Интернет-журнал «Транспортные сооружения» <https://t-s.today>
Russian journal of transport engineering

2019, №4, Том 6 / 2019, No 4, Vol 6 <https://t-s.today/issue-4-2019.html>

URL статьи: <https://t-s.today/PDF/13SATS419.pdf>

DOI: 10.15862/13SATS419 (<http://dx.doi.org/10.15862/13SATS419>)

Ссылка для цитирования этой статьи:

Каменчуков А.В., Лопашук А.В., Лопашук В.В., Светенок В.С., Украинский И.С. Совершенствование конструкции земляного полотна при строительстве водопропускных труб // Интернет-журнал «Транспортные сооружения», 2019 №4, <https://t-s.today/PDF/13SATS419.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. DOI: 10.15862/13SATS419

For citation:

Kamenchukov A.V., Lopashuk A.V., Lopashuk V.V., Svetenok V.S., Ukrainskiy I.S. (2019). Improving the design of the subgrade in the construction of culverts. *Russian journal of transport engineering*, [online] 4(6). Available at: <https://t-s.today/PDF/13SATS419.pdf> (in Russian). DOI: 10.15862/13SATS419

УДК 625.7/.8

ГРНТИ 67.03

Каменчуков Алексей Викторович

ФГБОУ ВО «Тихоокеанский государственный университет», Хабаровск, Россия
Заведующий кафедрой «Автомобильные дороги»
Кандидат технических наук, доцент
E-mail: 006641@pnu.edu.ru

РИНЦ: https://www.elibrary.ru/author_profile.asp?id=767839

Лопашук Андрей Викторович

ФГБОУ ВО «Тихоокеанский государственный университет», Хабаровск, Россия
Доцент кафедры «Автомобильные дороги»
Кандидат технических наук
E-mail: 007341@pnu.edu.ru

РИНЦ: https://www.elibrary.ru/author_profile.asp?id=1040487

Лопашук Виктор Владимирович

ФГБОУ ВО «Тихоокеанский государственный университет», Хабаровск, Россия
Доцент кафедры «Автомобильные дороги»
Кандидат технических наук, доцент
E-mail: 000174@pnu.edu.ru

РИНЦ: https://www.elibrary.ru/author_profile.asp?id=1035516

Светенок Виктор Сергеевич

ФГБОУ ВО «Тихоокеанский государственный университет», Хабаровск, Россия
Аспирант
E-mail: v.svetenok@mail.ru

Украинский Илья Сергеевич

ФГБОУ ВО «Тихоокеанский государственный университет», Хабаровск, Россия
Доцент кафедры «Автомобильные дороги»
Кандидат технических наук
E-mail: 006012@pnu.edu.ru

РИНЦ: https://www.elibrary.ru/author_profile.asp?id=548294

Совершенствование конструкции земляного полотна при строительстве водопропускных труб

Аннотация. В статье рассмотрены вопросы оценки и повышения качества и надежности работы водопропускных труб и системы дорожного водоотвода на дорогах с грунтовыми и переходными типами покрытия. Авторами выполнен ряд полевых исследований, направленных на оценку эксплуатационного состояния водопропускных труб и дорожного покрытия над ними на дорогах территориального значения в Хабаровском крае. Детально рассмотрены вопросы влияния качества водопропускных труб на состояние дорожного покрытия. Систематизированы и проанализированы данные о влиянии наличия (отсутствия) дефектов тела водопропускных труб на качество дорожного покрытия. Данные ранжированы по диаметру отверстия труб и величине защитного слоя, и определена степень влияния качества водопропускной трубы на качество дорожного покрытия в зависимости от толщины защитного слоя. Установлена взаимосвязь между дефектами водопропускных труб и качеством дорожного покрытия. Исходя из результатов математического моделирования построена номограмма зависимости состояния покрытия над водопропускной трубой от толщины засыпки над трубой и состояния водопропускной трубы. В специализированном программном комплексе, методом конечных элементов, выполнена оценка напряженно-деформированного состояния и устойчивости конструкции земляного полотна с водопропускной трубой при действии нормативной статической нагрузки на сооружение. Результаты математического моделирования показали, что наблюдается значительное снижение устойчивости сооружения, особенно при невысоких насыпях. Для повышения устойчивости и уменьшения деформаций сооружения, авторами, предложен способ усиления насыпи земляного полотна в местах устройства, который на основе математического моделирования показал свою высокую эффективность.

