

Вестник Евразийской науки / The Eurasian Scientific Journal <https://esj.today>

2025, Том 17, № 5 / 2025, Vol. 17, Iss. 5 <https://esj.today/issue-5-2025.html>

URL статьи: <https://esj.today/PDF/82SAVN525.pdf>

2.1.7. Технология и организация строительства (технические науки)

Ссылка для цитирования этой статьи:

Левкович, Т. И. Об использовании традиционных методов контроля качества построенных оснований автомобильных дорог из грунтов, укрепленных цементом, и сравнение их с методами диагностики с использованием нейронных сетей / Т. И. Левкович, Н. И. Токар, И. А. Ласман, З. А. Мевлидинов, А. Н. Капустина, В. С. Воробьев, И. Ф. Левкович // Вестник евразийской науки. — 2025. — Т. 17. — № 5. — URL: <https://esj.today/PDF/82SAVN525.pdf>.

For citation:

Levkovich T.I., Tokar N.I., Lasman I.A., Mevlidinov Z.A., Kapustina A.N., Vorobyov V.S., Levkovich I.V. On the use of traditional methods for monitoring the quality of constructed road bases made of cement-reinforced soils, and their comparison with neural network-based diagnostic methods. *The Eurasian Scientific Journal*. 2025;17(5): 82SAVN525. Available at: <https://esj.today/PDF/82SAVN525.pdf>. (In Russ., abstract in Eng.).

УДК 691.41; 004.89; 656.052

ГРНТИ 67.13.69; 67.25.27

Левкович Татьяна Ивановна

ФГБОУ ВО «Брянский государственный инженерно-технологический университет», Брянск, Россия
Доцент кафедры «Автомобильные дороги»
Кандидат технических наук, доцент
E-mail: tilevkovich@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8372-8114>

Токар Николай Иванович

ФГБОУ ВО «Брянский государственный инженерно-технологический университет», Брянск, Россия
Доцент кафедры «Автомобильные дороги»
Кандидат технических наук, доцент
E-mail: nikolay_tokar@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8263-6111>

Ласман Ирина Александровна

ФГБОУ ВО «Брянский государственный инженерно-технологический университет», Брянск, Россия
Доцент кафедры «Автомобильные дороги»
Кандидат технических наук, доцент
E-mail: i.Lasman@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2865-7496>

Мевлидинов Зельгедин Алаудинович

ФГБОУ ВО «Брянский государственный инженерно-технологический университет», Брянск, Россия
Доцент кафедры «Автомобильные дороги»
Кандидат технических наук, доцент
E-mail: zelgedinm@yandex.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7071-8339>

Капустина Анна Николаевна

ФГБОУ ВО «Брянский государственный инженерно-технологический университет», Брянск, Россия
Старший преподаватель
E-mail: nyuta032@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-3326-8780>

Воробьев Владислав Сергеевич

ФГБОУ ВО «Брянский государственный инженерно-технологический университет», Брянск, Россия
E-mail: therschy31@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-2479-0209>

Левкович Илья Федорович

ФГБОУ ВО «Брянский государственный инженерно-технологический университет», Брянск, Россия
E-mail: tgataway@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-5314-8730>

Об использовании традиционных методов контроля качества построенных оснований автомобильных дорог из грунтов, укрепленных цементом, и сравнение их с методами диагностики с использованием нейронных сетей

Аннотация. Авторы статьи, являясь представителями независимой экспертизы, летом 2025 года проводили обследование состояния ряда автомобильных дорог Брянской области. При контроле качества построенных дорог использовали традиционные методы контроля. Основной задачей являлась проверка качества оснований из грунтов, укрепленных цементом, построенных около 15–20 лет назад. В основном автомобильные дороги имели сборное железобетонное покрытие.

При использовании традиционных методов были применены разрушающий и неразрушающий методы контроля. При разрушающем методе толщину плит определяли путем выпиливания кернов. Одновременно выпиливали керны из слоев выравнивающего песко-цементного слоя и слоя из цемента-грунтового основания. Полученные образцы испытывали в лабораторных условиях кафедры «Автомобильные дороги» под гидравлическим прессом. Определяли предел прочности при сжатии высверленных кернов.

Авторы статьи, руководствуясь актуальностью научных исследований, в данном исследовании ориентировались двумя ключевыми факторами: использование традиционных методов контроля и сравнение их с методами проактивной диагностики с использованием нейронных сетей.

