

УДК 625.71.8

Оценка ущерба, наносимого загрязняющими веществами от выхлопных газов транспортных средств при реконструкции автомобильной дороги

А. Ф. Колос, В. А. Черняева, О. В. Максимов

Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, Россия, 190031, Санкт-Петербург, Московский пр., 9

Для цитирования: Колос А. Ф., Черняева В. А., Максимов О. В. Оценка ущерба, наносимого загрязняющими веществами от выхлопных газов транспортных средств при реконструкции автомобильной дороги // Известия Петербургского университета путей сообщения. СПб.: ПГУПС, 2024. Т. 21, вып. 2. С. 480–488. DOI: 10.20295/1815-588X-2024-02-480-488

Аннотация

Цель: оценка наносимого ущерба загрязняющими веществами от выхлопных газов транспортных средств при строительстве автомобильных дорог. Земляное полотно — один из важнейших элементов конструкции автомобильной дороги, представленный в виде массива грунта и воспринимающий статические и динамические нагрузки от транспортных средств. Рост интенсивности автомобильных перевозок негативно влияет на окружающую среду. Недостатки организации дорожного движения, в том числе при проведении ремонтных работ, приводят к экологическим ущербам. Объем выбросов вредных веществ определяется пробегом автомобилей, зависит от различных факторов и связан с общим расходом топлива. Актуальной является задача дополнения Методических рекомендаций по выбору рациональных конструкций земляного полотна и их технико-экономическому обоснованию показателем, учитывающим загрязнение окружающей среды, в том числе выбросами парниковых газов за время простоя автомобилей в заторах при реконструкции или капитальном (текущем) ремонте автомобильных дорог, как это требуется в соответствии с [1]. **Методы:** предложена методика расчета ущерба, наносимого загрязняющими веществами от выхлопных газов транспортных средств при строительстве (реконструкции, ремонте) автомобильной дороги. **Результаты:** произведена оценка ущерба, наносимого загрязняющими веществами от выхлопных газов транспортных средств при реконструкции автомобильной дороги при рассмотрении нескольких вариантов конструктивных решений земляного полотна, возводимого на слабых грунтах. **Практическая значимость:** расчеты могут быть включены в основу практических рекомендаций по технико-экономическому обоснованию конструктивных решений земляного полотна автомобильных дорог на слабых основаниях.

Ключевые слова: автомобильная дорога, земляное полотно, технико-экономическое обоснование, загрязняющее вещество, реконструкция, капитальные затраты, эксплуатационные затраты.

Введение

Индивидуальное проектирование земляного полотна в соответствии с действующими нормативно-техническими документами является случаем, когда необходимо обоснование принятых конструктивных, технологических и организационных решений. Частичная или полная замена грунта слабого естественного основа-

ния, осушение болот, устройство вертикальных свай-дрен, устройство легких и облегченных насыпей, использование различных геосинтетических материалов и многие другие методы требуют расчетного обоснования по предельным состояниям, а также соответствующего технико-экономического сравнения [1].

В данный момент обоснование принятых конструктивных, технологических и организационных решений при проектировании конструкций земляного полотна автомобильных дорог проводят на основании разработанной и утвержденной методики, изложенной в [3]. Методология данного документа может быть применена к другим случаям, в которых необходимо проведение технико-экономического обоснования. Все сравниваемые конструктивные решения должны соответствовать требованиям [2] в части обеспечения безопасного и бесперебойного движения транспортных средств. За критерий экономического сравнения принимают минимальное значение затрат на сооружение и эксплуатацию земляного полотна. Дополнительно учитываются социально-экономические потери и эффекты пользователей инфраструктуры и других заинтересованных сторон.

Учет загрязнения окружающей среды при обосновании проектных решений

Необходимо отметить, что в соответствии с требованиями [2] при разработке проектных решений необходимо предусматривать сокращение загрязнения окружающей среды, в частности, за счет сокращения выбросов парниковых газов и снижения вынужденного простоя автомобилей в заторах.

В действующем отраслевом методическом документе [3] не предусмотрена методика расчета ущерба, наносимого пользователям автомобильной дороги или другим заинтересованным сторонам от воздействия выбросов парниковых газов за период строительства, реконструкции автомобильной дороги или проведения других ремонтных работ.

