

Транспортные сооружения / Russian Journal of Transport Engineering <https://t-s.today>

2025, Том 12, № 3 / 2025, Vol. 12, Iss. 3 <https://t-s.today/issue-3-2025.html>

URL: <https://t-s.today/PDF/04SATS325.pdf>

DOI: 10.15862/04SATS325 (<https://doi.org/10.15862/04SATS325>)

2.1.8. Проектирование и строительство дорог, метрополитенов, аэродромов, мостов и транспортных тоннелей (технические науки)

УДК 625.7

## Метод определения возможности единократного пропуска многоосного тяжеловесного автопоезда по автомобильной дороге

Лебедев М.А., Клековкина М.П.

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный  
архитектурно-строительный университет», Санкт-Петербург, Россия

**Автор, ответственный за переписку:** Лебедев Михаил Андреевич, e-mail: [marta2013apple@gmail.com](mailto:marta2013apple@gmail.com)

**Аннотация.** В данной статье изложены особенности воздействия многоосных многоколесных транспортных средств на дорожную конструкцию, с учетом которых предложен пошаговый алгоритм, позволяющий, отталкиваясь от конкретной конфигурации тяжеловесного многоосного и многоколесного автопоезда и дорожной конструкции, определить возможность разового проезда данного транспортного средства по автомобильной дороге без ее разрушения. Среди наиболее существенных черт взаимодействия тяжеловесных многоколесных транспортных средств с дорожными конструкциями в работе выделены большие осевые нагрузки, взаимное наложение радиусов влияния и несимметричность напряженно-деформированного состояния в продольном направлении. Наличие вышеперечисленных особенностей подкреплено обзором научной литературы. Также в работе отмечено влияние динамического воздействия при проезде грузовых транспортных средств на работу дорожной конструкции. Приведен алгоритм оценки расчетных параметров нагружения для многоосных автомобилей с учетом особенностей

напряженно-деформированного состояния, возникающего в конструкции в связи с плотным расположением колес в группах осей друг относительно друга и приложен пример такого расчета для выбранного автопоезда. Для упрощения работы с результатами вычислений предлагается способ компактного и наглядного изложения рассчитанных эквивалентных нагрузок и диаметров на каждое колесо транспортного средства в виде таблиц. По итогам определения расчетных параметров нагружения определены напряжения, возникающие в дорожной конструкции, и на основании их сравнения с предельными напряжениями в слоях конструкции сделан вывод о допустимости разового пропуска.

**Ключевые слова:** многоосное транспортное средство; многоколесное транспортное средство; тяжеловесное транспортное средство; осевые нагрузки; расчетные параметры нагрузки; напряженно-деформированное состояние; дорожная конструкция; дорожная одежда

## Method for determining the feasibility of a single passage of a multi-axle heavy-haul road train on a highway

Mikhail A. Lebedev, Maria P. Klekovkina

Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, Saint Petersburg, Russia

**Corresponding author:** Mikhail A. Lebedev, e-mail: [marta2013apple@gmail.com](mailto:marta2013apple@gmail.com)

**Abstract.** This article outlines the specific features of the impact of multi-axle, multi-wheel vehicles on the road structure. Based on these features, a step-by-step algorithm is proposed, which, starting from a specific configuration of a heavy-haul multi-axle and multi-wheel road train and the road structure, allows for determining the feasibility of a single passage of this vehicle on the highway without its destruction. Among the most significant characteristics of the interaction between heavy-haul multi-wheel vehicles and road structures, the work highlights high axle loads, the mutual overlap of influence radii, and the asymmetry of the stress-strain state in the longitudinal direction. The presence of the aforementioned features is supported by a review of scientific literature. The work also notes the influence of the dynamic impact during the passage of freight vehicles on the performance of the road structure. An algorithm for estimating the design loading parameters for multi-axle

vehicles is provided, taking into account the features of the stress-strain state arising in the structure due to the close arrangement of wheels in axle groups relative to each other, and an example of such a calculation for a selected road train is given. To simplify working with the calculation results, a method for compact and clear presentation of the calculated equivalent loads and diameters for each wheel of the vehicle in the form of tables is proposed. Based on the determination of the design loading parameters, the stresses arising in the road structure are determined, and based on their comparison with the ultimate stresses in the layers of the structure, a conclusion is made about the permissibility of a single passage.

**Keywords:** multi-axle vehicle; multi-wheel vehicle; heavy-haul vehicle; axle loads; design loading parameters; stress-strain state; road structure; pavement

Данная статья доступна по лицензии Creative Commons “Attribution” («Атрибуция») 4.0 Всемирная

This article is available under the Creative Commons “Attribution” 4.0 Global License



## Введение

### Introduction

К рассмотрению заявленной тематики приводит наличие тенденции к повышению весовых параметров грузовых транспортных средств, осуществляющих перемещения грузов по автомобильным дорогам Российской Федерации. Грузоподъемность грузовых автомобилей, а также число всевозможных конфигураций подвижного состава с каждым десятилетием возрастает. Отдельного внимания заслуживают впечатляющие характеристики современных многоосных многоколесных транспортных средств, применяющихся для транспортировки тяжеловесных проектных грузов. Прицепные и самоходные колесные модули, производимые компаниями Sheuerle, Goldhofer и проч., могут осуществлять перемещение груза при осевых нагрузках до 30 т. Учитывая возможность составления из вышеуказанного типа транспортных средств многоосных комбинаций, для перевозки сверхтяжелых грузов могут быть применены транспортные средства с десятками осевых линий. Вышеперечисленные причины приводят к сокращению сроков службы автомобильных дорог, прочностные характеристики которых не могут быть увеличены в той же мере, в которой происходит рост весовых параметров грузовых автомобилей [1; 2].

Осуществление транспортировки сверхтяжелых проектных грузов автомобильным транспортом в ряде случаев неизбежно. Чтобы доставить тяжеловесное и крупногабаритное промышленное оборудование или изделие в порт для его перемещения посредством водного транспорта в рамках мультимодальной перевозки, приходится задействовать многоосные многоколесные автомобили и передвигаться по автомобильным дорогам общего пользования. Расчетные нагрузки А-11,5 и А-10, под которые на данный проектируются дороги общего пользования, сильно меньше осевых и колесных нагрузок, передаваемыми тяжеловесными многоосными автомобилями. Осложняет напряженно-деформированное состояние дорожной конструкции также факт близкого расположения осей и колес транспортного средства друг относительно друга в продольном и поперечном направлении и применяемый тип ошиновки колес [3]. В связи с вышеизложенным, очевидна необходимость учета влияния рассматриваемого в работе типа транспортных средств на дорожную конструкцию.