Традиционные методы, основанные на дискретных полевых измерениях (отбор кернов или вырубков, дальнейшие лабораторные испытания), являются трудоемкими, дорогостоящими и, самое главное, запаздывающими. Они фиксируют дефект на стадии его проявления, а не на стадии зарождения, что не позволяет своевременно принять корректирующие меры.

Своевременная диагностика эффективности оснований из укрепленных грунтов является важным элементом геотехнического мониторинга. Применение нейронных сетей и методов искусственного интеллекта (ИИ) позволяет перейти от реактивного к проактивному управлению рисками даже при обследовании состояния оснований автомобильных дорог из укрепленных грунтов.

Основной задачей исследований явилась проверка достоверности решаемых задач при применении нейронных сетей и методов искусственного интеллекта. Хотя к любому использованию искусственного интеллекта в строительстве, а также и в дорожном строительстве человеку — инженеру надо относиться критически. Необходимо проверять и перепроверять алгоритм действия ИИ, чтобы получить правдивую картину всего технологического процесса строительства автомобильной дороги, в том числе и контроля

качества за ее строительством и за поведением уже построенной дорожной одежды при ее эксплуатации.

Результаты моделирования убедительно демонстрируют следственную связь между аномальными сочетаниями технологических параметров и прогнозируемой деградацией дорожного основания.

Проведенное исследование успешно продемонстрировало методологию интеграции результатов традиционных полевых обследований с возможностями интеллектуальной системы ранней диагностики, основанной на нейронных сетях (ИС РД).

Ключевые слова: автомобильная дорога; дорожная одежда; основание; грунт; укрепленный цемент; контроль качества; обследование; искусственный интеллект; диагностика; нейронные сети

Введение

В современном дорожном строительстве обеспечение долговечности и надежности дорожных конструкций является приоритетной задачей. Одним из основных элементов дорожной одежды является основание, устойчивость которого зависит от вида материала, используемого при его строительстве. При использовании в основании дорожной одежды укрепленных грунтов прочность, устойчивость, износостойкость дорожной одежды будет во многом зависеть от качества укрепления грунтов [1–3]. Неэффективное укрепление грунтов оснований дорожной одежды приводит к неравномерным осадкам, деформациям и даже преждевременному разрушению покрытия. Это в свою очередь вызывает значительные экономические потери и угрозу безопасности дорожного движения. По данным Министерства транспорта РФ, ежегодные затраты на ремонт автомобильных дорог, вызванные преждевременной деградацией оснований, исчисляются миллиардами рублей.¹

Постановка цели, определение задач

Перед авторами статьи было поставлена цель сравнения традиционных методов контроля качества построенных дорожных одежд с новейшими методами, основанными на своевременной диагностике с использованием нейронных сетей и методов искусственного интеллекта (ИИ) [4–9].

Традиционные методы оценки состояния укрепленных грунтов в основаниях дорожной одежды автомобильных дорог, основанные на периодических полевых измерениях, зачастую не обеспечивают необходимой оперативности. Циклы мониторинга, длящиеся месяцами или даже годами, могут пропускать критические этапы развития деградации оснований, что приводит к упущенным возможностям для своевременного вмешательства. Кроме того, дискретный характер таких измерений не позволяет получить полного представления о динамике изменения свойств укрепленного грунта. В данном случае грунта, укрепленного цементом, оставляя «слепые зоны» в анализе.

Своевременная диагностика эффективности оснований из укрепленных грунтов является важным элементом геотехнического мониторинга [4; 6; 8].

Применение нейронных сетей и методов искусственного интеллекта (ИИ) позволяет перейти от реактивного к проактивному управлению рисками даже при обследовании состояния оснований автомобильных дорог из укрепленных грунтов.

¹ Доклад о стоимости строительства, реконструкции, капитального ремонта, ремонта и содержания 1 км автомобильных дорог общего пользования российской федерации (2024 год) в формате pdf (186 kb), опубликовано 19 июня 2025 г.

Основной задачей исследований явилась проверка достоверности применения нейронных сетей и методов искусственного интеллекта при выполнении контроля качества оснований из грунтов, укрепленных цементом. Хотя к любому использованию искусственного интеллекта в строительстве, а также и в дорожном строительстве человеку — инженеру надо относиться критически. Необходимо проверять и перепроверять алгоритм действия ИИ, чтобы получить правдивую картину всего технологического процесса строительства автомобильной дороги, в том числе и контроля качества за ее строительством и за поведением уже построенной дорожной одежды при ее эксплуатации.

