

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ / RESEARCH PAPER

УДК 625.7

DOI: 10.22227/1997-0935.2025.3.429-439

Сценарии эксплуатационной стадии жизненного цикла автомобильных дорог в условиях действующего нормативного регулирования

Артём Николаевич Тиратурян, Андрей Викторович Воробьев, Чунь Ян

Донской государственный технический университет (ДГТУ); г. Ростов-на-Дону, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Одной из определяющих концепций дорожной отрасли является концепция 12/24, принятая Постановлением Правительства РФ от 30.05.2017 № 658 и регламентирующая нормативный срок службы до ремонта автомобильной дороги (а. д.) 12 лет и до капитального ремонта 24 года. При этом в пределах 12-летнего срока службы возможно выполнение работ по восстановлению слоев износа/защитных слоев, периодичность которых устанавливается отдельными нормативными актами и зависит от интенсивности движения и эксплуатационного состояния. Прогнозирование изменения основных эксплуатационных показателей а. д. с учетом влияния управляющих воздействий в виде содержания, ремонта и капитального ремонта позволит проанализировать различные варианты стратегий обеспечения их сохранности.

Материалы и методы. Для прогнозирования изменения основных эксплуатационных показателей а. д. применяются феноменологические модели ухудшения продольной и поперечной ровности покрытия автодороги, а также общего модуля упругости и коэффициента прочности на ее поверхности.

Результаты. Модифицирована зависимость для прогнозирования изменения общего модуля упругости на поверхности дорожной одежды в течение ее срока службы, представляющая собой убывающую функцию общего модуля упругости от суммарного числа приложенных расчетной нагрузки и соответственно времени эксплуатации. Модифицированы зависимости для прогнозирования изменения фактической продольной ровности и колеяности путем введения дополнительного множителя, характеризующего общую потерю прочности на прогнозный год. С учетом модифицированных зависимостей построены сценарии эксплуатационной стадии жизненного цикла (ЖЦ) для модельной конструкции дорожной одежды а. д. и реальной автодороги, эксплуатирующейся в Ростовской области.

Выводы. Получены модифицированные зависимости, позволяющие описывать процессы ухудшения продольной ровности покрытия и колеяности с учетом снижения общего модуля упругости на поверхности дорожной одежды. Построены различные проектные сценарии эксплуатационной стадии ЖЦ а. д. для тестового и реального примера. Предложены направления совершенствования методов анализа ЖЦ автодорог.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: автомобильные дороги, эксплуатационная стадия жизненного цикла, уровень сохранности, управляющие воздействия, сценарии, эксплуатационные параметры, стратегии ремонтных работ

Благодарности. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-29-00110 (URL: <https://rscf.ru/project/24-29-00110/>). Авторы выражают искреннюю благодарность уважаемым рецензентам за время и силы, затраченные на рассмотрение данной статьи.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Тиратурян А.Н., Воробьев А.В., Ян Ч. Сценарии эксплуатационной стадии жизненного цикла автомобильных дорог в условиях действующего нормативного регулирования // Вестник МГСУ. 2025. Т. 20. Вып. 3. С. 429–439. DOI: 10.22227/1997-0935.2025.3.429-439

Автор, ответственный за переписку: Андрей Викторович Воробьев, andreyvorobyev19@mail.ru.

Scenarios of the operational stage of the road life cycle under the current regulatory environment

Artem N. Tiraturyan, Andrey V. Vorobev, Chun Yang

Don State Technical University (DSTU); Rostov-on-Don, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. One of the defining concepts of the road sector is the concept of 12/24 adopted by the Russian Government Decree of May 30, 2017 No. 658, and regulating the normative service life before repair of a highway is 12 years and before major repair 24 years. At the same time, within the 12-year service life, it is possible to perform works on restoration of wear layers/protective layers, the frequency of which is established by separate normative acts and depends on the traffic intensity and operational condition. Forecasting of changes in the main operational indicators of the highway taking into account the influence of control actions in the form of maintenance, repair and overhaul will make it possible to analyze various options of strategies to ensure their preservation.

Materials and methods. Phenomenological models of deterioration of longitudinal and transverse flatness of the road surface, as well as the total modulus of elasticity and the coefficient of strength on its surface are used to predict changes in the main operational indicators of highways.

Results. Modified the dependence for predicting the change in the total modulus of elasticity on the pavement surface during its service life, which is a decreasing function of the total modulus of elasticity from the total number of design load applications and, respectively, the service time. The dependencies for predicting the change in actual longitudinal flatness and rutting were modified by introducing an additional multiplier characterizing the total loss of strength for the predicted year. Taking into account the modified dependencies the scenarios of the operational stage of the life cycle for the model construction of road pavement of the highway and the real highway operated in the Rostov region were built.

Conclusions. Modified dependencies allowing to describe the processes of deterioration of longitudinal flatness of the pavement and rutting taking into account the reduction of the total modulus of elasticity on the surface of the pavement were obtained. Various design scenarios of the operational stage of the life cycle of a highway for a test and real example were constructed. The directions of improvement of methods for analyzing the life cycle of highways are proposed.

KEYWORDS: highways, operational stage of life cycle, preservation level, control actions, scenarios, operational parameters, repair strategies

Acknowledgements. The research was supported by the grant of the Russian Science Foundation No. 24-29-00110 (URL: <https://rscf.ru/project/24-29-00110/>). The author also expresses sincere gratitude to the respected reviewers for the time and effort spent on reviewing this article.

FOR CITATION: Tiraturyan A.N., Vorobev A.V., Yang Ch. Scenarios of the operational stage of the road life cycle under the current regulatory environment. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2025; 20(3):429-439. DOI: 10.22227/1997-0935.2025.3.429-439 (rus.).

Corresponding author: Andrey V. Vorobev, andreyvorobeyv19@mail.ru.