Механизм учета такого влияния на стадии проектирования дорог закреплен в действующей нормативно-правовой документации. Историю появления и развития этого алгоритма в отечественной нормативной базе подробно описан в работе [4; 5]. Вкратце этот путь может быть описан следующим образом: от методики, позволяющей оценить расчетные параметры грузового автомобиля лишь по номограммам и таблицам для

ограниченного перечня транспортных средств, производимых плановой экономикой СССР, произошел постепенный переход к универсальной методике, позволяющей для любой конфигурации подвижного состава определить расчетные параметры нагрузки. Суть методики состоит в том, чтобы, вычисляя эквивалентные нагрузки на колеса осей транспортного средства, определить наибольшую нагрузку для каждой из осей, и затем принять ее в качестве расчетной при определении коэффициента приведения оси рассматриваемого автомобиля. Суммарным коэффициентом приведения считается сумма коэффициентов приведения каждой оси многоосного многоколесного подвижного состава.

Однако в действующей нормативной документации отсутствует алгоритм оценки напряжений, возникающих в проверяемых на прочность слоях конструкции при проезде тяжеловесных многоосных транспортных средств. Таким образом, при планировании транспортировки по существующей автомобильной дороге с известными деформативными характеристиками, отсутствует возможность стандартизированной оценки прочности конструкции на разовый проезд многоосного многоколесного автомобиля. Поэтому целью работы является изложение алгоритма оценки возможности разового пропуска тяжеловесного транспортного средства с проектным грузом по автомобильной дороге заданной конструкции нежесткого типа с учетом особенностей напряженно-деформированного состояния, возникающего при проезде рассматриваемых в работе автомобилей по дорогам.

## **Основная часть**

### **Main part**

### **Особенности воздействия многоосных многоколесных транспортных средств на дорожную конструкцию**

#### **Features of the impact of multi-axle, multi-wheel vehicles on the road structure**

Ключевыми особенностями воздействия рассматриваемого в работе типа транспортных средств на дорожную конструкцию, являются:

- колоссальные нагрузки на оси и колеса автомобиля, значительно превышающие параметры расчетных нагрузок;
- сближенное расположение колес и осей подвижного состава в поперечном и продольном направлении;
- несимметричное напряженно-деформированное состояние конструкции при приложении движущейся нагрузки в виде группы сближенных осей.

Теперь охарактеризуем каждую из вышеперечисленных черт по порядку.

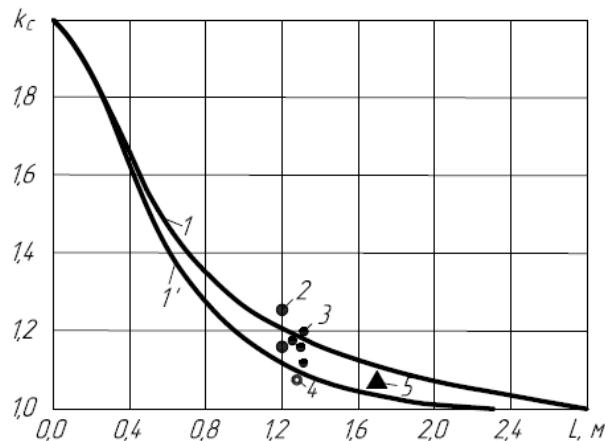
Как было упомянуто во введении, группы нагрузок А-10 и А-11,5 задают в качестве расчетной осевой нагрузки при проектировании дорог нагрузку на ось 10 и 11,5 тонн соответственно, в то время как максимально допустимые по техническим характеристикам осевые нагрузки многоосных модулей могут составлять до 30 тонн.

Такое воздействие будет характеризоваться большими величинами растягивающих и касательных напряжений, возникающих в слоях дорожной одежды.

Анализируя нагрузки, передаваемые на дорожной конструкции сближенными осями и колесами, обратимся к результатам исследований, приведенных в работах Б.С. Радовского и Супруна А.С. [6–8].

Чтобы описать меру вклада нагрузки от колес оси, расположенной спереди от рассматриваемой, в напряженно-деформированное состояние под рассматриваемым колесом, в работе приведены результаты определения коэффициентов спаренности, полученных в рамках различных исследований.

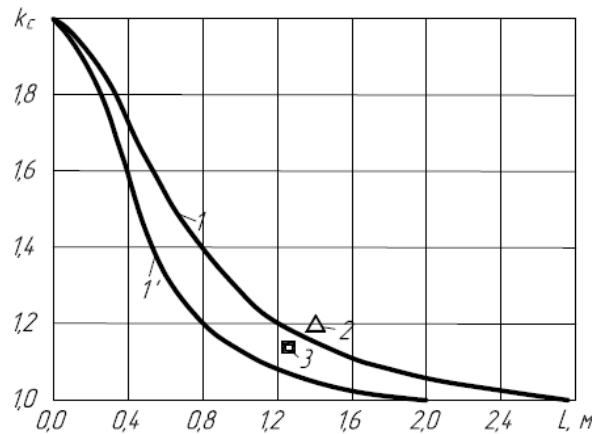
Этот коэффициент показывает, во сколько раз увеличиваются деформации или напряжения под рассматриваемым колесом в группе сдвоенных осей относительно деформаций и напряжений, которые возникали бы в конструкции в том случае, если бы рассматриваемая ось была одиночной. Результаты определения  $k_c$  приведены на рисунках 1 и 2.