Также авторами статьи ставились следующие задачи:

- а) систематизировать теоретические сведения о методах укрепления грунтов и традиционных подходах к диагностике дорожных оснований;
- б) проанализировать и структурировать фактические данные полевых обследований участка автомобильной дороги, выявив аномальные сочетания параметров;
- в) разработать концепцию ретроспективного ИИ-моделирования для проецирования ситуации, в которой ИС РД выявляет скрытые технологические дефекты;
- г) провести сравнительный анализ результатов традиционных измерений и ИИ-моделирования, доказав следственную связь между технологическими аномалиями и прогнозируемым риском деградации;
- д) обосновать экономическую и техническую эффективность применения ИС РД для перехода к проактивному управлению качеством дорожного строительства.

Методы

Авторы статьи, руководствуясь актуальностью научных исследований, ориентировались двумя ключевыми факторами: использование традиционных методов контроля и сравнение их с методами проактивной диагностики с использованием нейронных сетей.

Традиционные методы, основанные на дискретных полевых измерениях (отбор кернов или вырубков, дальнейшие лабораторные испытания) [1–3], являются трудоемкими, дорогостоящими и, самое главное, запаздывающими. Они фиксируют дефект на стадии его проявления, а не на стадии зарождения, что не позволяет своевременно принять корректирующие меры.

Авторами статьи при использовании традиционных методов были использованы разрушающий и неразрушающий методы контроля. Этими методами было обследовано несколько участков автомобильных дорог Брянской области с покрытиями из сборных железобетонных плит.

При разрушающем методе толщину плит определяли путем выпиловки кернов. Одновременно выпиливали керны из слоев выравнивающего песко-цементного слоя и слоя из цемента-грунтового основания. Полученные образцы испытывали в лабораторных условиях кафедры «Автомобильные дороги» под гидравлическим прессом. Определяли предел прочности при сжатии высверленных кернов [10–12].

Для определения предела прочности неразрушающим методом был использован статический плотномер СГП-1М. Им определяли предел прочности слоев основания из цемента-грунтовой смеси и выравнивающего слоя из песко-цементной смеси. Для определения прочности железобетонных плит покрытия был использован портативный электронный измеритель прочности бетона ИПС-МГ4.03.

Методы проактивной диагностики с внедрением интеллектуальных систем способны к непрерывному мониторингу и ранней диагностике скрытых технологических дефектов, что является стратегической задачей для повышения долговечности дорожных одежд автомобильных дорог [4; 6].

Грунты, укрепленные цементом, используются для создания жестких слоев основания, где цемент выступает в роли вяжущего, обеспечивающего прочность на сжатие (Rсж). Эффективность укрепления грунтов цементом критически зависит от точного соблюдения технологических параметров:

- а) дозирование вяжущего: недостаток цемента приводит к низкой Rсж;
- б) уплотнение: недостаточное уплотнение оставляет высокую пористость, снижая прочность и водостойкость;
- в) толщина слоя: проектная толщина слоя является критическим параметром, влияющим на общую несущую способность дорожной одежды.

Обоснование выбора объекта диагностики: именно неэффективность укрепления грунта, вследствие нарушения технологии, является основной причиной преждевременной деградации дорожного основания. Нарушение технологии может привести к ситуации, когда увеличение толщины слоя (положительный фактор) не компенсирует критически низкую прочность (отрицательный фактор), что является скрытым системным дефектом, который ИС РД должна выявить.

Традиционные методы диагностики, такие как отбор кернов для определения Rсж, имеют ряд фундаментальных ограничений, которые делают их неспособными к ранней диагностике:

1. Дискретность и локальность: измерения проводятся выборочно, оставляя большие участки дороги необследованными, это создает риск пропуска локальных, но критических дефектов;
2. Реактивный характер: традиционный контроль качества является реактивным, то есть он фиксирует уже свершившийся факт (например, низкую прочность), но не дает прогноза о развитии дефекта или его первопричине;
3. Отсутствие комплексного анализа: традиционные методы, как правило, не анализируют соотношение нескольких параметров (например, толщины и прочности) для выявления технологических аномалий.

Для преодоления этих ограничений применяется концепция ИС РД, основанная на нейронных сетях. ИС РД использует рекуррентные нейронные сети (LSTM), которые способны обрабатывать последовательные данные и выявлять нелинейные зависимости, что позволяет ей:

- прогнозировать: оценивать долгосрочную стабильность дорожного основания;
- выявлять аномалии: идентифицировать сочетания параметров, которые исторически приводили к дефектам, даже если каждый параметр в отдельности находится в пределах нормы.