ВВЕДЕНИЕ

Задачи управления жизненным циклом (ЖЦ) автомобильных дорог (а. д.) имеют серьезное техническое и экономическое значение. С одной стороны, выбор оптимальной комбинации и сроков выполнения работ по содержанию, ремонту, капитальному ремонту а. д. имеет большое значение для обеспечения комфорта и безопасности движения пользователей. С другой — всегда представляет собой оптимизационную задачу, требующую поиска оптимума между долговечностью и высоким транспортно-эксплуатационным состоянием автодороги и экономическими затратами, расходуемыми на его поддержание. Большое внимание в последние годы уделяется вопросам интеграции технологии информационного моделирования в практику управления ЖЦ а. д. Этому посвящены работы ученых, разработавших структуру и основной методологический аппарат технологий информационного моделирования в привязке к отечественной нормативной и научно-технической базе [1–3]. Большой вклад в развитие экономического аппарата анализа ЖЦ автодорог внесен профессором Э.В. Дингесом и его научной школой, разработавшим нормативный документ ОДМ 218.4.023–2015 «Методические рекомендации по оценке эффективности строительства, реконструкции, капитального ремонта и ремонта автомобильных дорог». В работе [4] представлена формула расчета удельной стоимости ЖЦ на единицу гарантийного срока функционирования дорожного сооружения:

$$DZ_v^{уд} = \left(\frac{K_{ctf}}{(1+E)^f} + \sum_{i=1}^n \frac{K_{kpi}}{(1+E)^{t_i}} + \sum_{j=1}^m \frac{K_{pj}}{(1+E)^{t_j}} + \frac{T}{\sum_{t=1}^T \frac{C_t}{(1+E)^t} + \sum_{t=1}^T \frac{P_t}{(1+E)^t} - \frac{K_{остf}}{(1+E)^T}} \right) \quad (1)$$

где v — порядковый номер рассматриваемой альтернативы ЖЦ дорожного сооружения; K_{ctf} — затраты на строительство/реконструкцию дорожного сооружения в f -м году; f — год строительства; K_{kpi} — затраты на капитальный ремонт дорожного сооружения в i -м году; t_i — год проведения i -го капитального ремонта; K_{pj} — затраты на ремонт в j -м году; t_j — год проведения j -го капитального ремонта; T — продолжительность ЖЦ дорожного сооружения; t — год проведения t -го капитального ремонта; C_t — затраты на содержание дорожного сооружения в году t ; P_t — социально-экономические потери от снижения потребительских качеств дорожного сооружения в t -м году; $K_{остf}$ — эффект последствия (остаточная стоимость дорожного сооружения) на год T .

В целом данная зависимость охватывает большую часть этапов ЖЦ автомобильной дороги, включая строительство, эксплуатационную стадию и этап реконструкции.

Вместе с тем следует отметить, что ни в одном отечественном документе нет формализации эксплуатационной стадии ЖЦ а. д. с точки зрения комплексного прогнозирования изменения ее транспортно-эксплуатационного состояния.

Тем не менее существуют труды и документы, позволяющие наметить пути к созданию подобных методов. В первую очередь это опыт государственной компании «Российские автомобильные дороги», аккумулированный в ряде СТО АВТОДОР, касающихся управления состоянием автомобильных дорог, в частности СТО АВТОДОР 2.4–2013 «Оценка остаточного ресурса жестких дорожных конструкций автомобильных дорог Государственной компании «Российские автомобильные дороги» и СТО АВТОДОР 2.28–2016 «Прогнозирование состояния эксплуатируемых автомобильных дорог Государственной компании «Автодор» (приказ от 06.05.2016 № 67). В этих документах содержатся прогнозные зависимости для определения изменений коэффициента прочности,

продольной ровности покрытия, поперечной ровности покрытия (колеи), коэффициента сцепления. Результаты, получаемые с использованием данных документов, анализируются и рассматриваются в статьях [5–10] преимущественно без учета влияния работ по содержанию, ремонту и капитальному ремонту, выполняемых в ходе эксплуатации дороги в соответствии с Постановлением Правительства РФ от 30.05.2017 № 658, регламентирующим нормативный срок службы до ремонта автомобильной дороги — 12 лет и до капитального ремонта — 24 года.

В зарубежной практике изучению влияния работ по содержанию, ремонту, капитальному ремонту также уделяется большое внимание. В 2013 г. был опубликован научно-технический отчет FHWA-HRT-13-039 [11], впервые декларирующий важность оценки не просто остаточного срока службы или остаточного ресурса до перехода дорожной одежды автомобильной дороги в предельное состояние, т.е. в состояние, соответствующее необходимости выполнения капитального ремонта, но и оценки так называемого «остаточного интервала обслуживания» (remaining service interval — RSI), т.е. срока службы между работами по замене слоев износа/защитных слоев или ремонта покрытия. Концепция RSI в последние годы стала преобладающей в трудах зарубежных специалистов в области управления ЖЦ а. д. Так, в публикациях [12–18] описывается внедрение данной концепции преимущественно на сетевом уровне, направленное на формирование бюджетных оценок в рамках различных сценариев обеспечения сохранности а. д. Приводится информация о выборе управляющих воздействий в зависимости от основных показателей эксплуатационного состояния автомобильных дорог, к которым, как правило, относят продольную ровность покрытия, колеи, по-

крытии и процент протяженности полос, покрытый сеткой усталостных трещин (рис. 1).

Важно отметить, что в рамках концепции RSI в контексте выбора управляющих воздействий рассматривается достаточно длительный анализируемый период — 40 лет. Расчет различных стратегий осуществляется на базе разных феноменологических моделей, описывающих ухудшение ключевых показателей эксплуатационного состояния, или интегральных показателей типа PCR, PSI, PCI и пр. Документ [11] рекомендует для этих целей использование механико-эмпирических зависимостей, приведенных в Руководстве по механико-эмпирическому проектированию новых и реконструируемых дорожных одежд [20], либо эмпирических моделей на основе регрессионных зависимостей, байесовской вероятности, кривых выживаемости и т.д. Различные модели, описывающие изменение ровности и колеиности во времени, также применяются и в других странах. В частности, в имеющем большую популярность программном комплексе ELMOD, выпускаемом одним из ведущих мировых производителей дорожного диагностического оборудования компанией Dynatest, также реализованы достаточно простые феноменологические модели изменения продольной и поперечной ровности покрытия, позволяющие на этапе проектирования просчитывать сроки назначения управляющих воздействий [21].

Таким образом, проведенный анализ показывает, что как в отечественной, так и в зарубежной практике большое внимание уделяется проработке различных сценариев эксплуатационной стадии ЖЦ на этапе проектирования. В зарубежной практике этот вопрос систематизирован и практически все модели прогнозирования изменения эксплуатационного состояния встроены в отдельный модуль управления ЖЦ автодорог.