- 1, 1' – Госдорнии о прогибах поверхностей дорожных одежд, рассчитанные на воздействие автомобилей групп А и Б
- 2 – ARRB (Австралия) о прогибах при проезде сдвоенных осей с нагрузкой на заднюю тележку 131 и 143 кН
- 3 – AASHO (США) о прогибах при проезде сдвоенных осей с нагрузкой на заднюю тележку 131–143 кН
- 4 – WASHO (США) о прогибах при проезде сдвоенных осей с нагрузкой на заднюю тележку 122 кН
- 5 – Госдорнии о прогибах при проезде двух осей с нагрузками 88 кН

**Рисунок 1.** Коэффициенты спаренности при определении измерения прогибов покрытия (источник [6])

**Figure 1.** Coefficients of pairing when determining the measurement of pavement deflections (source [6])



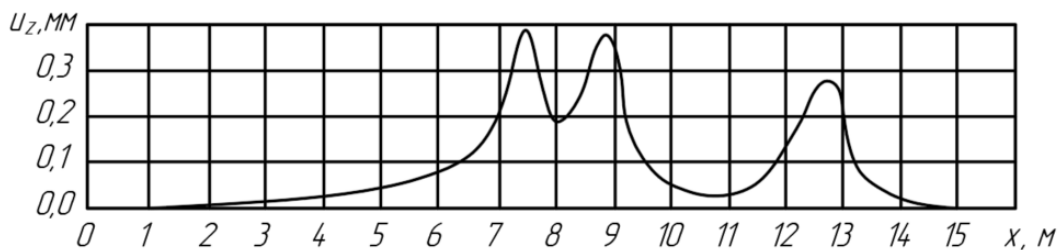
- 1, 1' – Госдзорнии вертикальных нормальных напряжений в грунте земляного полотна конструкции, рассчитанной на воздействие автомобилей групп А и Б  
2 – Ленинградский филиал Союздзорнии о вертикальных напряжениях на поверхности грунта земляного полотна при нагрузке на заднюю тележку 180 кН  
3 – Об относительных деформациях сжатия в грунте земляного полотна при проезде сдвоенных осей с нагрузкой на заднюю тележку 33 кН

**Рисунок 2.** Значения коэффициентов спаренности при определении вертикальных нормальных напряжений в грунте земляного полотна (источник [6])

**Figure 2.** Values of the coefficients of pairing when determining vertical normal stresses in the soil of the subgrade (source [6])

Исходя из приведенных данных можно заключить, что более близкое расположение осей в группе увеличивает меру взаимного наложения нагрузок, и нарастание этого эффекта нелинейно. Этот вывод характерен как при измерении деформаций, так и при определении нормальных вертикальных напряжений в земляном полотне.

Еще одним свидетельством подтверждения взаимного наложения прогибов в группах сближенных осей являются результаты определения чаш прогибов при проезде грузовых транспортных средств. В качестве примера приведем очертание чаши прогиба, полученное при проезде ЗИЛ-133 с задней тележкой в виде группы сдвоенных равнонагруженных осей (рис. 3).



**Рисунок 3.** Прогиб поверхности покрытия при проезде ЗИЛ-133 (источник [6])

**Figure 3.** Deflection of the pavement surface during the passage of a ZIL-133 (source [6])

Одиночный прогиб в правой части рисунка соответствует проезду одиночной передней оси автомобиля, а двухпальный прогиб по центру — вертикальное перемещения поверхности покрытия от проезда сдвоенных

равнонагруженных осей. Этот результат не только демонстрирует, что два прогиба в группе осей накладываются, но и показывает несимметричность прогиба в продольном направлении: под задней осью транспортного средства деформация поверхности покрытия немного больше.

Существенным также является вопрос о применимости принципа суперпозиции при прогнозировании прогибов покрытия для групп равнонагруженных осей. Если данный принцип применим при вышеозначенных условиях, то на основании его можно предсказать прогибы покрытия на основании данных о проезде одиночных осей с нагрузками, равными нагрузкам на оси в группе сближенных осей. Чтобы осуществить проверку применимости принципа суперпозиции, применялась следующая последовательность операций:

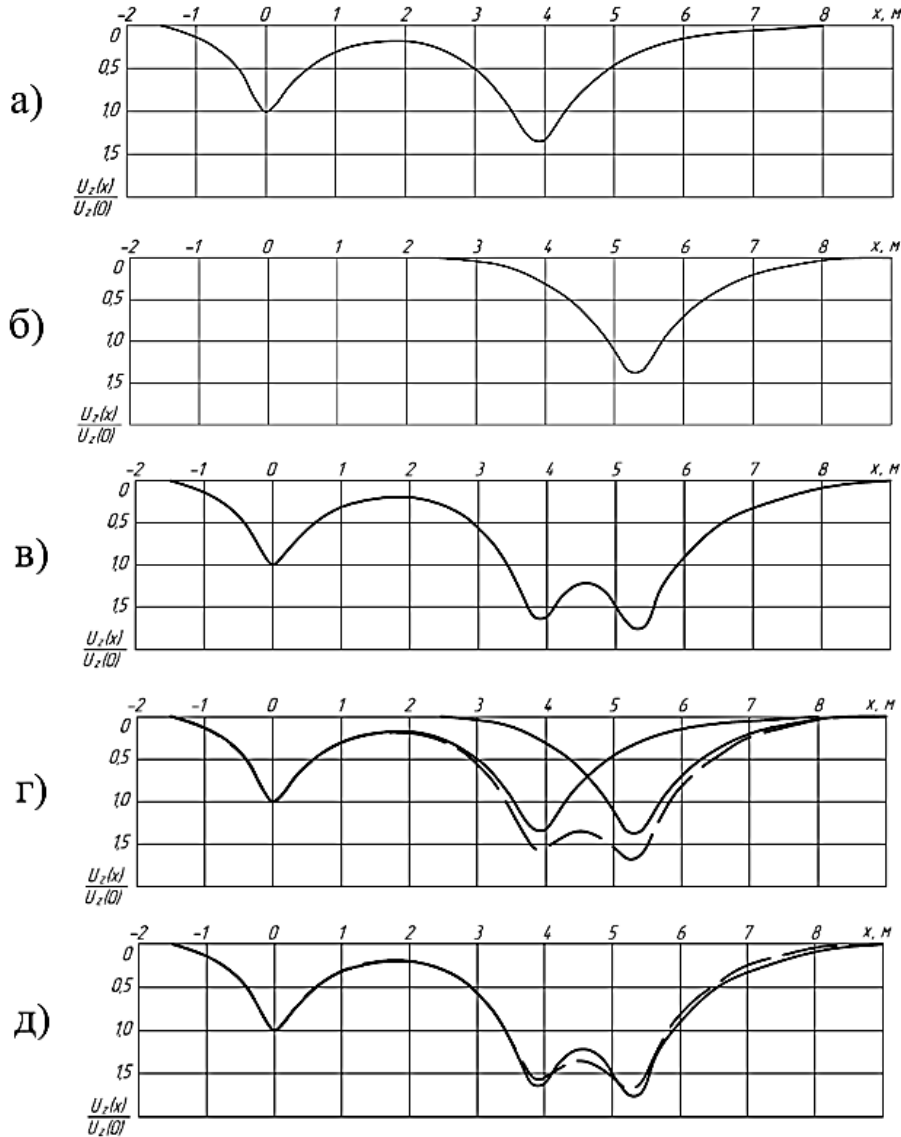
- путем установки датчиков прогиба покрытия была измерена чаша прогиба при проезде грузового двухосного автомобиля с нагрузкой на переднюю и заднюю оси 44 и 90 кН соответственно;
- этим же способом были измерены вертикальные перемещения покрытия при проезде одиночной оси с нагрузкой 90 кН;
- заключительным испытанием являлось измерение чаши прогиба при проезде трехосного грузового транспортного средства со сдвоенной задней тележкой, нагрузки на оси которой составляли по 90 кН на каждую, а на переднюю одиночную ось — 44 кН;
- очертания чаш прогибов при проезде двухосного грузовика и одиночной оси накладывали на график друг относительно друга так, чтобы положение двух осей с нагрузками 44 кН совпадало с положением осей на сдвоенной тележке трехосного автомобиля;
- путем суммирования ординат при наложении графиков получали теоретическую кривую, которую затем сравнивали с экспериментально полученной кривой прогиба трехосного грузовика.