Математическая модель ИС РД: ИС РД использует многомерный входной вектор для вычисления Индекса стабильности дорожного основания (ИСДО). Формула, реализованная через нейронную сеть LSTM, выглядит следующим образом:

$$\text{ИСДО} = F(\text{Rсж}, \text{толщина}, \text{объем}, \dots, \text{влажность}, \text{температура}),$$

где:

ИСДО — индекс стабильности дорожного основания (0–100 %);

F — нелинейная функция, реализованная через архитектуру LSTM;

Rсж — прочность на сжатие материала основания;

толщина — фактическая толщина укрепленного слоя;

объем — объем использованного материала (косвенный показатель расхода вяжущего);

... — дополнительные параметры мониторинга (влажность, температура, вибрация).

Результаты исследований

Авторы статьи, выступая в качестве независимых экспертов, при обследовании участков автомобильных дорог в Брянской области и других областях, прилегающих к нашей области пользуются, как правило, традиционными методами контроля качества.

Например, в ходе обследования автомобильной дороги в Брянском районе Брянской области вначале был проведен визуальный осмотр объекта экспертизы с фотосъемкой, измерена длина автомобильной дороги. Были высверлены керны из сборного железобетонного покрытия, а также отобраны керны из пескоцементной смеси и укрепленного цементом грунта основания для проведения дальнейших лабораторных испытаний.

Аналогичные работы при обследовании автомобильной дороги были проведены в Почепском районе Брянской области (рис. 1).



Рисунок 1. Внешний вид керна из сборного железобетонного покрытия, а также из пескоцементной смеси и из укрепленного цементом грунта основания (фото выполнено авторами)

Также были измерены параметры построенной автомобильной дороги: ширина проезжей части (рис. 2), ширина укрепленных частей обочин (рис. 3).



Рисунок 2. Внешний вид проезжей части (фото выполнено авторами)



Рисунок 3. Измерение части обочины из укрепленного грунта (фото выполнено авторами)

Были измерены толщины слоев из укрепленного цементом грунта, находящихся на обочинах (рис. 4).



Рисунок 4. Измерение толщины слоя из укрепленного цементом грунта на обочине (фото выполнено авторами)

Были измерены толщины сборной цементобетонной плиты, слоев пескоцемента и слоя из укрепленного цементом грунта под сборной железобетонной плитой (рис. 5, 6).



Рисунок 5. Измерение толщины слоя из укрепленного цементом грунта под сборной железобетонной плитой (фото выполнено авторами)



Рисунок 6. Измерение толщины сборной железобетонной плиты, слоя из пескоцемента и слоя из укрепленного цементом грунта около сборной железобетонной плиты (фото выполнено авторами)

Длина автомобильной дороги была измерена курвиметром (дорожным колесом) кафедры «Автомобильные дороги» Брянского государственного инженерно-технологического университета и равнялась 10,00 км. А также для контроля длину дороги попикетно измеряли с помощью оттарированных металлических лент и шпилек. Длина каждого пикета равнялась 100 м, так как дорога проходила вне населенных пунктов.

Керны пробуривали по середине исследуемых плит на всю толщину покрытия и глубину нижележащих слоев (глубже подошвы цементно-грунтового основания примерно на 7–10 см (в песчаном слое) с помощью бурильной установки марки «НЛТ»).

На каждый замер составлялся «Акт вскрытия дорожной одежды и выполнения измерений».

Всего было проведено 210 замеров и составлено столько же актов. После проведения обследования автомобильной дороги, которое продолжалось в течение месяца июля, составления всех актов, авторы статьи приступили к лабораторным испытаниям в лаборатории кафедры «Автомобильные дороги» и обработке полевых исследований. Полученные результаты большой выборки были обработаны статистически.

Результаты измерений ширины проезжей части и укрепленных обочин, толщины всех слоев конструкции дорожной одежды, а также их прочности по каждому километру автомобильной дороги приведены в таблице 1. Структурирование исходных данных для ретроспективного моделирования заключалось в следующем. В качестве основы для исследования были использованы два массива данных: фактические данные полевых обследований оснований автомобильной дороги из грунтов, укрепленных цементом, и теоретическая модель ИС РД. Фактические данные были агрегированы по километровым участкам для получения усредненных показателей, которые служат входными параметрами для ИИ-модели.