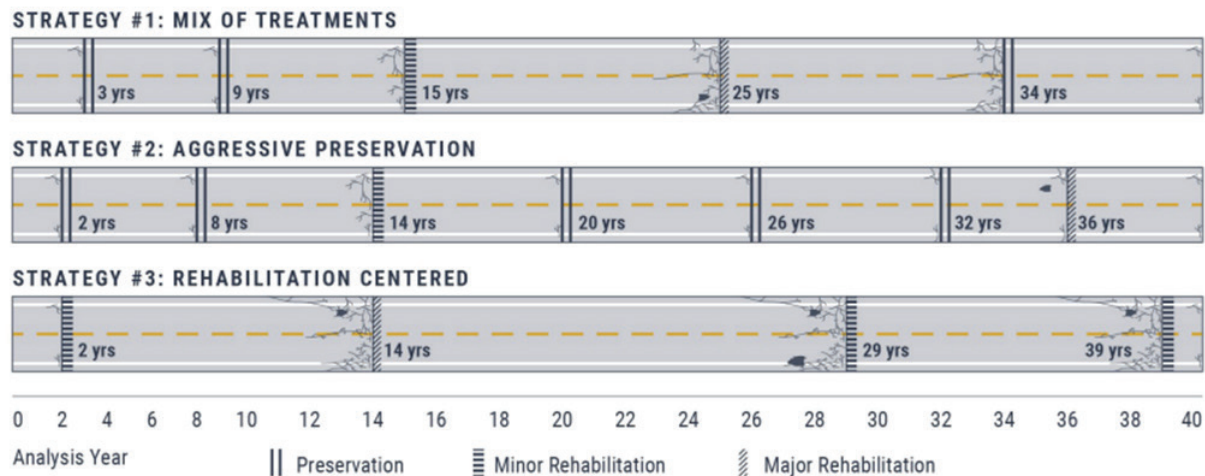


Рис. 1. Различные варианты стратегий обеспечения сохранности дороги (источник FHWA-HRT-21-006: TechNote: Remaining Service Interval: A White Paper (dot.gov) [19])

Fig. 1. Different options for road safety strategies (source FHWA-HRT-21-006: TechNote: Remaining Service Interval: A White Paper (dot.gov) [19])

В Российской Федерации в последние годы был достигнут значительный прогресс в части внедрения прогнозных моделей основных эксплуатационных параметров дорожной одежды автомобильной дороги. Однако практически не изученным остается вопрос построения проектных кривых работоспособности в течение директивного срока службы а. д., учитывающих возможные управляющие воздействия в течение межремонтного срока 24 года. Построению подобных сценариев и совершенствованию существующих подходов и посвящена данная статья.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Построение кривых работоспособности дорожных одежд а. д. в условиях системы технического регулирования РФ требует применения математических моделей, позволяющих осуществлять прогноз критических видов дефектов и повреждений, на основе которых возможно определение момента перехода конструкции в предельное состояние (табл. 1). Исходя из опыта эксплуатации а. д., а также нормативных документов, регламентирующих процесс диагностики дорог, такие показатели представлены в табл. 2.

Конкретный вид зависимостей, используемых для прогнозирования момента наступления различных видов управляющих воздействий в соответствии с СТО АВТОДОР 10, представлен в формулах (2)–(5):

h_k = a \left(1,5 \cdot 10^{-6} \cdot \sum_{i=1}^T N_p \right)^b; \tag{2}

IRI = IRI_0 + a \sum_{i=1}^T N_p^b; \tag{3}

E = \sqrt{\frac{P}{600}} 98,65 \left(\lg \sum_{i=1}^T N_p - c \right); \tag{4}

\sum_{i=1}^T N_p = 0,7 f_{пол} N_p k_n T_{рлг} \frac{q^{T_{сл} - T} - 1}{(q - 1) q^{(T_{сл} - T) - 1}}, \tag{5}

где *a, b* — эмпирические параметры, определяемые по СТО АВТОДОР 2.28–2016 «Прогнозирование состояния эксплуатируемых автомобильных дорог Государственной компании “Автодор”»; $\sum_{i=1}^T N_p$ — суммарное число приложений расчетной нагрузки; *c* — параметр, зависящий от величины расчетной нагрузки (для расчетной нагрузки 115 кН принимается равным *c* = 3,2); *T_{рлг}* — количество расчетных дней в году; *q* — коэффициент прироста интенсивности движения; *T_{сл}* — срок службы; *T* — год, на который осуществляется прогнозирование, при этом *T* ∈ [0; *T_{сл}* – 1].

Применение зависимостей (1)–(4) дает возможность представить эксплуатационную стадию ЖЦ а. д. на этапе проектирования, ограничиваясь рамками, регулируемые Постановлением Правительства. Пример графического представления эксплуатационной стадии ЖЦ а. д. с дорожной одеждой (табл. 3) приведен на рис. 2.

Табл. 1. Математические модели прогнозирования критериев, определяющих необходимость управляющего воздействия на эксплуатационной стадии жизненного цикла автомобильной дороги

Table 1. Mathematical models for predicting the criteria determining the need for control action at the operational stage of the road life cycle

Вид управляющего воздействия Type of control action	Показатель Indicator	Математическая модель Mathematical model
Содержание/замена слоев износа Maintenance/replacement of wear layers	Колея/износ Track/wear	$y = ax^b$
Ремонт Repair	Продольная ровность покрытия Longitudinal flatness of the pavement	$y = ax^b + c$
Капитальный ремонт Overhaul	Коэффициент прочности/общий модуль упругости Strength factor/total modulus of elasticity	$y = a + b(\lg c - 1)$

Табл. 2. Предельные значения критериев, определяющих необходимость управляющего воздействия на эксплуатационной стадии жизненного цикла автомобильной дороги

Table 2. Limit values of criteria determining the need for control action at the operational stage of the road life cycle

Вид управляющего воздействия Type of control action	Показатель Indicator	Предельное значение Limit value
Содержание/замена слоев износа Maintenance/replacement of wear layers	Колея/износ Track/wear	$h_k = 2 \text{ см} / h_{lr} = 2 \text{ см}$
Ремонт Repair	Продольная ровность покрытия Longitudinal flatness of the pavement	$IRI > 4 \text{ м/км} / IRI > 4 \text{ m/km}$
Капитальный ремонт Overhaul	Коэффициент прочности/общий модуль упругости Strength factor/total modulus of elasticity	$E_\phi < E_{min, tp} / E_{sf} < E_{min, el}$