Принцип суперпозиции мог бы считаться применимым, если бы наложение экспериментальной и теоретической кривых показало их идентичность, или хотя бы хорошую сходимость. Все этапы данного эксперимента представлены на рисунке 4.

Авторы работ прокомментировали результаты исследования следующим образом: принцип суперпозиции при прогнозировании прогибов в группах сближенных равнонагруженных осей применим с достаточной для инженерных целей точностью.

Существенным является также учет динамического воздействия на дорожную конструкцию движущегося транспортного средства. Известно, что при движении транспортных средств в силу наличия неровностей

покрытия, а также по причине конструктивных особенностей подвесок автомобилей, нагрузки, передаваемые дорожной конструкции, имеют определенную изменчивость во времени относительно статической нагрузки на ось и колесо.



**Рисунок 4.** Этапы проведения эксперимента по проверке применимости принципа суперпозиции: (а) прогиб при проезде двухосного ТС; (б) чаша прогиба при проезде одиночной оси; (в) очертание поверхности покрытия при движении трехосного грузовика (экспериментальная кривая); (г) получение теоретической кривой (обозначена пунктиром); (д) сравнение экспериментальной и теоретической кривых (источник [6])

**Figure 4.** Stages of the experiment to verify the applicability of the superposition principle: (a) deflection during the passage of a two-axle vehicle; (b) deflection bowl during the passage of a single axle; (c) outline of the pavement surface during the movement of a three-axle truck (experimental curve); (d) obtaining a theoretical curve (indicated by a dashed line); (e) comparison of the experimental and theoretical curves (source [6])

Факторы, влияющие на меру этой изменчивости, исследованы в ряде работ отечественных и зарубежных авторов [9–16]. Так, итогом работ Б.С. Радовского по вопросу учета меры динамического влияния, является зависимость коэффициента динамичности от скорости движения транспортного средства (табл. 1).

Таблица 1 / Table 1

**Зависимость коэффициента динамичности от скорости грузового автомобиля**  
**Dependence of the dynamic impact coefficient on the speed of a freight vehicle**

Скорость, км/ч <i>Speed, km/h</i>	5	10	15	20	30	40	50	60	80	100
К <sub>д</sub>	1,06	1,12	1,17	1,21	1,28	1,34	1,38	1,41	1,45	1,47

*Источник [6] / Source [6]*

В работах Теляева П.И. предлагается назначение коэффициента динамичности 1,3. Исследователями Иллиополовым С.К., Угловой Е.В. и Коноревым А.С. рассматривалось влияние нагрузки на ось и скоростей транспортного средства на меру динамического воздействия. Так, основными выводами работ являются утверждения о том, что возрастание нагрузки на оси из-за смещения соотношения подрессоренных и неподрессоренных масс подвижного состава, приводит к снижению коэффициента динамичности. Таким же образом сказывается и понижение скорости движения автомобиля. Таким образом, при оценке динамического воздействия многоосных многоколесных транспортных средств динамические коэффициенты могут быть назначены меньшими, чем 1,3.

В работах зарубежных исследователей [15; 16] среди факторов, влияющих на изменчивость передаваемых колесами движущихся автомобилей нагрузок, приведен следующий перечень:

- скорость автомобиля;
- конструкция и тип подвески транспортного средства;
- отношение подрессоренных и неподрессоренных масс;
- ровность дорожного покрытия.

В работе Sebon D. и Winkler C.B. для учета меры изменчивости передаваемых нагрузок предложен показатель DLC, который равен отношению среднеквадратического отклонения величин передаваемых колесных нагрузок, измеренных для участка дороги с использованием датчиков Weigh-in-motion, на величину статической нагрузки на колесо рассматриваемого грузовика. Чем больше этот показатель, тем больше вероятность отклонения нагрузки от статической на участке измерения при заданной скорости и нагрузке на ось. Так, коэффициенты DLC возрастают при повышении уровня неровности покрытия и увеличении скорости.

Специалисты организации ОЕСД в своем исследовании изучали величины амплитудных колебаний нагрузок на оси грузовых транспортных средств при проезде их по участку дороги с различными скоростями. При использовании датчиков взвешивания в движении регистрировались отклонения нагрузок на ось от статической. По результатам исследования специалистами сделан вывод о том, что по мере возрастания скорости даже на небольшой шаг, заметно возрастают величины положительны амплитуд колебаний нагрузок, а также уменьшаются значения отрицательных амплитуд.

В действующей нормативно-правовой документации, однако, в качестве коэффициента динамичности независимо от типа ТС, нагрузки на ось и скорости движения, коэффициенты динамичности для расчетов принимаются 1,3.