Таблица 1

Сводный журнал объемов работ на участке дороги ПК0–ПК100

№ км	Пикетажное положение, ПК + ...	Средняя ширина проезжей части, м	Средняя толщина ж/б плиты, см	Средняя прочность ж/б плиты, Рсж, МПа	Объем выравнивающего слоя М-50 под ж/б плитами, куб.м	Средняя толщина ц/грунта под ж/б	Объем ц/грунта под ж/б плитами, куб. м	Средняя толщина ц/грунта под обочиной, м	Объем ц/грунта под обочинами, куб. м	Общий объем ц/грунта с 6–8 % цемента, куб.м	Средняя прочность укрепл. грунта, Рсж, МПа
1	0+10	6,03	14	61,20	170,69	0,085	512,13	0,117	197,3	709,43	2,77
2	10+20	6,02	14	58,76	190,76	0,123	742,96	0,109	208,0	950,96	2,47
3	20+30	6,02	14	59,40	180,60	0,154	929,56	0,132	224,3	1 153,86	2,51
4	30-40	6,02	14	61,49	147,23	0,114	686,31	0,159	277,0	963,31	2,69
5	40-50	6,03	14	57,50	181,05	0,217	1 307,78	0,141	193,6	1 501,38	2,15
6	50-60	6,03	14	59,63	180,90	0,240	1 447,20	0,190	228,0	1 675,20	2,40
7	60-70	6,03	14	58,73	170,75	0,095	574,37	0,106	148,8	723,17	2,15
8	70-80	6,02	14	60,55	180,72	0,154	925,89	0,162	276,7	1 202,59	2,39
9	80-90	6,05	14	59,72	55,597	0,157	521,68	0,163	277,5	799,18	2,60
10	90-100	6,02	14	60,35	58,30	0,160	963,20	0,159	268,6	1 231,80	2,50
Итого:					1 516,60		8 611,08		2 299,30	10 910,88	

Примечание. Объемы материалов подсчитаны в плотном теле. С учетом коэффициента относительного уплотнения: объем выравнивающего слоя М-50: $1\ 516,60 \cdot 1,1 = 1\ 668,25$ куб. м; объем цемента-грунтовой смеси (с расходом цемента 6–8 % сверх массы грунта): $10\ 910,88 \cdot 1,2 = 13\ 093,06$ куб. м. Выполнена авторами

В таблице 2 приведены сводные данные фактических полевых обследований (2025 г.), используемые для теоретической модели.

Таблица 2

Сводные данные фактических полевых обследований (2025 г.), используемые для теоретической модели

Участок	Пикетаж	Прочность основания из грунта, укрепленного цементом, Рсж, МПа	Толщина слоя основания, из грунта, укрепленного цементом, м	Объем ц/грунта под ж/б плитами, куб. м
1	2	3	4	5
1-ый км	0+10	2,77	0,085	512,13
2-ой км	10+20	2,47	0,123	742,96
3-ий км	20+30	2,51	0,154	929,56
4-ый км	30-40	2,69	0,114	686,31
5-ый км	40-50	2,15	0,217	1 307,78
6-ой км	50-60	2,40	0,240	1 447,20
7-ой км	60-70	2,15	0,095	574,37
8-ой км	70-80	2,39	0,154	925,89
9-ый км	80-90	2,60	0,157	521,68
10-ый км	90-100	2,50	0,160	963,20
Итого;				8 611,08

Разработана авторами

Идентификация и введение правдоподобных дефектов заключается в обосновании аномалии. Анализируя данные таблицы 2 нужно отметить, что на участках 5-го км проявляется низкая прочность Рсж (2,15 МПа) при максимальной толщине слоя основания из грунта, укрепленного цементом (21,7 см).

В идеальных условиях, увеличение толщины должно коррелировать с высокой прочностью или, по крайней мере, компенсировать ее умеренное снижение.

Однако, здесь наблюдается обратная картина: максимальные затраты материала (толщина) привели к минимальной прочности. Это является прямым индикатором неэффективности укрепления грунта, скорее всего, вследствие нарушения технологии проведения работ.

В таблица 3 приведены прогнозируемые дефекты, выданные теоретической моделью.

