strategies*. Oxford University Press, 2014, 328 p.
4. Dreyfus, H. *What Computers Still Can't Do: A Critique of Artificial Reason*. MIT Press, 1992, 408 p. DOI: 10.2307/1575958.
5. Jajal, T. D. Distinguishing between Narrow AI, General AI and Super AI. May 21, 2018. [Электронный ресурс]: <https://medium.com/mapping-out-2050/distinguishing-between-narrow-ai-general-ai-and-super-ai-a4bc44172e22>. Доступ 23.01.2022.

6. Oremus, W. Terrifyingly Convenient. *Slate*, April 3, 2016. [Электронный ресурс]: http://www.slate.com/articles/technology/cover_story/2016/04/alexa_cortana_and_siri_aren_t_novelties_anymore_they_re_our_terrifyingly.html?via=gdpr-consent. Доступ 23.01.2022.

7. Duan, Xinhua. Application of Deep Learning in Power Load Analysis. *International Journal of Circuits, Systems and Signal Processing*, 2020, Vol. 14, pp. 726–735. DOI:10.46300/9106.2020.14.92.

8. Huang, Wei. Power system Frequency Prediction after Disturbance Based on Deep Learning. *International Journal of Circuits, Systems and Signal Processing*, 2020, Vol. 14, pp. 716–725. DOI: 10.46300/9106.2020.14.91.

9. Zhu, Xiaoyong; Zhang, Hua. A Lean Green Implementation Evaluation Method Based on Fuzzy Analytic Net Process and Fuzzy Complex Proportional Assessment. *International Journal of Circuits, Systems and Signal Processing*, 2020, Vol. 14, pp. 646–655. DOI: 10.46300/9106.2020.14.83.

10. Ye, Tingting. Research on the Risk Crisis Prediction of Enterprise Finance by Genetic Algorithm. *International Journal of Circuits, Systems and Signal Processing*, 2018, Vol. 12, pp. 319–324. [Электронный ресурс]: <https://www.naun.org/main/NAUN/circuitssystemssignal/2018/a922005-aes.pdf>. Доступ 23.01.2022.

11. Poliakov, V. Y., Saurin, V. V. Optimization of a composite beam for high-speed railroads. *Steel and Composite Structures*, 2020, Vol. 37, Iss. 4, pp. 493–501. DOI: 10.12989/scs.2020.37.4.493.

12. Поляков В. Ю. Численное моделирование взаимодействия подвижного состава с мостовыми конструкциями при высокоскоростном движении // *Строительная механика и расчёт сооружений*. – 2016. – № 2. – С. 54–60. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26700903>. Доступ 23.01.2022.

13. Поляков В. Ю. Синтез оптимальных пролётных строений для высокоскоростной магистрали // *Строительная механика и расчёт сооружений*. – 2016. – № 3. – С. 35–42. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26135687>. Доступ 23.01.2022.

14. Poliakov, V. Optimization Facilities for Bridges and Track on High Speed Railways. *Ingegneria Ferroviaria*, 2018, Vol. 73, No. 3, pp. 191–205. [Electronic resource (полный текст по запросу)]: URL: https://www.researchgate.net/publication/324924888_Optimization_facilities_for_bridges_and_track_on_high_speed_railways.

15. Поляков В. Ю. Парето-оптимальные пролётные строения для высокоскоростных магистралей // *Транспортное строительство*. – 2016. – № 6. – С. 21–24. [Электронный ресурс]: <https://elibrary.ru/item.asp?id=27451007>. Доступ 23.01.2022.

16. Поляков В. Ю. Оптимизация переходных зон мостов на ВСМ // *Мир транспорта*. – 2017. – № 5. – С. 54–67. [Электронный ресурс]: <https://mirtr.elpub.ru/jour/article/view/1301>. Доступ 23.01.2022.

17. Лёвин Б. А., Пискунов А. А., Поляков В. Ю., Савин А. В. Искусственный интеллект в инженерном образовании // *Высшее образование в России* [готовится к выходу].

Информация об авторах:

Лёвин Борис Алексеевич – доктор технических наук, профессор, президент Российского университета транспорта, Москва, Россия, lyevin@miit.ru.

Пискунов Александр Алексеевич – доктор технических наук, профессор Российского университета транспорта, Москва, Россия.

Поляков Владимир Юрьевич – доктор технических наук, доцент Российского университета транспорта, Москва, Россия, rvy55@mail.ru.

Савин Александр Владимирович – доктор технических наук, профессор Российского университета транспорта, Москва, Россия, a.v.savin@miit.ru.

Статья поступила в редакцию 08.12.2021, актуализирована 23.01.2022, одобрена после рецензирования 04.02.2022, принята к публикации 09.02.2022.