## **Алгоритм оценки возможности разового пропуска тяжеловесного автопоезда по автомобильной дороге**

### **Algorithm for assessing the feasibility of a single passage of a heavy-haul road train on a highway**

Как было отмечено в работе, многоосные многоколесные автопоезда с превышениями весовых параметров по полной массе и осевым нагрузкам вызывают в слоях дорожной конструкции существенно большие напряжения в сравнении с расчетными нагрузками. Плотное расположение колес друг относительно друга в поперечном и продольном направлении и значительные нагрузки на ось приводят к необходимости учета меры взаимного влияния в группах сближенных осей при определении напряжений, возникающих в дорожной конструкции. Если на стадии проектирования исходя из расчетной нагрузки А-10 или А-11,5 оцениваются напряжения при приложении к покрытию штампа диаметром 37,1 и 34,5 см соответственно, то в случае с определением напряжений, вызываемых проездом колес многоосных автомобилей, использование  $D_d$  недостаточно, и чтобы уточнить расчетные параметры нагрузки для каждого колеса автопоезда, в ГОСТ 71405-2024 предложена следующая формула:

$$Q_{oi}^3 = k_o Q_j c_g c_q, \quad (1)$$

где:

$k_o$  — коэффициент динамичности, принимаемый 1,3;

$Q_j$  — нагрузка на рассматриваемое колесо в статическом состоянии, кН;

$c_g$  — сумма функций, учитывающая вклад нагрузок соседних колес в нагрузку под рассматриваемым колесом в продольном направлении:

$$c_g = \dots + g^e(L_{i-1} / D_\delta) + 1 + g^n(L_{i+1} / D_\delta) + \dots, \quad (2)$$

$$g(L_{ij} / D_{\delta j}) = A_1 e^{-c_1 \cdot k_p (L_{ij} / D_{\delta j})^2} + A_2 e^{-c_2 \cdot k_p (L_{ij} / D_{\delta j})^2}, \quad (3)$$

где:

$c_q$  — результирующая функция воздействия, учитывающая взаимное влияние колес в поперечном направлении:

$$c_q = \dots + q(l_{i-1} / D_\delta) + 1 + q(l_{i+1} / D_\delta) + \dots, \quad (4)$$

$$q(l_{ij} / D_{\delta j}) = B_1 e^{-d_1 \cdot k_p (l_{ij} / D_{\delta j})^2} + B_2 e^{-d_2 \cdot k_p (l_{ij} / D_{\delta j})^2}, \quad (5)$$

где:

$L_{i-1}, L_{i+1}, l_{i-1}, l_{i+1}$  — расстояния между центрами отпечатков колес в группах сближенных осей в продольном и поперечном направлении соответственно;

$k_p$  — коэффициент учета давления воздуха в шинах;

$A_1, A_2, c_1, c_2, B_1, B_2, d_1, d_2$  — коэффициенты, принимаемые по таблицам ГОСТ 71405.

Вычисление эквивалентных нагрузок на колеса многоосного многоколесного транспортного средства было также произведено авторами работ [17; 18]. Однако идея перехода от эквивалентных нагрузок к эквивалентным диаметрам для определения напряжений в конструкции, в данных работах не рассмотрена.

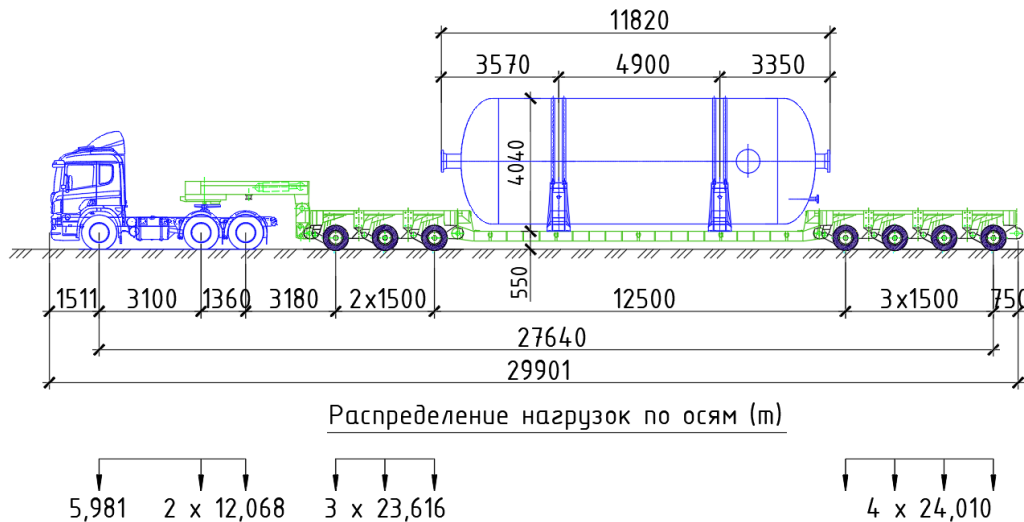
На основании вычисленной по формуле (1) эквивалентной нагрузки выражается эквивалентный диаметр:

$$D_{\delta i}^3 = \sqrt{\frac{4Q_{\delta i}^3}{\pi p}}, \quad (6)$$

Вычисление эквивалентных диаметров производится таким образом для каждого из колес автопоезда, и наибольшее значение принимается затем при определении напряжений в конструкции по номограммам ГОСТ 71404-2024. Следует заметить, что при определении границ влияния нагрузок, передаваемых соседними колесами, на нагрузку под рассматриваемым колесом, радиус влияния принимается равным 2,5 м. При превышении предельных напряжений в проверяемых на прочность слоях конструкции можно констатировать невозможность осуществления разового проезда рассматриваемого транспортного средства.

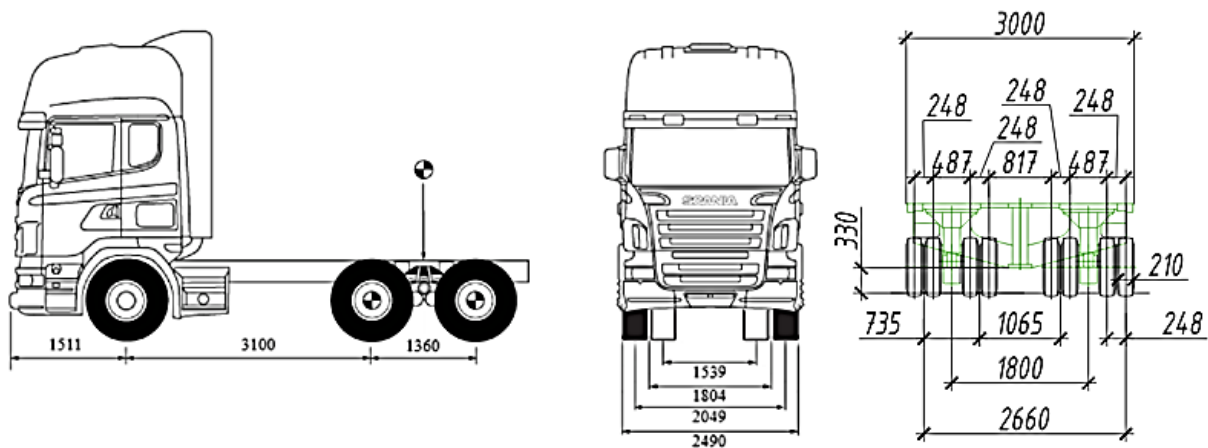
В качестве исходных данных к задаче определения возможности единократного пропуска многоосного ТС, рассмотрим автопоезд с

осевыми нагрузками и габаритными параметрами, представленными рисунке 5 и 6. Осевые нагрузки являются результатом распределения собственной массы транспортного средства, включающего тягач и полуприцеп с установленным на него грузом, между осями подвижного состава [19].