Табл. 3. Конструкция дорожной одежды на эксплуатируемом участке автомобильной дороги
Table 3. Pavement design on the operational section of the highway

Слой Layer	Толщина, см Thickness, cm	Проектное значение продольной ровности, м/км Design value of longitudinal flatness, m/km	Проектное значение модуля упругости на поверхности дорожной одежды, МПа Design value of elastic modulus on the pavement surface, MPa	Требуемое минимальное значение общего модуля упругости на поверхности дорожной одежды, МПа Required minimum value of the total modulus of elasticity on the pavement surface, MPa
ЩМА-16 на БНД 70/100 SMA-16 on BND 70/100	5	1,7	593	477
A22Нт на БНД 70/100 A22Nt on BND 70/100	7			
A32От на БНД 70/100 A32From BND 70/100	10			
Щебень, уложенный по способу заклинки Crushed stone laid by the wedging method	32			
Мелкий песок Fine sand	35			
Тяжелый суглинок Heavy loam	—			

Из рис. 2 видно, что стандартная схема влияния управляющих воздействий в виде комплекса работ по содержанию, ремонту, капитальному ремонту, описываемая с использованием зависимостей (1)–(5)

на эксплуатационное состояние а. д., может быть представлена в виде графиков изменения поперечной ровности, продольной ровности, модулей упругости. Соответствие между данными показателями и видом

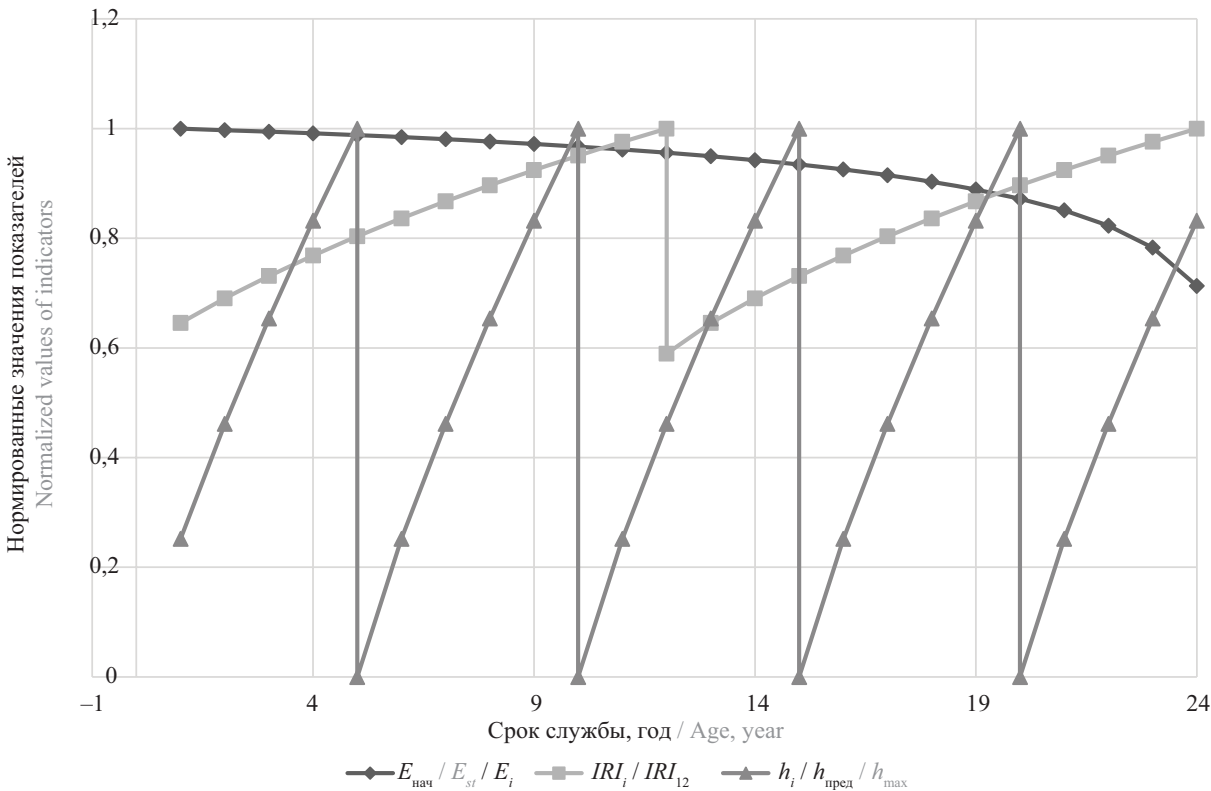


Рис. 2. Изменение основных показателей состояния дорожной одежды автомобильной дороги в течение эксплуатационной стадии жизненного цикла

Fig. 2. Changes in the main indicators of the road pavement condition during the operational stage of the life cycle

управляющих воздействий напрямую следует из Постановления Правительства и номенклатуры работ по содержанию, ремонту и капитальному ремонту на автомобильных дорогах. Поперечная ровность (колеиность) устраняется в рамках содержания путем фрезерования слоя износа, толщина которого составляет 2 см, с учетом запаса на предельно допустимую величину колесобразования. Полное восстановление продольной ровности покрытия выполняется в ходе работ по ремонту, срок которого установлен Постановлением Правительства, на 12-й год эксплуатации дороги. Полное восстановление всех эксплуатационных качеств дороги может быть проведено только в ходе капитального ремонта на 24-й год ее эксплуатации.

Очевидным недостатком представленного отображения следует считать независимость траекторий изменения продольной и поперечной ровности от изменения модуля упругости на поверхности дорожной одежды. Однако данный недостаток может быть сравнительно просто преодолен путем модификации уравнений (1), (2):

$$h_k = a \left(1,85 \cdot 10^{-6} \cdot \sum_{i=1}^T N_p \right)^b \frac{E_{np,i}}{E_{np,нач}}; \tag{6}$$

$$IRI = \left(IRI_0 + a \sum_{i=1}^T N_p^b \right) \frac{E_{np,i}}{E_{нач}}. \tag{7}$$

В этом случае эксплуатационная стадия ЖЦ а. д. графически может быть приведена в следующем виде (рис. 3).