Ключевые слова: автомобильная дорога; дорожный водоотвод; водопропускные трубы; эксплуатационное состояние; качество покрытия; дефекты; оценка устойчивости; напряженно-деформированное состояние

Введение

Транспортно-эксплуатационное качество автомобильных дорог напрямую зависит от качества функционирования системы дорожного водоотвода. Задача по обеспечению надежности функционирования системы водоотвода актуальна для дорог со всеми типами покрытия, а особенно для дорог с переходными и низшими типами покрытия (грунтовые покрытия) [1].

Дороги с грунтовыми покрытиями устраивают, как правило, из местных строительных материалов, которые, в большинстве своем, не обладают жесткими связями между частичками грунта, вследствие чего они подвержены повышенному развитию дефектов и деформаций от действия транспортной нагрузки, а также водной и ветровой эрозии. В наибольшей степени дороги с грунтовыми покрытиями подвержены именно водной эрозии, именно поэтому для обеспечения качественного и безопасного движения необходимо в первую очередь ремонтировать те участки дорог, где работоспособность дорожного водоотвода не обеспечена [2–5].

Повышение надежности работы системы дорожного водоотвода позволит обеспечить качественное и безопасное движение по дорогам, а также уменьшить вредное воздействие дороги на окружающую среду, предотвратить заболачивание местности у входа и выхода в водопропускные сооружения.

Так как наиболее важным элементом дорожного водоотвода, к которому предъявляются повышенные эксплуатационные требования, являются водопропускные трубы, то именно от

качества и надежности этого элемента дороги, в конечном итоге, и зависит работоспособность всей системы дорожного водоотвода [5].

Исследование и анализ эксплуатационного состояния железобетонных водопропускных труб на автомобильных дорогах

В период с 2013 по 2016 год выполнены работы по исследованию транспортно-эксплуатационного состояния автомобильных дорог с асфальтобетонным покрытием (III категория). Измерения прочности покрытия дорожных одежд и визуально-инструментальная оценка состояния покрытия проводилась в расчетный и нерасчетный периоды, а именно с апреля по сентябрь [6]. При обследовании учитывалась специфика строительства и эксплуатации дорог на территории Дальнего Востока РФ [7]. В результате была установлена динамика изменения модуля упругости дорожных одежд при отличном ($\blacktriangle$), хорошем ($\blacklozenge$) и удовлетворительном ($\blacksquare$) состоянии покрытия (рисунок 1).

Рисунок 1. Сезонные изменения модуля упругости дорожных одежд (разработано автором)

При детальном анализе и систематизации результатов обследования было установлено, что прочность дорожных одежд над водопропускными трубами значительно ниже, чем прочность по основной дороге (рисунок 2):

- средняя прочность по дороге (в расчетный период) 166 МПа;
- средняя прочность над водопропускными трубами (в расчетный период) 119 МПа.

Анализ результатов обследования показал, что статистически над водопропускными трубами прочность дорожного покрытия на 20–30 % ниже, чем средняя прочность покрытия на дороге и составляет 60 % от нормативной (по дороге 83 % от нормативной).

С целью установления причин снижения прочности покрытия автомобильных дорог над водопропускными трубами выполнена работа по инженерно-диагностическому обследованию искусственных сооружений [5; 6]. В ходе производства работ оценивалось эксплуатационное качество дорожного покрытия (прочность, дефектность), техническое состояние водопропускной трубы и определялась (графическим методом) толщина защитного слоя над трубой.

Рисунок 2. Распределение коэффициента прочности покрытия (разработано автором)

Прочность дорожной одежды оценивалась методом статического нагружения расчетной нормативной нагрузкой круглым штампом. Круглый штамп нагружается в две стадии: пригруза-разгрузки и нормальная нагрузка. На каждой стадии фиксируется прогиб и рассчитывается модуль деформируемости и упругости дорожной одежды.