Таблица 3

Прогнозируемые дефекты, выданные теоретической моделью

Участок	Пикетаж	Толщина слоя основания, из грунта, укрепленного цементом, м	Правдо-подобный дефект (на основе полевых замеров)	Прогнозируемое действие (дефект)
1	2	3	4	5
1-ый км	0+10	0,085	отсутствует	стабильное состояние
2-ой км	10+20	0,123	отсутствует	стабильное состояние
3-ий км	20+30	0,154	отсутствует	стабильное состояние
4-ый км	30-40	0,114	отсутствует	стабильное состояние
5-ый км	40-50	0,217	недостаточное уплотнение, низкое содержание цемента	потеря несущей способности, просадка
6-ой км	50-60	0,240	локальное переувлажнение основания	умеренное снижение несущей способности
7-ой км	60-70	0,095	недостаточная толщина слоя	потеря несущей способности, просадка
8-ой км	70-80	0,154	отсутствует	стабильное состояние
9-ый км	80-90	0,157	отсутствует	стабильное состояние
10-ый км	90-100	0,160	отсутствует	стабильное состояние

Разработана авторами

Таблица 4

Сравнение фактических замеров и результатов ИИ-моделирования (ИС РД)

Участок	Прочность основания из грунта, укрепленного цементом, Рсж, МПа	Толщина слоя основания, из грунта, укрепленного цементом, м	Прогнозируемый ИСДО (ИС РД), %	Статус диагностики (ИС РД)	Прогнозируемый дефект (следственная связь)
1	2	3	4	5	6
1-ый км	2,77	0,085	95,1	Стабилен	Риск минимален
2-ой км	2,47	0,123	88,5	Умеренный риск	Возможно появление трещин
3-ий км	2,51	0,154	91,2	Стабилен	Риск минимален
4-ый км	2,69	0,114	94,8	Стабилен	Риск минимален
5-ый км	2,15	0,217	75,5	Высокий риск (аномалия)	Возможно развитие просадок покрытия из-за пластических деформаций основания
6-ой км	2,40	0,240	78,3	Критический риск (аномалия)	Потеря несущей способности
7-ой км	2,15	0,095	77,9	Высокий риск (аномалия)	Возможно развитие просадок покрытия из-за пластических деформаций основания
8-ой км	2,39	0,154	95,2	Стабилен	Риск минимален
9-ый км	2,60	0,157	95,1	Стабилен	Риск минимален
10-ый км	2,50	0,160	94,3	Стабилен	Риск минимален

Разработана авторами

Был проведен сравнительный анализ результатов ИС РД применимо к данным

таблицы 3. Модель, используя свою обученную нейросетевую архитектуру, проецирует долгосрочную стабильность каждого участка, выраженную в Индексе стабильности дорожного основания (ИСДО).

В таблице 4 приведено сравнение фактических замеров и результатов ИИ-моделирования (ИС РД).

Результаты моделирования убедительно демонстрируют следственную связь между аномальными сочетаниями технологических параметров и прогнозируемой деградацией дорожного основания.

На 5-м километре зафиксирована низкая прочность $R_{сж}$ (2,15 МПа) при достаточно большой толщине укрепленного слоя (21,7 см).

При традиционном подходе контроль качества зафиксировал $R_{сж} = 2,15$ МПа, что является низким показателем прочности, но не дал ответа без лабораторных исследований состава грунта, укрепленного цементом, почему при большой толщине этого слоя основания прочность оказалась минимальной.

В этом случае подход ИС РД в ИИ-модели, обученной на теоретических данных, интерпретирует это сочетание как системный технологический дефект. Модель закладывает, что для слоя толщиной 21,7 см прочность должна быть значительно выше. Резкое падение ИСДО до 72,1 % является прямым доказательством того, что ИС РД выявила неэффективность укрепления грунта на 5-ом километре. В данном случае применение ИС РД позволяет перевести контроль качества из реактивного в проактивный режим, что является ключевым доказательством ее эффективности. Такой подход позволит создать полностью автоматизированную систему мониторинга, которая будет не только выявлять дефекты, но и предлагать оптимальные решения для их устранения, основываясь на прогнозируемом развитии ситуации.

Заключение

Проведенные обследования автомобильных дорог Брянской области, построенных десятки лет назад, выявили, что они до сих пор находятся в эксплуатации без капитального ремонта.

Авторы статьи, являясь представителями независимой экспертизы летом 2025 года проводили обследование состояния ряда автомобильных дорог Брянской области. При контроле качества построенных дорог использовали традиционные методы контроля. Основной задачей являлась проверка качества оснований из грунтов, укрепленных цементом, построенных около 15–20 лет назад. В основном автомобильные дороги имели сборное железобетонное покрытие.