Разработка методики расчета экономической оценки выбросов парниковых газов

при проектировании автомобильных дорог является актуальным направлением развития отраслевых методических документов в области технико-экономического обоснования подходов к проектированию земляного полотна [4].

Предлагается следующая методика расчета:

1. Определение дополнительного времени движения транспортного потока с учетом количества дней проведения работ и количества захваток для конструкции земляного полотна (1):

$$t_{\text{доп}} = t_{\text{пер.}} - t_{\text{св.}}, \quad (1)$$

где $t_{\text{доп}}$ — дополнительное время движения транспортного потока, с;

$t_{\text{пер.}}$ — время движения транспортного потока при перекрытии полосы;

$t_{\text{св.}}$ — время движения транспортного потока при свободном движении.

2. Расчет выбросов загрязняющих веществ от движущегося автотранспорта.

В соответствии с [4] выброс i -го загрязняющего вещества, г/с, движущимся потоком автотранспортных средств на автомобильной дороге (или ее участке) фиксированной протяженности L км вычисляют по формуле (2):

$$M_{Li} = \frac{0,2}{1200 \sum_1^k M_{k,i}^L} \cdot G_k \cdot r_{V_{k,i}}, \quad (2)$$

где L — протяженность автомобильной дороги (или ее участка), км;

$M_{k,i}$ — удельный пробеговый выброс i -го загрязняющего вещества автомобилями k -й группы, г/км;

k — число групп автомобилей;

G_k — фактическая наибольшая интенсивность движения;

$r_{vk,i}$ — поправочный коэффициент, учитывающий среднюю скорость движения потока автотранспортных средств на выбранной автомобильной дороге (или ее участке).

3. Расчет ущерба, наносимого загрязняющими веществами от выхлопных газов транспортных средств при строительстве (реконструкции, ремонте) автомобильной дороги в денежном эквиваленте по формуле (3):

$$Y_{з.в.} = t_{\text{доп}} \cdot M_{Li} \cdot C_{\text{у.е.}}, \quad (3)$$

где $t_{\text{доп}}$ — дополнительное время движения транспортного потока, с;

M_{Li} — выброс i -го загрязняющего вещества, г/с;

$C_{\text{у.е.}}$ — условная единица, выражающая размер ущерба, наносимого окружающей среде различными компонентами автомобильных выбросов, руб.

Расчет экономической оценки выбросов парниковых газов

Для примера рассмотрим насыпи на слабых основаниях:

I вариант — свайное основание, безосадочное;

II вариант — облегченная насыпь из пенополистирольных блоков.

Протяженность автомобильной дороги — 1 км.

Количество полос движения — 4.

Срок строительства земляного полотна

I вариант — 6 месяцев;

II вариант — 4 месяца.

Проводимые мероприятия — реконструкция с перекрытием одной полосы движения на протяжении 200 м на первой захватке, по окончании работ — переход на вторую захватку и далее.

После окончания производства работ на одной полосе осуществляется переход на вторую полосу и проводятся такие же мероприятия.

Реконструкция осуществляется за счет уширения проезжей части автомобильной дороги с 4 до 6 полос движения.

Средняя скорость движения на свободном участке — 80 км/ч.

Средняя скорость движения на участке производства работ — 40 км/ч.

Тогда в соответствии с [2, 4] дополнительное время движения транспортного потока при производстве работ на всем протяжении с учетом сроков производства работ составит:

— для конструкции земляного полотна в виде облегченной насыпи — 17,08 часа;

— для конструкции земляного полотна в виде свайного основания — 25,62 часа.