Дефектность дорожного покрытия и уровень эксплуатационного состояния водопропускных труб оценивался по пятибалльной шкале: от 4 до 5 баллов – отлично; от 3 до 4 баллов – хорошо; от 2 до 3 баллов – удовлетворительно; 2 и менее – неудовлетворительно. Систематизацию дефектов водопропускных труб выполняли по двум категориям: дефекты водопропускных труб и дефекты на покрытии [6; 8]. Результаты систематизации данных представлены в таблице 1.

Таблица 1

**Распределение дефектов водопропускных
труб на дорогах с грунтовыми и переходными покрытиями**

Состояние трубы	Кол-во наблюдений	Количество зафиксированных дефектов*						Состояние покрытия дороги			
		1	2	3	4	5	6	Отл.	Хор.	Удовл.	Неудовл.
Отличное	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Хорошее	15	9	4	2	0	0	4	4	8	2	1
Удовл.	46	19	23	19	29	0	21	3	12	24	7
Неудовл.	38	10	16	20	27	34	10	3	1	7	27
ВСЕГО	99	38	43	41	56	34	43	10	21	33	35

Примечания: 1 – застой воды у оголовков трубы; 2 – локальные разрушения укреплений откосов; 3 – заиливание трубы; 4 – нарушение герметичности стыков; 5 – разбежка звеньев; 6 – частичное разрушение оголовков (разработано автором)

Защитный слой насыпи над водопропускной трубой складывается из толщины защитной призмы над трубой, толщины земляного полотна и толщины конструктивных слоев дорожной одежды. Толщина дорожной одежды над трубами принималась согласно проектной

документации и актам выполненных работ. Необходимо отметить, что в большинстве исследуемых проектных решений по железобетонным водопропускным трубам¹ [9] допускается объединении защитного слоя над трубой с подстилающим слоем основания дорожной одежды, но при расчетах толщина дорожной одежды принималась отдельно от толщины защитного слоя насыпи над трубой. Средняя толщина защитного слоя над водопропускной трубой определялась согласно рисунку 3 по формуле

$$H_z = H_{н.ср} - H_{т.ср} - D - \delta, \quad (1)$$

где $H_{н.ср}$ – средняя рабочая отметка насыпи над трубой, м; $H_{т.ср}$ – средняя отметка лотка трубы, м; D – диаметр или высота отверстия (прямоугольных) водопропускной трубы, м; δ – толщина стенки трубы, м.

Средняя рабочая отметка насыпи над трубой $H_{н.ср}$ определяется как среднее арифметическое между отметками по правой и левой бровки и кромки насыпи и отметкой по оси насыпи над трубой.

H_1 – отметка лотка трубы у входного оголовка, м; H_2 – отметка лотка трубы у выходного оголовка, м; H_3, H_7 – отметки бровки насыпи земляного полотна, м; H_4, H_6 – отметки кромки проезжей части, м; H_5 – отметка оси проезжей части

Рисунок 3. Схема отметок для расчета высоты насыпи над трубой (разработано автором)

Анализ результатов диагностического обследования водопропускных труб позволил сделать предположение (выдвинуть начальную гипотезу) о том, что эксплуатационное качество тела трубы влияет на качество дорожного покрытия над трубой. Однако решение задачи по определению однофакторной взаимосвязи между качеством тела трубы и качеством покрытия не дало однозначного результаты.

Так как водопропускная труба непосредственно не должна воспринимать транспортную нагрузку, то качество покрытия над трубой эквивалентно может зависеть от толщины защитного слоя над трубой (без учета толщины дорожной одежды, которая для каждого проектного решения принимается постоянной).

Материалы диагностика искусственных сооружений на автомобильных дорогах Хабаровского края с грунтовыми и переходными типами представлен в исследовании [2; 5]. Обработка и анализ результатов в программном комплексе STATISTICA 10 показал, что линейная, логарифмическая, экспоненциальная и ряд других однофакторных зависимостей показывают хорошую сходимость результатов по методу наименьших квадратов (рисунок 4). Однако, после анализа дополнительной литературы, авторы сошлись во мнении, что решение однофакторной задачи не способно дать однозначно ответа на вопрос по определению зависимости между качеством покрытия дороги и состоянием водопропускных труб [9–11].