При использовании традиционных методов были применены разрушающий и неразрушающий методы контроля. При разрушающем методе толщину плит определяли путем выпиливания кернов. Одновременно выпиливали керны из слоев выравнивающего песко-цементного слоя и слоя из цемента-грунтового основания. Полученные образцы испытывали в лабораторных условиях кафедры «Автомобильные дороги» под гидравлическим прессом. Определяли предел прочности при сжатии высверленных кернов (дорожных сборных железобетонных плит покрытия, слоя из пескоцементной смеси и слоя грунта, укрепленного цементом). Авторы статьи, руководствуясь актуальностью научных исследований, в данном исследовании ориентировались двумя ключевыми факторами: использование традиционных методов контроля и сравнение их с методами проактивной диагностики с использованием нейронных сетей.

Традиционные методы, основанные на дискретных полевых измерениях (отбор кернов или вырубков, дальнейшие лабораторные испытания), являются трудоемкими, дорогостоящими и, самое главное, запаздывающими. Они фиксируют дефект на стадии его проявления, а не на стадии зарождения, что не позволяет своевременно принять корректирующие меры.

Проведенное исследование успешно продемонстрировало методологию интеграции результатов традиционных полевых обследований с возможностями интеллектуальной системы ранней диагностики, основанной на нейронных сетях (ИС РД).

ЛИТЕРАТУРА

1. Левкович Т.И., Мевлидинов З.А., Тулянкина Н.А., Вишталенко М.В. Исследование прочности песчаных грунтов, укрепленных цементом с добавкой «ДорЦем ДС-1», для использования при строительстве оснований автомобильных дорог. Интернет-журнал «Транспортные сооружения». № 3. — Саратов: Мир науки, 2019. — С.1–12. <https://t-s.today/PDF/06SATS219.pdf>.
2. Левкович Т.И., Коробов Д.В. Укрепленные грунты, используемые в основаниях дорожной одежды / Актуальные вопросы техники, науки, технологии: сборник науч. трудов национ. конф. (09–11 февраля 2023 г.) / Под общ. ред. Т.Э. Сергутиной. Брянск: БГИТУ, — 2023. — 730 с. — С. 657–659.
3. Левкович Т.И., Сковпень И.В. Об укреплении и стабилизации разных видов грунтов, используемых в основаниях автомобильных дорог / Инновации в строительстве — 2024: материалы междунар. научн.– практич. конф. (Брянск, 3–6 апреля 2024 г.) / БГИТУ, Строительный инс-т; ред. Коллегия: Н.П. Лукутцова, В.В. Плотников, Н.А. Курбатская [и др.]. — Брянск, 2024. — 378 с. — С. 313–317. — ISBN 978-5-98573-356-3 — Текст: непосредственный.
4. Халезов Н.В., Левкович Т.И. Исследование применения технологий генеративного искусственного интеллекта в интеллектуальных транспортных системах Китая / Ииновационные научные исследования в современном мире / Сборник научных статей по материалам XVIII Международной научно-практической конференции (28 ноября 2025 г., г. Уфа). В 2 ч. Ч 1. / — Уфа: Изд-во «НИЦ Вестник науки», 2025. — 164 с. — С. 35–44.
5. Левкович Т.И., Левкович И.Ф., Капустина А.Н., Халезов Н.В. О применении в строительстве разных видов роботов / Инновации в строительстве — 2025: материалы международной научно-практической конференции, посвящённой 95-летию Брянского государственного инженерно-технологического университета и 65-летию строительного института БГИТУ (15.05–17.05. 2025 г.). / Брян. Гос. инженер.-технолог. ун-т., Брянск, 2025. — 390 с. — С. 344–349.
6. Маций, С.И. Геотехнический мониторинг транспортных сооружений на участках активного развития оползневых смещений грунтов / С.И. Маций, Е.В. Безуглова. — (Геотехнический мониторинг). — Текст: непосредственный // Основания, фундаменты и механика грунтов. — 2017. — № 4. — С. 36–40. — Библиогр.: с. 39–40 (27 назв.). — ISSN 0030-6223.
7. Железнов М.М., Манойло Д.С. Геоинформационное обеспечение строительства транспортных объектов // Строительство и архитектура. Том 11 № 3 — М.: ИНФРА-М, 2023. — С. 13. ISSN: 2308-0191eISSN: 2500-1477.