**Рисунок 5.** Нагрузки на оси и габаритные параметры транспортного средства, для которого будет оценена возможность разового проезда (разработано автором)

**Figure 5.** Axle loads and dimensional parameters of the vehicle for which the feasibility of a single passage will be assessed (developed by the author)



**Рисунок 6.** Габаритные параметры тележек тягача и полуприцепа (разработано автором)

**Figure 6.** Dimensional parameters of the tractor and semi-trailer bogies (developed by the author)

Давление в шинах передней оси и задней тележки тягача принимаем 800 кПа и 650 кПа соответственно. Для шин полуприцепа  $p = 1\ 000$  кПа.

Дорожная конструкция и расчетные характеристики, для осуществления оценка, приведены на рисунке 7.

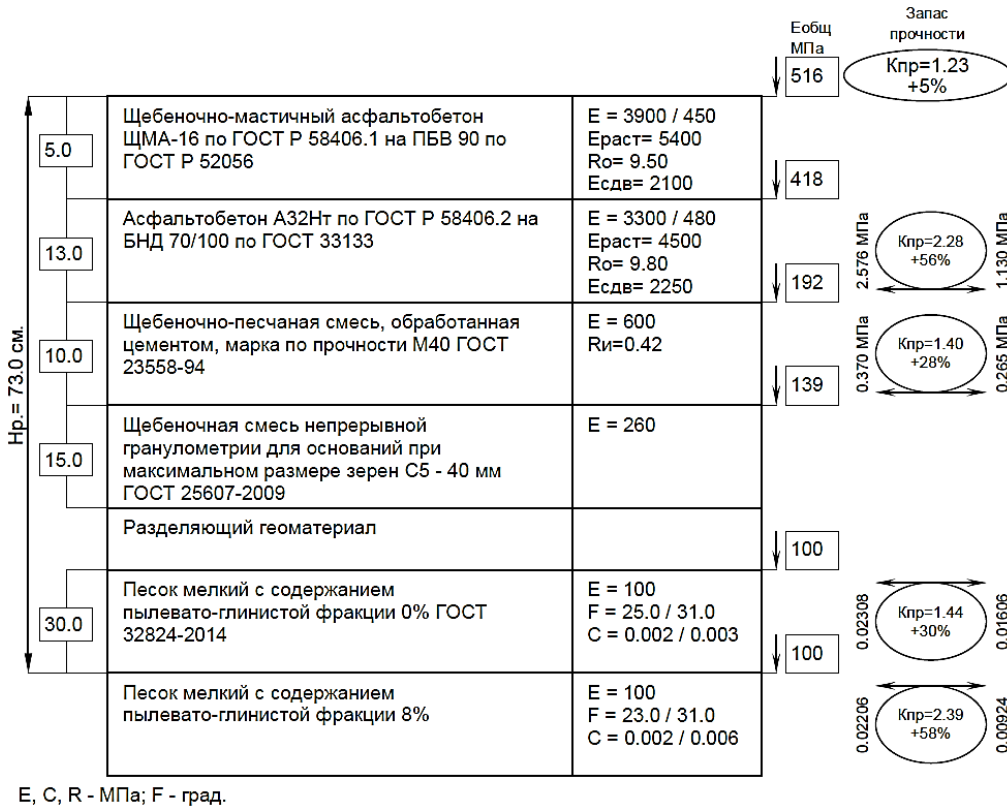


Рисунок 7. Прочностные характеристики дорожной конструкции, принятой для оценки возможности разового проезда (разработано автором)

Figure 7. Strength characteristics of the road structure adopted for assessing the feasibility of a single passage (developed by the author)

Для примера, произведем расчет эквивалентной нагрузки и диаметра для одного из колес полуприцепа (рис. 8).

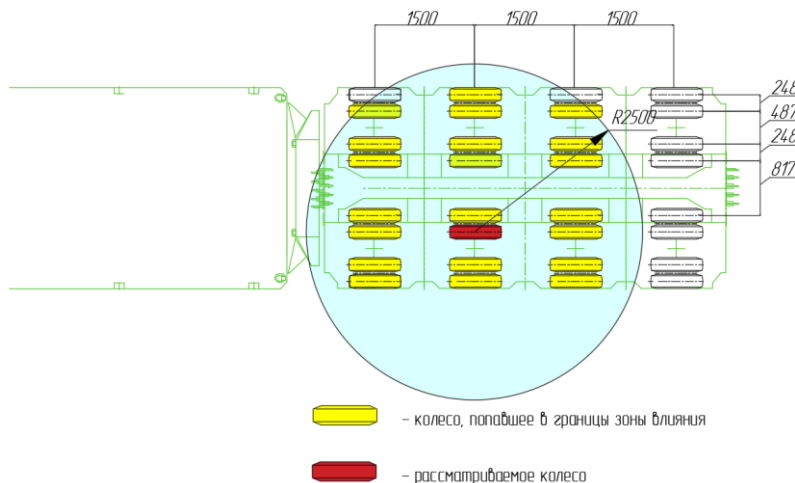


Рисунок 8. Схема расположения колеса полуприцепа (разработано автором)

Figure 8. Scheme of the semi-trailer wheel arrangement (developed by the author)

Статическая нагрузка на данное колесо равна:

$$Q = \frac{240,01}{8} = 30,00 \text{ кН.}$$

Тогда диаметр отпечатка движущегося колеса равен:

$$D_d = \sqrt{\frac{4k_d Q}{\pi p}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 1,3 \cdot 30,00}{3,14 \cdot 1000}} = 0,223 \text{ м.}$$