¹ Рекомендации по проектированию и строительству водопропускных сооружений из металлических гофрированных структур на автомобильных дорогах общего пользования с учетом региональных условий (дорожно-климатических зон): ОДМ 218.2.001-2009. – М.: РОСАВТОДОР, 2010. – 147 с.

Рисунок 4. Диаграмма рассеивания величин
и линейная зависимость (разработано автором) [5]

Окончательная гипотеза заключается в следующем: качество дорожного покрытия зависит от толщины защитного слоя насыпи над трубой и наличия дефектов тела трубы.

Анализ результатов диагностики водопропускных труб в программном комплексе STATISTICA 10 подтвердил, что решение однофакторной задачи по определению зависимости между состоянием покрытия над трубой и толщиной защитного слоя над трубой не дает однозначной сходимости результатов по методу наименьших квадратов (коэффициент корреляции для линейной зависимости 0,7435). Поэтому была построена номограмма зависимости состояния покрытия от толщины защитного слоя насыпи над трубой и состояния тела водопропускной трубы. Результаты показали высокую сходимость, с коэффициент корреляции 0,81744 (рисунок 5). Следует отметить, что толщина дорожной одежды над трубами принята согласно проектной документации и не учитывалась при построении номограммы.

Рисунок 5. Номограмма зависимости состояния покрытия
над водопропускной трубой от толщины защитного слоя насыпи над трубой
и состояния тела водопропускной трубы (разработано автором) [5]

Исходя из номограммы (рисунок 4) видно, что толщина засыпки над водопропускной трубой играет важную роль при оценке эксплуатационного состояния дорог с переходными и низшими типами покрытия, дорогах сельскохозяйственного и промышленного назначения, а именно:

- с увеличением засыпки над трубой до 1,20 м и более практически сходит на «нет» влияние эксплуатационного состояния водопропускной трубы при оценке качества и безопасности движения по автомобильной дороге;
- при толщине засыпки над трубой менее 0,40 м (без учета толщины дорожной одежды, которая на дорогах сельскохозяйственного назначения, чаще всего, представлена слоем из щебеночной смеси С1 толщиной 20 см) невозможно обеспечить хорошее состояние покрытия, вследствие повышенного воздействия транспортной нагрузки на сооружение и насыпь земляного полотна.

Наибольшее влияние на качество покрытия над водопропускными трубами оказывают такие дефекты труб как нарушение герметичности стыков и разбежка звеньев трубы (состояние трубы до 3 баллов). Именно наличие этих дефектов резко ухудшает качество покрытия над трубой, если величина насыпи над трубой не превышает 1,00 м над трубой [5].

Повышение надежности работы железобетонных водопропускных труб

Для повышения качества, долговечности и надежности работы системы дорожного водоотвода необходимо уменьшить степень влияния состояния трубы на дорожное покрытие и своевременно выполнять работы по ремонту и содержанию искусственных сооружений [5].

В настоящее время распространены два способа засыпки водопропускных труб: в котловане и в насыпе.

Для установления причин образования деформаций покрытия, тела насыпи и разрушения стыков звеньев водопропускных труб выполнена оценка напряженно-деформированного состояния в программном комплексе GenIDE32.

В качестве расчётной схемы принята осесимметричная конструкция насыпи при суммарной толщине насыпи над трубой 0,50 м (защитный слой 0,30 м, дорожная одежда 0,20 м). Задача решена как грунтово-геологическая среда для плоского деформационного состояния конструкции, без возможности бокового расширения на границах системы.

В качестве расчётных характеристик приняты следующие параметры:

1. Расчётная нагрузка НК-14
2. Схема нагружения согласно п.4.4.5 ГОСТ 32960-2014.
3. Тип воздействия – статическая нагрузка.
4. Характеристика грунтов и материалов приведена в таблице 3.