Выброс i -го загрязняющего вещества M_{Li} , г/с, движущимся потоком автотранспортных средств на автомобильной дороге (или ее участке) составит (табл. 1):

ТАБЛИЦА 1. Количество выделяемых вредных веществ

При скорости 40 км/ч, г/с			При скорости 80 км/ч, г/с		
CO	NO (в пересчете на NO ₂)	SO ₂	CO	NO (в пересчете на NO ₂)	SO ₂
1,14	0,42	0,008	0,76	0,28	0,006

В Финляндии и Швеции разработана условная единица, которая выражает размер причиненного окружающей среде вреда

вследствие выброса автомобилями загрязняющих веществ. Ниже произведен расчет стоимости нанесенного вреда (при переводе

финских марок в российские рубли) окружающей среде вследствие выброса в воздух 1 кг загрязняющих веществ. За 122 дня

производства работ при устройстве облегченной насыпи выбросы загрязняющих веществ и ущерб от них составят (табл. 2):

ТАБЛИЦА 2. Экономическая оценка конструктивных решений

Свайное основание, безосадочное, млн руб.			Облегченная насыпь из пенополистирольных блоков, млн руб.		
По ОДМ 218.2.067-2016	Ущерб загрязняющими веществами	Итого	По ОДМ 218.2.067-2016	Ущерб загрязняющими веществами	Итого
269,5	133,0	402,5	1170,6	88,7	1259,3

Доля ущерба загрязняющими веществами в общих затратах составила (рис. 1):

— свайное основание, безосадочное — 33 %;

— облегченная насыпь из пенополистирольных блоков — 7 %.



Рис. 1. Доля ущерба загрязняющими веществами в общих затратах

Факторы, влияющие на размер ущерба, наносимого окружающей среде автомобильным транспортом при проведении строительного-монтажных работ

При сопоставимых капитальных затратах на строительство земляного полотна оценка ущерба загрязняющими веществами может иметь решающее значение при выборе конструктивного решения. Следовательно, необходимо рассмотреть факторы, которые позволят управлять (планировать, проводить мониторинг, анализировать, оптимизировать) объемом выделяемых вредных веществ в процессе выполнения строительного-монтажных работ.

Количество выделяемых вредных веществ зависит от пробега транспортных средств, который, в свою очередь, зависит от веса отдельного автомобиля, скорости, режима и условий движения, характеристик двигателя, состояния, в котором он находится, напрямую зависящего от расхода топлива.

В частности, загрязнение воздуха от автотранспорта возникает по следующим причинам:

— неудовлетворительное состояние технического обслуживания транспортного средства;

- низкое качество используемого топлива;
- наличие в бензине свинцовых добавок;
- недостаточное развитие системы управления транспортными потоками;
- год выпуска транспортного средства;
- экологический класс транспортного средства;
- экологический класс мотора.

Увеличение срока производства строительно-монтажных работ усугубляет негативное воздействие на окружающую среду от перечисленных выше факторов. На рис. 2–6 приведены графики, которые иллюстрируют влияние срока производства работ, дополнительного времени в пути при различных конструктивных решениях земляного полотна, скорости движения транспортного потока

на размер ущерба, наносимого окружающей среде автомобильным транспортом при проведении строительно-монтажных работ.

Проведенные расчеты показывают, что выбор в пользу облегченной насыпи позволяет снизить время в пути, связанное со снижением скорости и другими ограничениями в период производства работ в рамках реконструкции или ремонтов более чем на 30 %. С увеличением срока строительства скорость движения потока становится более весомым фактором. При одной и той же скорости, например 40 км/ч, затраченное время пользователей в пути по ремонтируемому участку составит для случая с облегченной насыпью ≈ 1500 мин., для случая со свайным основанием — более 2200 мин.