Как видно из графика (рис. 3), учет проектного снижения коэффициента прочности дорожной одежды отражается на прогнозных значениях фактической продольной и поперечной ровности покрытия, увеличивая фактические значения индекса продольной ровности IRI и абсолютные значения глубины колеи.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Расчетные результаты, представленные выше, показывают, что уже на этапе проектирования возможно осуществить прогнозирование изменения основных транспортно-эксплуатационных показателей ЖЦ. При этом важно понимать, что в рамках современной нормативной базы, жестко регламентирующей директивные межремонтные сроки на а. д. общего пользования, эксплуатационную стадию ЖЦ целесообразно рассматривать только с учетом планируемых работ по содержанию и ремонту. Следует отметить, что фактически единственным управляемым параметром на текущий момент являются работы по содержанию а. д., периодичность которых зависит от интенсивности движения. Учет снижения коэффициента прочности позволяет дифференциро-

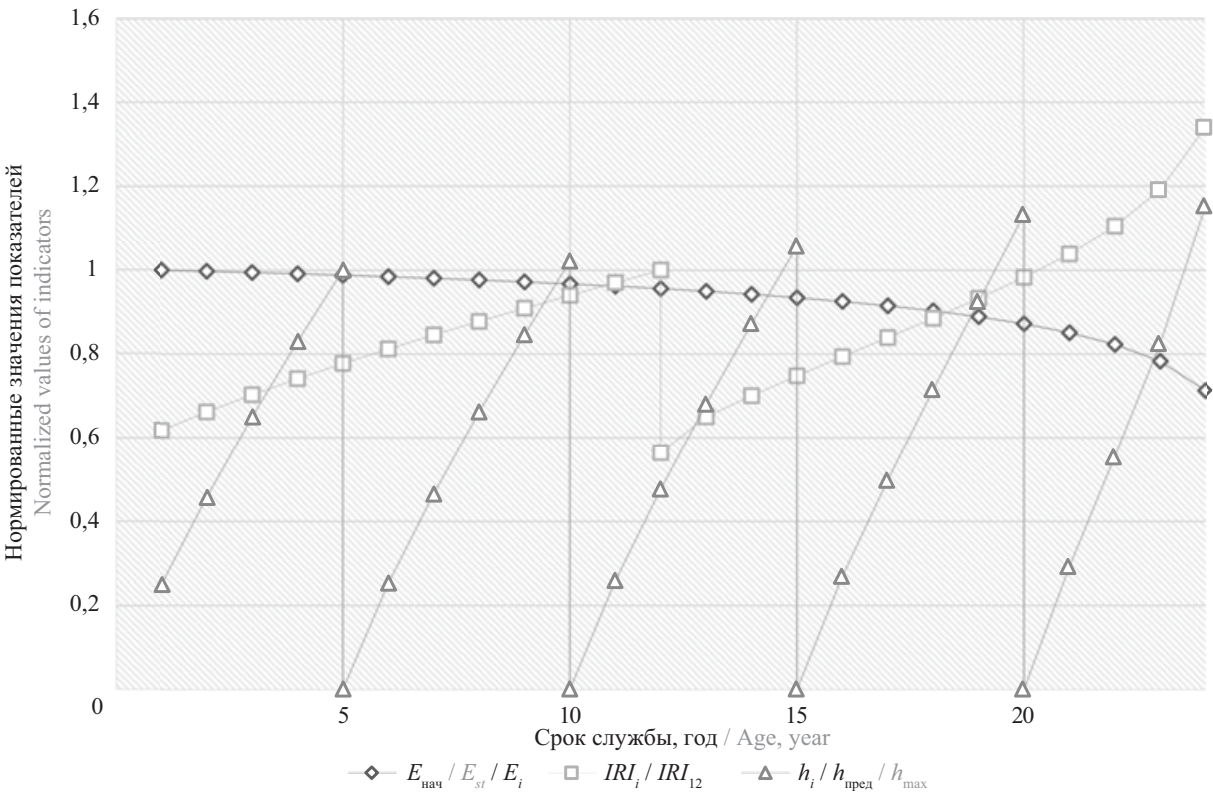


Рис. 3. Изменение основных показателей состояния дорожной одежды автомобильной дороги в течение эксплуатационной стадии жизненного цикла с учетом влияния снижения коэффициента прочности дорожной одежды

Fig. 3. Changes in the main indicators of the road pavement condition during the operational stage of the life cycle taking into account the influence of the reduction of the road pavement strength coefficient

Табл. 4. Конструкция дорожной одежды на эксплуатируемом участке автомобильной дороги

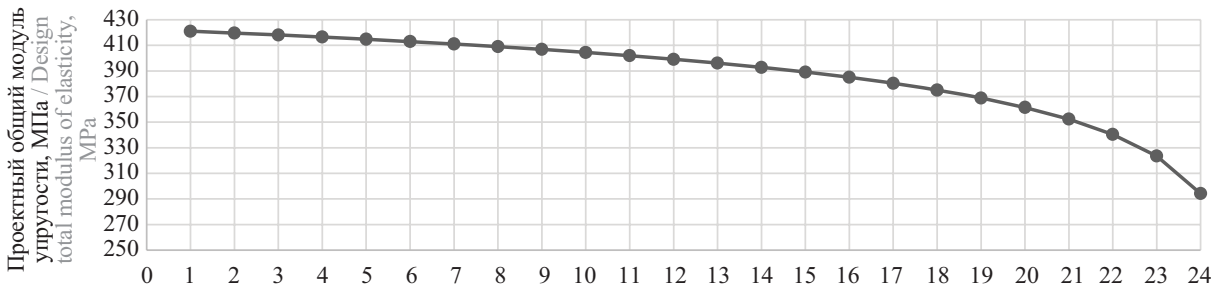
Table 4. Pavement design on the operational section of the highway

Слой Layer	Толщина, см Thickness, cm	Проектное значение продольной ровности, м/км Design value of longitudinal flatness, m/km	Проектное значение модуля упругости на поверхности дорожной одежды, МПа Design value of elastic modulus on the pavement surface, MPa	Требуемое минимальное значение общего модуля упругости на поверхности дорожной одежды, МПа Required minimum value of the total modulus of elasticity on the pavement surface, MPa
ЩМА-16 на ПБВ SMA-16 on PBB	5	1,7	420	345
Асфальтобетон м/з на БНД 60/90 Asphalt concrete m/z on BND 60/90	7			
Асфальтобетон к/з на БНД 60/90 Asphalt concrete k/z on BND 60/90	8			
Щебень, уложенный по способу заклинки Crushed stone laid by the wedging method	20			
Щебень, уложенный по способу заклинки Crushed stone laid by the wedging method	43			
Тяжелый суглинок Heavy loam	—			