Таблица 3

Перечень и характеристика слоев

Наименование	Модуль деформации (упругости), МПа	Угол внутреннего трения, град	Коэффициент сцепления, кН	Коэффициент Пуассона
1. Железобетон трубы	$36.5 \cdot 10^3$		850	0.35
2. Щебеночная смесь	55	33	25,4	0.24
3. Суглинок тугопластичный	26	22	20	0.35
4. Супесь пластичная	18	16	17	0.35
5. Песчано-гравийная смесь	45	36	7	0.30

Для каждой схемы нагружения рассчитаны коэффициент устойчивости системы «водопропускная труба – насыпь» (рисунок 6 и рисунок 7).

Рисунок 6. Коэффициент запаса устойчивости насыпи на водопропускных трубах при засыпке в насыпи (разработано автором)

Рисунок 7. Коэффициент запаса устойчивости насыпи на водопропускных трубах при засыпке в котловане (разработано автором)

Как видно из рисунков 6 и 7, под воздействием расчетной нагрузки НК14 устойчивость системы «водопропускная труба – насыпь» теряется (приближается к нулю) на значительной области. Это свидетельствует о том, что независимо от способа устройства засыпки над суммарная толщина насыпи над трубой, равная 50 см (30 см песчано-гравийная смесь, 20 см щебеночная смесь), недостаточна для обеспечения надежной работы системы «водопропускная труба – насыпь» на протяжении всего срока эксплуатации.

Для повышения устойчивости системы рекомендуется усилить грунтовую обойму вокруг трубы путем создания пространственной каркасной структуры за счёт послойной укладки геосотовой системы с наполнителем из щебеночно-песчаных и/или гравийно-песчаных

смесей с непрерывной гранулометрией зерен (не более 80 мм) для образования защитной призмы вокруг трубы (рисунок 8)².

1 – покрытие дорожной одежды; 2 – основание дорожной одежды; 3 – водопротусная труба; 4 – подушка из щебеночно-песчаной и/или гравийно-песчаной смеси; 5 – геосотовая система; 6 – защитный слой из щебеночно-песчаной и/или гравийно-песчаной смеси; 7 – защитный слой, перекрывающий тело трубы

Рисунок 8. Схема усиления системы
«водопротусная труба – насыпь» (разработано автором)

Рекомендуемая схема так же рассчитана в программе GenIDE32 для нагрузки НК14 и способа засыпки трубы в насыпи (рисунок 9).

Рисунок 9. Коэффициент запаса устойчивости насыпи на водопротусных трубах усиленных геосотовыми конструкциями при засыпке в насыпи (разработано автором)

² Патент № 2674738 РФ Способ укрепления земляного полотна автомобильных дорог в местах устройства водопротусных труб / Каменчуков А.В., Ярмолинский В.А. Оpubл. 13.12.2018 Бюл. № 35.

Заключение

На основе анализа практических измерений и теоретических исследований можно однозначно сказать, что существует нелинейная зависимость между эксплуатационным состоянием водопропускной трубы и качеством дорожного покрытия над трубой. При этом следует отметить, что чем больше толщина защитного слоя над искусственным сооружением, тем меньше его эксплуатационное состояние сказывается на качестве покрытия автомобильной дороги.

В результате исследований установлено, что с увеличением засыпки над трубой до 1,20 м и более практически сходит на «нет» влияние эксплуатационного состояния водопропускной трубы при оценке качества и безопасности движения по автомобильной дороге. Так же по результатам математического моделирования выявлено, что при толщине засыпки над трубой менее 0,40 м (без учета толщины дорожной одежды, которая на дорогах сельскохозяйственного назначения, чаще всего, представлена слоем из щебеночной смеси С1 толщиной 20 см) невозможно обеспечить хорошее состояние покрытия, вследствие повышенного воздействия транспортной нагрузки на сооружение и насыпь земляного полотна [5].

Для повышения надёжности и устойчивости работы системы «водопропускная труба – насыпь земляного полотна» предлагается использовать запатентованную методику усиления системы геосинтетическим материалам (геосотами).

Расчеты системы «водопропускная труба – насыпь земляного полотна» усиленной геосотовыми конструкциями по рекомендуемой методики показали, что коэффициент устойчивости насыпи вокруг трубы увеличился в 7–10 раз. Кроме этого, значительно уменьшилось (в 2–3 раза) воздействие нагрузки на трубу, так как она перераспределяется на защитный слой и насыпь вокруг трубы благодаря армирующим и каркасным свойствам геосот.