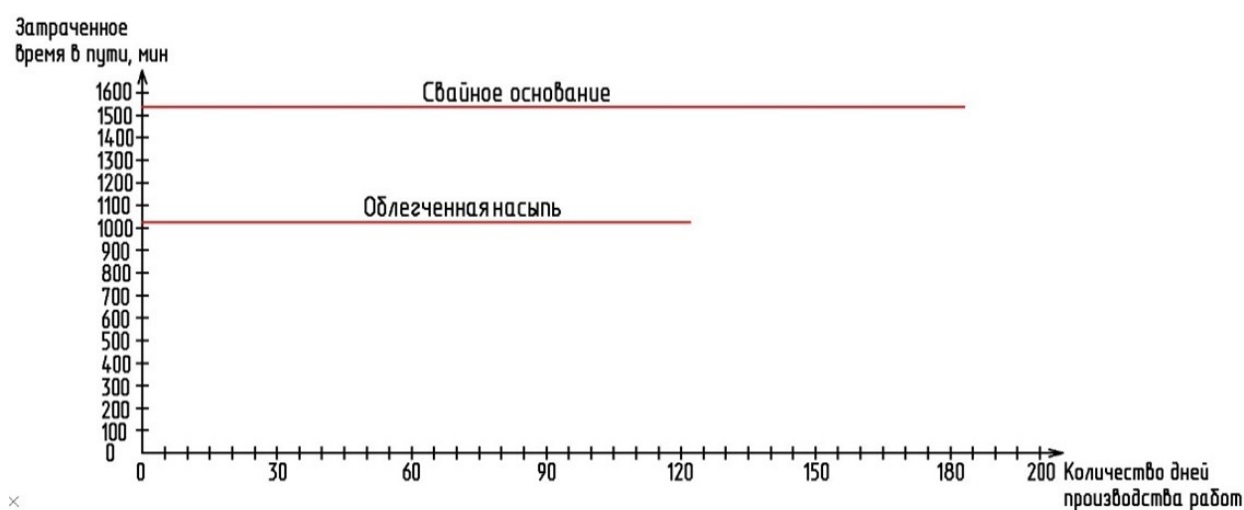


Рис. 2. График зависимости дополнительного времени движения транспортного потока от сроков производства работ

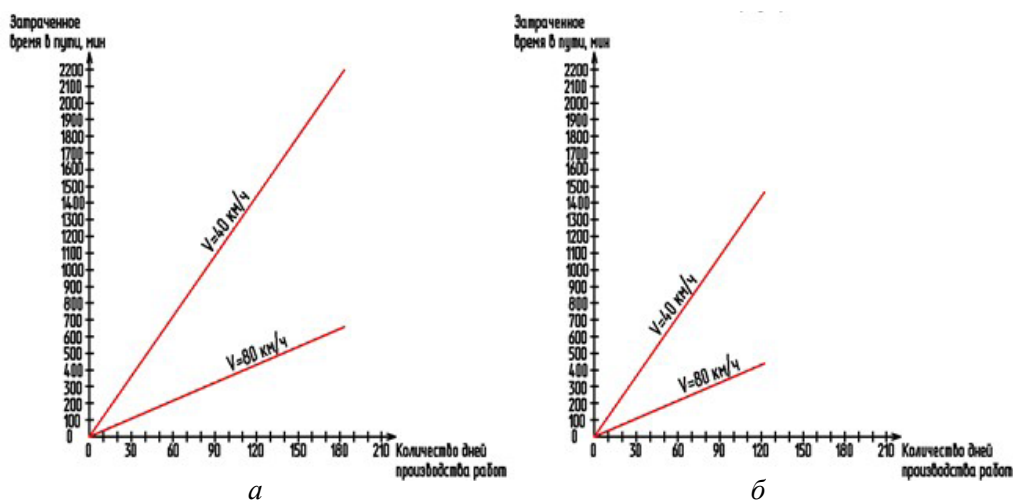


Рис. 3. График зависимости затраченного времени в пути от скорости движения потока при различных конструктивных решениях: *а* – облегченная насыпь; *б* – свайное основание