По формуле (1) эквивалентная нагрузка равна:

$$Q_d^3 = k_o Q c_g c_q = 1,3 \cdot 30,00 [g^B(1,50/0,223) + g^n(1,50/0,223) + 1] \cdot [q(0,248/0,223) + q(0,487/0,223) + q(0,735/0,223) + q(1,065/0,223) + q(1,313/0,223) + q(1,800/0,223) + q(2,048/0,223) + 1]$$

Теперь определим каждый из членов сумм функций, чтобы получить окончательный результат:

$$g^B(1,50/0,223) = A_1 e^{-c_1 \cdot k_p (1,50/0,223)^2} + A_2 e^{-c_2 \cdot k_p (1,50/0,223)^2} = 0,58 \cdot e^{-0,058 \cdot (\frac{500}{1000}) (\frac{1,50}{0,223})^2} + 0,42 \cdot e^{-0,58 \cdot (\frac{500}{1000}) (\frac{1,50}{0,223})^2} = 0,156$$

$$g^n(1,50/0,223) = A_1 e^{-c_1 \cdot k_p (1,50/0,223)^2} + A_2 e^{-c_2 \cdot k_p (1,50/0,223)^2} = 0,49 \cdot e^{-0,140 \cdot (\frac{500}{1000}) (\frac{1,50}{0,223})^2} + 0,51 \cdot e^{-0,64 \cdot (\frac{500}{1000}) (\frac{1,50}{0,223})^2} = 0,021$$

$$q(0,248/0,223) = B_1 e^{-d_1 \cdot k_p (0,248/0,223)^2} + B_2 e^{-d_2 \cdot k_p (0,248/0,223)^2} = 0,40 \cdot e^{-0,065 \cdot (\frac{500}{1000}) (\frac{0,248}{0,223})^2} + 0,60 \cdot e^{-0,44 \cdot (\frac{500}{1000}) (\frac{0,248}{0,223})^2} = 0,841$$

$$q(0,487/0,223) = B_1 e^{-d_1 \cdot k_p (0,487/0,223)^2} + B_2 e^{-d_2 \cdot k_p (0,487/0,223)^2} = 0,40 \cdot e^{-0,065 \cdot (\frac{500}{1000}) (\frac{0,487}{0,223})^2} + 0,60 \cdot e^{-0,44 \cdot (\frac{500}{1000}) (\frac{0,487}{0,223})^2} = 0,552$$

$$q(0,735/0,223) = B_1 e^{-d_1 \cdot k_p (0,735/0,223)^2} + B_2 e^{-d_2 \cdot k_p (0,735/0,223)^2} = 0,40 \cdot e^{-0,065 \cdot (\frac{500}{1000}) (\frac{0,735}{0,223})^2} + 0,60 \cdot e^{-0,44 \cdot (\frac{500}{1000}) (\frac{0,735}{0,223})^2} = 0,336$$

$$q(1,065/0,223) = B_1 e^{-d_1 \cdot k_p (1,065/0,223)^2} + B_2 e^{-d_2 \cdot k_p (1,065/0,223)^2} = 0,40 \cdot e^{-0,065 \cdot (\frac{500}{1000}) (\frac{1,065}{0,223})^2} + 0,60 \cdot e^{-0,44 \cdot (\frac{500}{1000}) (\frac{1,065}{0,223})^2} = 0,194$$

$$q(1,313/0,223) = B_1 e^{-d_1 \cdot k_p (1,313/0,223)^2} + B_2 e^{-d_2 \cdot k_p (1,313/0,223)^2} = 0,40 \cdot e^{-0,065 \cdot (\frac{500}{1000}) (\frac{1,313}{0,223})^2} + 0,60 \cdot e^{-0,44 \cdot (\frac{500}{1000}) (\frac{1,313}{0,223})^2} = 0,130$$

$$q(1,800 / 0,223) = B_1 e^{-d_1 \cdot k_p (1,800/0,223)^2} + B_2 e^{-d_2 \cdot k_p (1,800/0,223)^2} =$$

$$= 0,40 \cdot e^{-0,065 \cdot (\frac{500}{1000}) (\frac{1,800}{0,223})^2} + 0,60 \cdot e^{-0,44 \cdot (\frac{500}{1000}) (\frac{1,800}{0,223})^2} = 0,048$$

$$q(2,048 / 0,223) = B_1 e^{-d_1 \cdot k_p (2,048/0,223)^2} + B_2 e^{-d_2 \cdot k_p (2,048/0,223)^2} =$$

$$= 0,40 \cdot e^{-0,065 \cdot (\frac{500}{1000}) (\frac{2,048}{0,223})^2} + 0,60 \cdot e^{-0,44 \cdot (\frac{500}{1000}) (\frac{2,048}{0,223})^2} = 0,026$$

Запишем результат определения  $Q_d^3$  в окончательном виде:

$$Q_d^3 = 1,3 \cdot 30,00 [0,198 + 0,037 + 1] \cdot [0,841 + 0,552 + 0,336 + 0,194 + 0,130 + 0,048 + 0,026 + 1] = 143,47 \text{ кН}$$

По формуле (6) определяем  $D_{oi}^3$ :

$$D_d^3 = \sqrt{\frac{4 \cdot 143,47}{3,14 \cdot 1000}} = 0,427 \text{ м.}$$

Таким же способом определяем  $Q_d^3$  и  $D_{oi}^3$  для каждого колеса автопоезда. Ввиду необходимости компактного отображения данных, представим результаты определения расчетных параметров в виде матриц, представленных на рисунке 9.

Эквивалентные нагрузки на колеса при $R_Q=2,5$ м для всех колес в каждом слое конструкции											
	1	2	3		4	5	6	7	8	9	10
1	39,86	77,63	89,72	1	96,24	110,64	108,80	98,36	113,39	113,39	111,41
2		80,05	92,52	2	111,82	128,55	126,41	114,35	131,81	131,81	129,51
				3	121,63	139,83	137,50	124,46	143,47	143,47	140,96
				4	117,14	134,66	132,42	119,90	138,21	138,21	135,80
				5	117,14	134,66	132,42	119,90	138,21	138,21	135,80
				6	121,63	139,83	137,50	124,46	143,47	143,47	140,96
3		80,05	92,52	7	111,82	128,55	126,41	114,35	131,81	131,81	129,51
4	39,86	77,63	89,72	8	96,24	110,64	108,80	98,36	113,39	113,39	111,41
$Q_{наиб}$	39,86	80,05	92,52		121,63	139,83	137,50	124,46	143,47	143,47	140,96
Эквивалентные диаметры при $R_Q=2,5$ м для всех колес в каждом слое конструкции											
	1	2	3		4	5	6	7	8	9	10
1	0,252	0,390	0,419	1	0,350	0,375	0,372	0,354	0,380	0,380	0,377
2		0,396	0,426	2	0,377	0,405	0,401	0,382	0,410	0,410	0,406
				3	0,394	0,422	0,418	0,398	0,427	0,427	0,424
				4	0,386	0,414	0,411	0,391	0,419	0,419	0,416
				5	0,386	0,414	0,411	0,391	0,419	0,419	0,416
				6	0,394	0,422	0,418	0,398	0,427	0,427	0,424
3		0,396	0,426	7	0,377	0,405	0,401	0,382	0,410	0,410	0,406
4	0,252	0,390	0,419	8	0,350	0,375	0,372	0,354	0,380	0,380	0,377
$D_{наиб}$	0,252	0,396	0,426		0,394	0,422	0,418	0,398	0,427	0,427	0,424