Уменьшение воздействия нагрузки от транспортного средства на стенки и стыки звеньев водопропускной трубы предотвратит и замедлит развитие преждевременных деформаций и повысит надежность работы системы «водопропускная труба – насыпь земляного полотна».

ЛИТЕРАТУРА

1. Mahgoub, A., El Naggar, H. (2018) Effect of the cross-sectional rigidity on the static and seismic behaviour of CSP culverts. World Congress on Civil, Structural, and Environmental Engineering, 9 p.
2. Светенок В.С., Ярмолинский А.И. Анализ состояния водопропускных сооружений на автомобильных дорогах юга Дальнего Востока // Вестник Тихоокеанского государственного университета. 2018. – № 4(47) – С. 51–56.
3. Radermacher, L., Radeanu, C. (2018) Fem analysis of corrugated steel culverts under standardized highway load. International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM, 18 (1.2), pp. 263–268.
4. Jasim, N.A. (2018) Design of box culvert in Iraqi Highways considering catchment areas. International Journal of Engineering and Technology (UAE), 7 (4), pp. 157–162.
5. Каменчуков А.В., Светенок С.В. Влияние дорожного водоотвода на качество дорог сельскохозяйственного назначения // Международный научно-исследовательский журнал. 2019. №6–1 (84). С. 101–106.
6. Каменчуков А.В. Влияние исходной информации на качество проектирования строительства и ремонта автомобильных дорог / А.В. Каменчуков, В.А.

- Ярмолинский, Е.В. Кривко. – Хабаровск: Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2016. – 180 с.
7. Проектирование автомобильных дорог с учетом природно-климатических особенностей Дальнего Востока / А.И. Ярмолинский, В.А. Ярмолинский. – Хабаровск: Изд-во Тихоокеанского гос. ун-та, 2005. – 197 с.
 8. Zhang, W., Han, L., Yang, C. (2019) Numerical investigation of influential factors on mechanical and deformation characteristics of highway culvert. Geotechnical Special Publication, 2018-October (GSP 304), pp. 253–260.
 9. Рекомендации по проектированию и строительству водопропускных сооружений из металлических гофрированных структур на автомобильных дорогах общего пользования с учетом региональных условий (дорожно-климатических зон): ОДМ 218.2.001-2009. – М.: РОСАВТОДОР, 2010. – 147 с.
 10. Cristelo, N., Félix, C., Figueiras, J. (2019) Experimental behaviour of concrete box culverts – comparison with current codes of practice. Canadian Geotechnical Journal, 56 (7), pp. 970–982.
 11. Ярмолинский В.А., Каменчуков А.В. Разработка методики выбора эффективных методов ремонтных работ в зависимости от их стоимости и фактического транспортно-эксплуатационного состояния дорожного покрытия // Транспортное строительство. 2014. – № 8 – С. 23–26.
 12. Вентцель Е.С., Овчаров Л.А. Теория случайных процессов и ее инженерные приложения. – М. Наука. Гл. ред. Физ.-ма. лит. – 1991. – 384 с.
 13. Патент № 2674738 РФ Способ укрепления земляного полотна автомобильных дорог в местах устройства водопропускных труб / Каменчуков А.В., Ярмолинский В.А. Оpubл. 13.12.2018 Бюл. № 35.