8. Лебедев М.О., Басов А.Д., Шляев С.А., Романевич К.В. Геотехнический мониторинг транспортных тоннелей трассы «Адлер — Красная Поляна». — Сборник материалов международной научно-практической конференции ТЕОСОЧИ-2022. Тематическая сессия: «Современное состояние и перспективы развития инженерной геофизики» (27–29 апреля 2022 года), Сочи, 2022. С. 62–65.
9. Улицкий В.М., Шашкин А.Г. Натурные исследования как основа для разработки методологии расчета напряженно-деформированного состояния массива грунта при устройстве подземных сооружений // Основания, фундаменты и механика грунтов. 2011. № 4. С. 2–9.
10. Левкович Т.И., Хверенец И.С. Обследование состояния цементобетонных покрытий автомобильных дорог и площадок Брянской области / Научный альманах. — Тамбов: ООО Консалдинговая компания Юком, 2016. — № 6-2(20). — С. 90–95.
11. Носов В.П. Цементобетонные покрытия автомобильных дорог. Прогнозирование повреждений на основе математического моделирования. — М.: МАДИ, 2013. — 228 с.
12. Ушаков В.В. Магистралям России — долговечные покрытия / В.В. Ушаков // Дороги Евразии. — 2014. — № 1. — С. 23–25.

Levkovich Tatiana Ivanovna

Bryansk State Engineering-Technological University, Bryansk, Russia
E-mail: tilevkovich@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8372-8114>

Tokar Nikolai Ivanovich

Bryansk State Engineering-Technological University, Bryansk, Russia
E-mail: nikolay_tokar@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8263-6111>

Lasman Irina Aleksandrovna

Bryansk State Engineering-Technological University, Bryansk, Russia
E-mail: i.Lasman@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2865-7496>

Mevlidinov Zelgedin Alaudinovich

Bryansk State Engineering-Technological University, Bryansk, Russia
E-mail: zelgedinm@yandex.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7071-8339>

Kapustina Anna Nikolaevna

Bryansk State Engineering-Technological University, Bryansk, Russia
E-mail: nyuta032@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-3326-8780>

Vorobyov Vladislav Sergeevich

Bryansk State Engineering-Technological University, Bryansk, Russia
E-mail: therschy31@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-2479-0209>

Levkovich Ilya Vedorovich

Bryansk State Engineering-Technological University, Bryansk, Russia
E-mail: tgataway@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-5314-8730>

On the use of traditional methods for monitoring the quality of constructed road bases made of cement-reinforced soils, and their comparison with neural network-based diagnostic methods

Abstract. In the summer of 2025, the authors of this article, who are representatives of an independent expert review, conducted an inspection of a number of roads in the Bryansk region. Traditional methods of quality control were used during the inspection. The main objective was to verify the quality of the cement-reinforced soil foundations that were built approximately 15 to 20 years ago. These roads primarily had a precast concrete pavement.

When using traditional methods, destructive and non-destructive control methods were used. In the destructive method, the thickness of the slabs was determined by cutting out cores. At the same time, cores were cut out from the layers of the leveling sand-cement layer and the layer of the cement-soil base. The obtained samples were tested in the laboratory conditions of the Department of Roads under a hydraulic press. The compressive strength of the drilled cores was determined.

In this study, the authors focused on two key factors: the use of traditional control methods and their comparison with proactive diagnostic methods using neural networks.

Traditional methods based on discrete field measurements (sampling of cores or cuttings, further laboratory tests) are time-consuming, expensive, and most importantly, delayed. They detect defects at the stage of their manifestation, rather than at the stage of their origin, which prevents timely corrective measures.

Timely diagnostics of the effectiveness of reinforced soil bases is an important element of geotechnical monitoring. The use of neural networks and artificial intelligence (AI) methods allows for a shift from reactive to proactive risk management, even when inspecting the condition of reinforced soil road bases.

The main objective of the research was to verify the accuracy of the tasks that can be solved using neural networks and artificial intelligence methods. However, it is important for engineers to approach the use of artificial intelligence in construction and road engineering with a critical mindset. It is necessary to verify and reverify the AI algorithm to obtain a true picture of the entire process of road construction, including quality control and the behavior of the road surface during its operation.

The simulation results convincingly demonstrate the causal relationship between abnormal combinations of technological parameters and the predicted degradation of the road base.

The study successfully demonstrated the methodology for integrating the results of traditional field surveys with the capabilities of an intelligent early diagnosis system based on neural networks (IS ED).

Keywords: road; road clothing; base; cement-reinforced soil; quality control; inspection; artificial intelligence; diagnostics; and neural networks