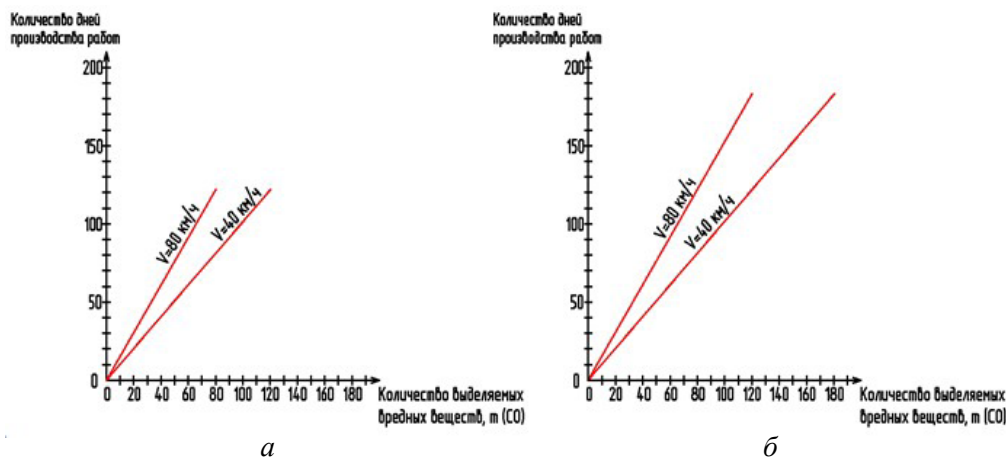


Рис. 4. График зависимости выброса вредных веществ в виде CO от количества дней производства работ при различных конструктивных решениях: *а* – облегченная насыпь; *б* – свайное основание

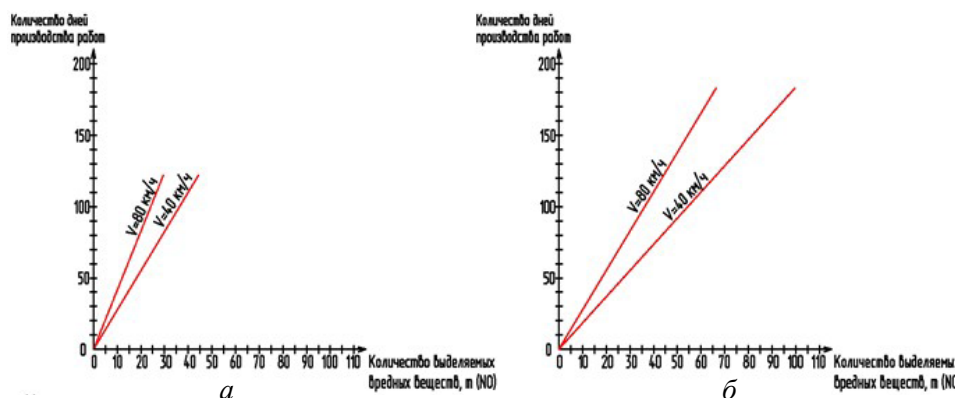


Рис. 5. График зависимости выброса вредных веществ в виде NO от количества дней производства работ при различных конструктивных решениях: *а* – облегченная насыпь; *б* – свайное основание

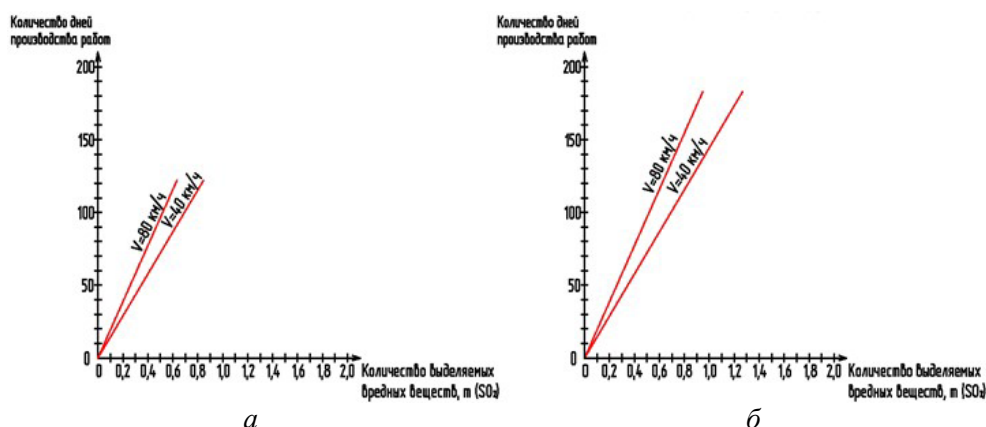


Рис. 6. График зависимости выброса вредных веществ в виде SO_2 от количества дней производства работ при различных конструктивных решениях:
a – облегченная насыпь; *б* – свайное основание

Заключение

Приведенные в статье исследования и расчеты позволяют сделать следующие выводы.

Внедрение методики расчета экономической оценки выбросов парниковых газов при проектировании автомобильных дорог является одним из актуальных направлений развития отраслевых методических документов в области технико-экономического обоснования подходов к проектированию земляного полотна с целью обеспечения требований [2].