Kamenchukov Aleksey Viktorovich

Pacific national university, Khabarovsk, Russia
E-mail: 006641@pnu.edu.ru

Lopashuk Andrey Viktorovich

Pacific national university, Khabarovsk, Russia
E-mail: 007341@pnu.edu.ru

Lopashuk Victor Vladimirovich

Pacific national university, Khabarovsk, Russia
E-mail: 000174@pnu.edu.ru

Svetenok Victor Sergeevich

Pacific national university, Khabarovsk, Russia
E-mail: v.svetenok@mail.ru

Ukrainskiy Ilya Sergeevich

Pacific national university, Khabarovsk, Russia
E-mail: 006012@pnu.edu.ru

Improving the design of the subgrade in the construction of culverts

Abstract. The article considers the issues of assessing and improving the quality and reliability of culverts and the road drainage system on roads with unpaved and transitional types of pavement. The authors performed a number of field studies aimed at assessing the operational condition of culverts and pavement above them on roads of territorial significance in the Khabarovsk Territory. The issues of the influence of the quality of culverts on the condition of the road surface are examined in detail. Systematized and analyzed data on the influence of the presence (absence) of defects in the body of culverts on the quality of the road surface. The data are ranked by the diameter of the pipe hole and the size of the protective layer, and the degree of influence of the quality of the culvert on the quality of the road surface depending on the thickness of the protective layer is determined. The relationship between defects in culverts and the quality of the road surface is established. Based on the result of mathematical modeling, a nomogram of the dependence of the state of the coating over the culvert on the thickness of the backfill over the pipe and the condition of the culvert is constructed. In a specialized software package, by the finite element method, an assessment of the stress-strain state and structural stability of the subgrade with a culvert under the influence of the normative static load on the structure is carried out. The results of mathematical modeling showed that there is a significant decrease in the stability of the structure, especially with low embankments. To increase the stability and reduce the deformation of the structure, the authors proposed a method of strengthening the embankment of the subgrade in places of the device, which on the basis of mathematical modeling showed its high efficiency.

Keywords: road; road drainage; culverts; operational condition; coating quality; defects; stability assessment; stress-strain state

REFERENCES

1. Mahgoub A., El Naggar H. (2018). Effect of the cross-sectional rigidity on the static and seismic behaviour of CSP culverts. *World Congress on Civil, Structural, and Environmental Engineering*, p. 9.
2. Svetenok V.S., Yarmolinskiy A.I. (2018). Analysis of the condition of culverts on highways in the south of the Far East. *Bulletin of the Pacific State University*, 4(47), pp. 51–56 (in Russian).
3. Radermacher L., Radeanu C. (2018). Fem analysis of corrugated steel culverts under standardized highway load. *International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM*, 18(1.2), pp. 263–268.
4. Jasim N.A. (2018). Design of box culvert in Iraqi Highways considering catchment areas. *International Journal of Engineering and Technology (UAE)*, 7(4), pp. 157–162.
5. Kamenchukov A.V., Svetenok S.V. (2019). The influence of road drainage on the quality of agricultural roads. *International Scientific Journal*, 6–1(84), pp. 101–106 (in Russian).
6. Kamenchukov A.V., Yarmolinskiy V.A., Krivko E.V. (2016). Vliyaniye iskhodnoy informatsii na kachestvo proektirovaniya stroitel'stva i remonta avtomobil'nykh dorog. [*The influence of baseline information on the quality of design of construction and repair of roads.*] Khabarovsk: Publishing House of the Pacific State University, p. 180.
7. Yarmolinskiy A.I., Yarmolinskiy V.A. (2005). Proektirovaniye avtomobil'nykh dorog s uchetom prirodno-klimaticheskikh osobennostey Dal'nego Vostoka. [*Road design taking into account the climatic features of the Far East.*] Khabarovsk: Publishing House of the Pacific State University, p. 197.
8. Zhang W., Han L., Yang C. (2019). Numerical investigation of influential factors on mechanical and deformation characteristics of highway culvert. *Geotechnical Special Publication*, GSP 304, pp. 253–260.
9. Cristelo N., Félix C., Figueiras J. (2019). Experimental behaviour of concrete box culverts – comparison with current codes of practice. *Canadian Geotechnical Journal*, 56(7), pp. 970–982.
10. Yarmolinskiy V.A., Kamenchukov A.V. (2014). Development of a methodology for choosing effective methods of repair work depending on their cost and the actual transport and operational condition of the road surface. *Transport construction*, 8, pp. 23–26 (in Russian).
11. Venttsel' E.S., Ovcharov L.A. (1991). Teoriya sluchaynykh protsessov i ee inzhenernye prilozheniya. [*Theory of random processes and its engineering applications.*] Moscow: Science. The main editorial board of physical and mathematical literature, p. 384.