ванно подходить к их назначению, увеличивая сроки между заменой слоев износа на начальном этапе эксплуатации а. д., постепенно снижая их впоследствии из-за увеличения крутизны кривой колеиности (рис. 2). Формально периодическая замена слоев износа, безусловно, будет замедлять процессы деградации продольной ровности покрытия, хотя и не заменяя собой полноценную замену верхнего слоя асфальтобетона, но в значительной степени сглаживая неровности с малой длиной волны, что будет позитивно сказываться на абсолютных значениях индекса IRI. Однако на текущий момент данная статистика еще не накоплена и корректный учет влияния мероприятий по содержанию на величину продольной ровности практически не изучен. В качестве примера расчета абсолютных значений изменения основных эксплуатационных параметров рассмотрим участок а. д., законченный строительством в Ростовской области, с конструкцией, представленной в табл. 4.

С учетом зависимостей (2)–(7) проектные кривые изменения общего модуля упругости, продольной ровности покрытия и поперечной ровности будут иметь вид (рис. 4).

Как видно из представленных графиков (рис. 4), осуществление прогноза изменения основных эксплуатационных характеристик позволяет предположить, что для обеспечения нормативных требований достаточно проведения работ по ремонту покрытия а. д. на 16-й год эксплуатации (вместо 12-го года по нормативным срокам), а сроки выполнения работ по содержанию составляют 5 лет. Однако, учитывая, что снижение общего модуля упругости оказывает влияние на скорость накопления колеи, целесообразным вариантом является выполнение первой замены слоев износа на 5-й год эксплуатации, а остальные выполнять каждые 4 последующих года, не допуская превышения (пусть и незначительного) на 10-й, 15-й, 20-й годы эксплуатации.



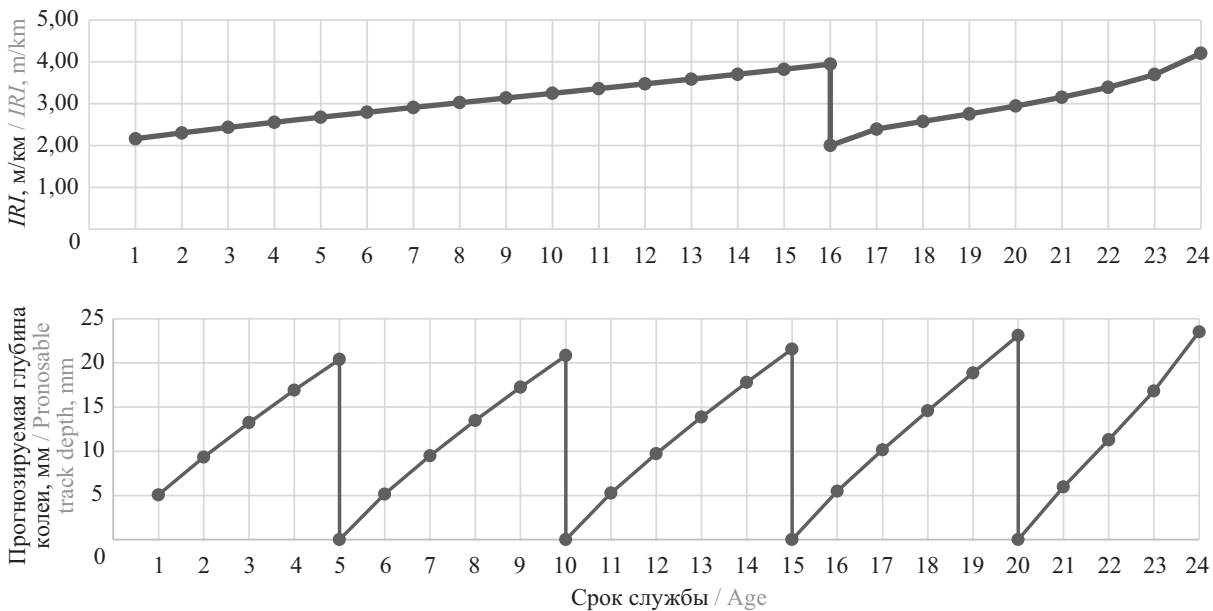


Рис. 4. Проектные кривые изменения общего модуля упругости, продольной ровности покрытия и поперечной ровности
Fig. 4. Design curves of total modulus of elasticity, longitudinal flatness of the pavement and transverse flatness

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

Полученные в рамках проведенного исследования результаты дают возможность уже на этапе проектирования осуществить построение различных сценариев эксплуатационной стадии ЖЦ а. д. с учетом влияния на него управляющих воздействий в форме работ по содержанию, ремонту и капитальному ремонту автомобильной дороги. Следует отметить, что в соответствии с существующей парадигмой, требующей обязательного обеспечения срока службы между капитальными ремонтами в 24 года и между ремонтами в 12 лет, основной параметр периодичности которого можно изменять, являются работы по содержанию а. д. Вместе с тем перспективным для дальнейших исследований служит изучение влияния работ, выполняемых в рамках содержания (замена слоев износа), на увеличение интервала до ремонта и, как следствие, увеличения срока до момента выполнения капитального ремонта. Однако на текущий момент накопление данной информации только ведется, так как участки, эксплуатируемые

в соответствии со стратегией обеспечения 24-летних сроков службы а. д., начали строиться относительно недавно. В качестве основных результатов, полученных в данной статье, считаем необходимым выделить следующие:

- модифицирована зависимость для прогнозирования изменения общего модуля упругости на поверхности дорожной одежды в течение ее срока службы, представляющая собой убывающую функцию общего модуля упругости от суммарного числа приложений расчетной нагрузки и соответственно времени эксплуатации;
- модифицированы зависимости для прогнозирования изменения фактической продольной ровности и колеиности путем введения дополнительного множителя, характеризующего общую потерю прочности на прогнозный год;
- с учетом модифицированных зависимостей построены сценарии эксплуатационной стадии ЖЦ для модельной конструкции дорожной одежды автодороги и реальной а. д., эксплуатирующейся в Ростовской области.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Сковцов А.В., Сарычев Д.С. Жизненный цикл проектов автомобильных дорог в контексте информационного моделирования // САПР и ГИС автомобильных дорог. 2015. № 1 (4). С. 4–14. DOI: 10.17273/CADGIS.2015.1.1. EDN TWONWT.
2. Максимычев О.И., Бойков В.Н. Поддержка жизненного цикла проектов дорожно-строительных работ в парадигме цифровой экономики // САПР

и ГИС автомобильных дорог. 2019. № 1 (12). С. 10–15. DOI: 10.17273/CADGIS.2019.1.2. EDN CCFBRB.
3. Скоробогатов А.Р. Особенности жизненного цикла автомобильной дороги на стадии проектирования // Тенденции развития современной науки : сб. тр. науч.-практ. конф. студентов и аспирантов Липецкого государственного технического университета. 2023. С. 540–543. EDN YEFKGW.

4. Дингес Э.В., Морева Е.С. Проблемы и перспективы заключения контрактов жизненного цикла на строительство автомобильных дорог в России. М., 2020. 114 с. EDN QNJNTP.

5. Гребешок К.С. О необходимости совершенствования системы управления состоянием автомобильных дорог на основе реального остаточного ресурса дорожной одежды // Транспортное строительство. 2017. № 2. С. 4–6. EDN ZHBHYF.

6. Тиратуриян А.Н., Углова Е.В., Ляпин А.А. Энергетический метод определения остаточного ресурса нежестких дорожных одежд на стадии эксплуатации // Дефектоскопия. 2020. № 10. С. 71–80. DOI: 10.31857/S0130308220100073. EDN POZNKA.

7. Углова Е.В., Конорев А.С. Планирование работ по ремонту и содержанию дорожных одежд на основе оценки их остаточного ресурса // Строительство-2015: Строительство. Дороги. Транспорт : мат. Междунар. науч.-практ. конф. 2015. С. 30–32. EDN VARLNH.

8. Углова Е.В., Тиратуриян А.Н., Шамраев Л.Г. Современный подход к оценке транспортно-эксплуатационных показателей автомобильных дорог государственной компании «Российские автомобильные дороги» // САПР и ГИС автомобильных дорог. 2016. № 1 (6). С. 38–51. DOI: 10.17273/CADGIS.2016.1.7. EDN XAMXGZ.

9. Углова Е.В. Новый подход к назначению ремонтных мероприятий на эксплуатируемых автомобильных дорогах // Актуальные проблемы науки и техники. 2017 : мат. Национ. науч.-практ. конф. 2017. С. 297–299. EDN AVLOCH.

10. Углова Е.В., Тиратуриян А.Н., Асланян Г.В., Голубев К.В. Диагностика состояния автомобильной дороги М-4 «ДОН» на сетевом уровне // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2017. № 49 (68). С. 99–109. EDN ZGRUGP.

11. Elkins G.E., Rada G., Groeger J., Visintine B.A. Pavement remaining service interval implementation guidelines. United States. Federal Highway Administration. Office of Infrastructure Research and Development, 2013. No. FHWA-HRT-13-050.

12. Ekramnia T., Nasimifar M. Development of a methodological tool for treatment prioritization in net-

work-level pavement management system // Journal of Transportation Engineering, Part B: Pavements. 2022. Vol. 148. Issue 1. DOI: 10.1061/jpeodx.0000329

13. Hafez M., Ksaibati K., Atadero R. Pavement maintenance practices of low-volume roads and potential enhancement: the regional experience of Colorado pavement management system // International Journal of Pavement Engineering. 2021. Vol. 22. Issue 6. Pp. 718–731. DOI: 10.1080/10298436.2019.1643021

14. Geary G.M., Tsai Y. A 3D Slab-Based Methodology to predict end of life for concrete pavements // International Journal of Pavement Engineering. 2022. Vol. 23. Issue 14. Pp. 4966–4976. DOI: 10.1080/10298436.2021.1990286

15. Ram P.V. et al. Demonstrating the Application of Life Cycle Planning (LCP) on a Pavement Network: Results from the Arizona DOT Pavement Pilot Project. United States. Federal Highway Administration, 2021. No. FHWA-HIF-21-044.

16. Karimzadeh A., Shoghli O. Predictive analytics for roadway maintenance : a review of current models, challenges, and opportunities // Civil Engineering Journal. 2020. Vol. 6. Issue 3. Pp. 602–625. DOI: 10.28991/cej-2020-03091495

17. Ďurinová M., Mikolaj J., Hostačná V. Modeling of changes in pavement serviceability of the asphalt road // Transportation Research Procedia. 2021. Vol. 55. Pp. 1131–1138. DOI: 10.1016/j.trpro.2021.07.083

18. Rydholm T.C., Luhr D.R. Modeling and Analyzing Budget-Constrained Pavement Preservation Strategies // Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board. 2014. Vol. 2431. Issue 1. Pp. 6–15. DOI: 10.3141/2431-02

19. Ram P. et al. Remaining Service Interval : a White Paper. 2021. No. FHWA-HRT-21-006.

20. Baus R.L. et al. Mechanistic-empirical pavement design guide implementation. University of South Carolina. Dept. of Civil & Environmental Engineering, 2010. No. FHWA-SC-10-01.

21. Tarefder R., Ahmed M.U., Rahman M.M. Evaluating functional and structural condition based maintenances of airfield pavements // Civil Engineering Dimension. 2013. Vol. 15. Issue 2. Pp. 71–80. DOI: 10.9744/ced.15.2.71-80

Поступила в редакцию 15 мая 2024 г.

Принята в доработанном виде 27 января 2025 г.

Одобрена для публикации 31 января 2025 г.