Основными факторами, влияющими на размер ущерба, наносимого окружающей среде автомобильным транспортом при строительстве или реконструкции его инфраструктуры, являются:

- затрата дополнительного времени движения транспортного потока при сооружении земляного полотна;
- срок производства работ;
- скорость движения транспортного потока;
- тип транспортного средства.

При производстве работ снижается скорость автомобильного потока, следовательно, выделяется большее количество вредных веществ.

Сравнение двух вариантов конструктивных решений земляного полотна в части оценки ущерба, наносимого окружающей среде, показало, что наименьший ущерб оказывает конструкция с меньшим сроком строительства (для рассмотренного случая — облегченная насыпь из пенополистирольных блоков).

Доля ущерба загрязняющими веществами в общих затратах составила:

- для свайного основания, безосадочного — 33 %;
- для облегченной насыпи из пенополистирольных блоков — 7 %.

При сопоставимых капитальных затратах на строительство земляного полотна оценка ущерба загрязняющими веществами может иметь решающее значение при выборе конструктивного решения.

Библиографический список

1. Колос А. Ф., Ганчиц В. В., Черняева В. А. Новые принципы и подходы планирования организации транспортного строительства // Транспортное строительство. 2017. № 1. С. 6–9.
2. Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 014/2011 «Безопасность автомобильных дорог».

3. ОДМ 218.2.067-2016 «Методические рекомендации по выбору рациональных конструкций земляного полотна на слабых основаниях и их технико-экономическому обоснованию».

4. ГОСТ Р 56162-2019 «Метод расчета количества выбросов загрязняющих веществ в атмосферу потоками автотранспортных средств на автомобильных дорогах разной категории».

5. Седюкевич В. Н., Капский Д. В. Исследования экологичности автомобильных перевозок.

6. Трофименко Ю. В. Оценка сокращения выбросов парниковых газов от автомобильного транспорта — показатель эффективности проектов транспортного планирования.

7. Шмаль А. Г. Факторы экологической опасности & экологические риски. Бронницы: МП «ИКЦ БНТВ», 2010. 191 с.

8. Сафронов Э. А. Транспортные системы городов и регионов. М.: Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2005. 266 с.

9. Вукан Р. Вучик. Транспорт в городах, удобных для жизни. М.: Территория будущего, 2011. 576 с.

10. Суровцева О. Б., Тишкина М. В. Экологическое обоснование проектных решений. М.: Изд-во УМЦ ЖДТ («Маршрут»), 2006.

11. ОДМ 218.6.019-2016 «Рекомендации по организации движения и ограждению мест производства дорожных работ».

Дата поступления: 05.04.2024

Решение о публикации: 13.05.2024

Контактная информация:

КОЛОС Алексей Федорович — канд. техн. наук, доцент; kolos2004@inbox.ru

ЧЕРНЯЕВА Виктория Андреевна — канд. техн. наук, доцент;

chernyaeva@pgups.ru

МАКСИМОВ Олег Владимирович — магистрант; olegmaximov2000@mail.ru

Assessment of damage caused by pollutants from vehicle exhaust gases during highway reconstruction

A. F. Kolos, V. A. Chernyaeva, O. V. Maksimov

Emperor Alexander I Petersburg State Transport University, 9, Moskovsky pr., Saint Petersburg, 190031, Russia

For citation: Kolos A. F., Chernyaeva V. A., Maksimov O. V. Assessment of damage caused by pollutants from vehicle exhaust gases during highway reconstruction // *Proceedings of Petersburg Transport University*. 2024. Vol. 21, iss. 2. P. 480–488. (In Russian). DOI: 10.20295/1815-588X-2024-02-480-488