ОБ АВТОРАХ: **Артем Николаевич Тиратуриян** — доктор технических наук, доцент, профессор кафедры автомобильных дорог; **Донской государственный технический университет (ДГТУ)**; 344000, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, д. 1; ORCID: 0000-0001-5912-1235; tiraturjan@list.ru;

Андрей Викторович Воробьев — аспирант кафедры автомобильных дорог; **Донской государственный технический университет (ДГТУ)**; 344000, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, д. 1; ORCID: 0009-0006-2694-1337; andreyvorobyev19@mail.ru;

Чунь Ян — аспирант кафедры автомобильных дорог; **Донской государственный технический университет (ДГТУ)**; 344000, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, д. 1; ORCID: 0009-0000-5687-6202; YangChun24@outlook.com.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

REFERENCES

1. Skvortsov A.V., Sarychev D.S. Life cycle of highway projects in the context of information modeling. *CAD & GIS for roads*. 2015; 1(4):4-14. DOI: 10.17273/CADGIS.2015.1.1. EDN TWONWT. (rus.).
2. Maximychev O.I., Boykov V.N. Lifecycle support of road construction in digital economics. *CAD & GIS for roads*. 2019; 1(12):10-15. DOI: 10.17273/CADGIS.2019.1.2. EDN CCFBRB. (rus.).
3. Skorobogatov A. Features of the life cycle of a road at the design stage. *Trends in the development of modern science : collection of works of the scientific and practical conference of students and graduate students of Lipetsk State Technical University*. 2023; 540-543. EDN YEFKGW. (rus.).
4. Dinges E.V., Moreva E.S. *Problems and prospects of life cycle contracts for highway construction in Russia*. Moscow, 2020; 114. EDN QNJNTP. (rus.).
5. Grebeshok K.S. About the necessity of improvement of the roadways management system based on the real residual life of the pavement (the ending). *Transport Construction*. 2017; 2:4-6. EDN ZHBHYF. (rus.).
6. Tiraturyan A.N., Uglova E.V., Lyapin A.A. An energy method for determining the residual resource of non-rigid road pavements at the stage of operation. *Defectoscopy*. 2020; 10:71-80. DOI: 10.31857/S0130308220100073. EDN POZNKA. (rus.).
7. Uglova E.V., Konorev A.S. Planning of works on repair and maintenance of road pavements on the basis of estimation of their residual resource. *Construction-2015: Construction. Roads. Transportation : materials of the International scientific and practical conference*. 2015; 30-32. EDN VARLNH. (rus.).
8. Uglova E.V., Tiraturyan A.N., Shamraev L.G. Modern approach to the assessment of transportation and operational indicators of highways of the state company "Russian Highways". *CAD & GIS for roads*. 2016; 1(6):38-51. DOI: 10.17273/CADGIS.2016.1.7. EDN XAMXGZ. (rus.).
9. Uglova E.V. New approach to the assignment of repair measures on exploited highways. *Actual problems of science and technology. 2017 : materials of the national scientific and practical conference*. 2017; 297-299. EDN AVLOCH. (rus.).
10. Uglova E.V., Tiraturyan A.N., Aslanyan G.V., Golubev K.V. Diagnostics of the state of M-4 "DON" highway on network level. *Bulletin of the Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering*. 2017; 49(68):99-109. EDN ZGRUGP. (rus.).
11. Elkins G.E., Rada G., Groeger J., Visintine B.A. *Pavement remaining service interval implementation guidelines*. United States. Federal Highway Administration. Office of Infrastructure Research and Development, 2013; FHWA-HRT-13-050.
12. Ekramnia T., Nasimifar M. Development of a methodological tool for treatment prioritization in network-level pavement management system. *Journal of Transportation Engineering, Part B: Pavements*. 2022; 148(1). DOI: 10.1061/jpeodx.0000329
13. Hafez M., Ksaibati K., Atadero R. Pavement maintenance practices of low-volume roads and potential enhancement: the regional experience of Colorado pavement management system. *International Journal of Pavement Engineering*. 2021; 22(6):718-731. DOI: 10.1080/10298436.2019.1643021
14. Geary G.M., Tsai Y. A 3D Slab-Based Methodology to predict end of life for concrete pavements. *International Journal of Pavement Engineering*. 2022; 23(14):4966-4976. DOI: 10.1080/10298436.2021.1990286
15. Ram P.V. et al. *Demonstrating the Application of Life Cycle Planning (LCP) on a Pavement Network: Results from the Arizona DOT Pavement Pilot Project*. United States. Federal Highway Administration, 2021; FHWA-HIF-21-044.
16. Karimzadeh A., Shoghli O. Predictive analytics for roadway maintenance : a review of current models, challenges, and opportunities. *Civil Engineering Journal*. 2020; 6(3):602-625. DOI: 10.28991/cej-2020-03091495
17. Ďurinová M., Mikolaj J., Hostačná V. Modelling of changes in pavement serviceability of the asphalt road. *Transportation Research Procedia*. 2021; 55:1131-1138. DOI: 10.1016/j.trpro.2021.07.083
18. Rydholm T.C., Luhr D.R. Modeling and Analyzing Budget-Constrained Pavement Preservation Strategies. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*. 2014; 2431(1):6-15. DOI: 10.3141/2431-02
19. Ram P. et al. *Remaining Service Interval : a White Paper*. 2021; FHWA-HRT-21-006.
20. Baus R.L. et al. *Mechanistic-empirical pavement design guide implementation*. University of South Carolina. Dept. of Civil & Environmental Engineering, 2010; FHWA-SC-10-01.
21. Tarefder R., Ahmed M.U., Rahman M.M. Evaluating functional and structural condition based maintenances of airfield pavements. *Civil Engineering Dimension*. 2013; 15(2):71-80. DOI: 10.9744/ced.15.2.71-80

Received May 15, 2024.

Adopted in revised form on January 27, 2025.

Approved for publication on January 31, 2025.

B I O N O T E S: **Artem N. Tiraturyan** — Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Automobile Roads; **Don State Technical University (DSTU)**; 1 Gagarin square, Rostov-on-Don, 344000, Russian Federation; ORCID: 0000-0001-5912-1235; tiraturjan@list.ru;

Andrey V. Vorobev — postgraduate student of the Department of Automobile Roads; **Don State Technical University (DSTU)**; 1 Gagarin square, Rostov-on-Don, 344000, Russian Federation; ORCID: 0009-0006-2694-1337; andreyvorobyev19@mail.ru;

Chun Yang — postgraduate student of the Department of Automobile Roads; **Don State Technical University (DSTU)**; 1 Gagarin square, Rostov-on-Don, 344000, Russian Federation; YangChun24@outlook.com.

*Contribution of the authors: all authors have made an equivalent contribution to the preparation of the publication.
The authors declare that there is no conflict of interest.*