Abstract

Purpose: assessment of damage caused by pollutants from vehicle exhaust gases during highway construction. The roadbed is one of the most important elements of a highway structure, presented in the form of a mass of soil and receiving static and dynamic loads from vehicles. The increasing intensity of road transport has a negative impact on the environment. The main causes of environmental damage are overloads at intersections, and their effects are delayed in time. For example, when a city highway is laid through an uninhabited area, the damage incurred is less than when the highway passes through densely populated residential areas and is adjacent to urban areas. Poor traffic management leads to environmental damage. The volume of emissions of harmful substances is determined by the mileage of vehicles, depends on various factors and is related to the total fuel consumption. An urgent task is to supplement the Methodological Recommendations for the selection of rational roadbed structures and their feasibility study with an indicator that takes into account environmental pollution, including greenhouse gas emis-

sions, during vehicle downtime in traffic jams during reconstruction or major (current) repairs of highways, such as this is required in accordance with [1]. **Methods:** Taking as a basis the existing methodological recommendations for the selection of rational subgrade structures on weak foundations and their feasibility study [2], calculations were made on the basis of which it is possible to draw a conclusion about the amount of exhaust gases emitted by reducing the flow rate during activities for the reconstruction of the highway. The main concept underlying the methodological document is the optimization of design solutions based on their comprehensive technical and economic assessment, carried out in terms of capital and operating costs, significant socio-economic effects and the duration of the construction period. **Results:** a feasibility study and a technical and economic comparison of design solutions for the reconstruction of the highway were carried out in terms of widening the roadbed built on soft soils. **Practical significance:** Calculations are included in the basis of practical recommendations for the use of design solutions for the construction of roadbeds on soft soils, which gives a clear idea of the technical and economic feasibility of their use in various operating conditions.

Keywords: highway, roadbed, feasibility study, pollutant, reconstruction, capital costs, operating costs.

References

1. Kolos A. F., Ganchicz V. V., Chernyaeva V. A. *Novy`e principy` i podxody` planirovaniya organizacii transportnogo stroitel`stva // Transportnoe stroitel`stvo*. 2017. № 1. S. 6–9. (In Russian)
2. *Texnicheskij reglament Tamozhennogo soyuza TR TS 014/2011 “Bezopasnost` avtomobil`ny`x dorog”*.
3. ODM 218.2.067-2016 “Metodicheskie rekomendacii po vy`boru racional`ny`x konstrukcij zemlyanogo polotna na slaby`x osnovaniyax i ix tekhnicheskomy` ekonomicheskomu obosnovaniyu”. (In Russian)
4. GOST R 56162-2019 “Metod rascheta kolichestva vy`brosov zagryaznyayushhix veshhestv v atmosferu potokami avtotransportny`x sredstv na avtomobil`ny`x dorogax raznoj kategorii”. (In Russian)
5. Sedyukevich V. N., Kapskij D. V. *Issledovaniya e`kologichnosti avtomobil`ny`x perevozok*. (In Russian)
6. Trofimenko Yu. V. *Ocenka sokrashheniya vy`brosov parnikovyx gazov ot avtomobil`nogo transporta — pokazatel` e`ffektivnosti proektov transportnogo planirovaniya*. (In Russian)
7. Shmal` A. G. *Faktoy` e`kologicheskoy opasnosti & e`kologicheskie riski*. Bronnicy: MP “IKCz BNTV”, 2010. 191 s. (In Russian)
8. Safronov E` . A. *Transportny`e sistemy` gorodov i regionov*. M.: Izd-vo Associacii stroitel`ny`x vuzov, 2005. 266 s. (In Russian)
9. Vukan R. Vuchik. *Transport v gorodax, udobny`x dlya zhizni*. M.: Territoriya budushhego, 2011. 576 s.
10. Surovceva O. B., Tishkina M. V. *E`kologicheskoe obosnovanie proektny`x reshenij*. M.: Izd-vo UMCz ZhDT (“Marshrut”), 2006. (In Russian)
11. ODM 218.6.019-2016 “Rekomendacii po organizacii dvizheniya i ograzhdeniyu mest proizvodstva dorozhny`x rabot”. (In Russian)

Received: 05.04.2024

Accepted: 13.05.2024

Author’s information:

Alexey F. KOLOS — PhD tech. Sciences,
Associate Professor;
kolos2004@inbox.ru
Victoria A. CHERNYAEVA — PhD tech. Sciences,
Associate Professor;
chernyaeva@pgups.ru
Oleg V. MAKSIMOV — master’s student;
olegmaximov2000@mail.ru