Рисунок 9. Результаты определения расчетных параметров автопоезда (разработано автором)

Figure 9. Results of determining the design parameters of the road train (developed by the author)

Из приведенных результатов вычислений видно, что наибольший эквивалентный диаметр штампа нагружения для данного автопоезда равен 0,427 м.

Теперь оценим значения напряжений, вызываемых приложением нагрузочного штампа 0,427 м с интенсивностью распределенной нагрузки 1 000 кПа. Для определения растягивающих напряжений в монолитных слоях конструкции, физический смысл возникновения и расчета которых описан в работе [20], используем следующую формулу из ГОСТ 71404:

$$\sigma_r = \overline{\sigma}_r p k_B, \quad (7)$$

где:

$\overline{\sigma}_r$  — напряжение, вызываемое приложением штампа нагружения с единичной интенсивностью;

$p$  — фактическая интенсивность нагрузки, распределенной по диаметру штампа;

$k_B$  — коэффициент, учитывающий тип ошиновки колеса расчетного автомобиля. Для специализированных многоколесных транспортных средств принимается равным 1,0.

Далее приведем формулу для определения активных напряжений сдвига, физический смысл возникновения которых подробно раскрыт в работе [21], в несвязных слоях:

$$T = \overline{\tau}_H p k_B, \quad (8)$$

где:

$\overline{\tau}_H$  — сдвиговые напряжения, вызываемые в конструкции приложением единичной нагрузки.

Теперь определим неизвестные величины  $\overline{\sigma}_r$  и  $\overline{\tau}_H$  в этих формулах. Для этого по номограммам ГОСТ 71404 в зависимости от критериев предельных напряжений для слоев конструкции, проверяемых на прочность, определим величины напряжений от единичной нагрузки:

- в пакете слоев асфальтобетона при  $H/Dэ = 0,42$  и  $Eв/Eн = 24,716$  по критерию  $\sigma_T$  величина напряжений, вызываемых единичной нагрузкой, равна 2,49 МПа;
- в подстилающем слое из мелкого песка с содержанием пылевато-глинистой фракции (ПГФ) 0 % при  $Eв/Eн = 11,55$  и  $H/Dэ = 1$  величина активных напряжений сдвига при приложении единичной нагрузки равна 0,030 МПа;
- в грунте земляного полотна из мелкого песка с ПГФ 8 % при  $Eв/Eн = 7,21$  и  $H/Dэ = 1,7$  сдвиговые напряжения от единичной нагрузки составляют 0,016 МПа.

Произведем вычисления напряжений в слоях конструкции по формулам (7) и (8), и сравним их с максимально допустимыми напряжениями, указанными для выбранной конструкции дорожной одежды на рис. 3:

- в пакете слоев асфальтобетонного покрытия:

$$\sigma_r = \bar{\sigma}_r p k_g = 2,49 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 2,490 \text{ МПа} < 2,576 \text{ МПа};$$

- в подстилающем слое из песка с ПГФ 0 %:

$$T = \bar{\tau}_n p = 0,030 \cdot 1,0 = 0,030 \text{ МПа} > 0,023 \text{ МПа, (превышение 30,4\%);}$$

- в грунте земляного полотна из песка с ПГФ 8 %:

$$T = \bar{\tau}_n p = 0,016 \cdot 1,0 = 0,016 \text{ МПа} < 0,022 \text{ МПа}.$$

Исходя из результатов оценки, можно сделать вывод о наличии превышения предельных напряжений сдвига в подстилающем слое. Несмотря на то, что по остальным критериям допустимые напряжения не превышены, величина превышения в подстилающем слое больше 5 %. Таким образом, многоосный многоколесный тяжеловесный автопоезд, рассматриваемый в работе, не может быть допущен к разовому проезду по автомобильной дороге заданной конструкции без назначения мероприятий по облегчению работы дорожной одежды или усиления конструкции.

## Заключение

### Conclusion

По итогам проделанной работы можно заключить, что поставленная цель в виде формирования метода определения возможности разового проезда тяжеловесного транспортного средства по автомобильной дороге известной конструкции нежесткого типа, достигнута. На пути ее реализации был произведен анализ научной литературы, отражающей особенности работы дорожных конструкций при движении по ним рассматриваемого в работе типа транспортных средств, такие, как взаимное наложение воздействий от нагрузок в группах сближенных осей и несимметричность напряженно-деформированного состояния конструкции в продольном направлении. Также было приведено рассмотрение возможности применимости принципа суперпозиции. Были изучены работы, посвященные динамическому воздействию движущихся грузовых автомобилей на конструкции дорожных одежд. Учет всех этих особенностей и слагает расчет эквивалентных нагрузок и диаметров, которые в работе были определены на примере тяжеловесного многоосного многоколесного автопоезда. На основе их определения на примере конкретной дорожной конструкции нежесткого типа, произведен

расчет напряжений в конструкции и сравнение их с максимально допустимыми. Результат этого сравнения показал наличие превышений в подстилающем слое из песка. Причем, это превышение составляет больше пяти процентов, поэтому рассматриваемый в работе автопоезд не может быть допущен к разовому проезду по заданной дорожной конструкции.

## ЛИТЕРАТУРА

1. **Лебедев, М.А.** Влияние допустимых весовых параметров для грузовых транспортных средств на безопасность движения и сроки службы автомобильных дорог / М.А. Лебедев // *Магистратура — автотранспортной отрасли: Материалы VIII Всероссийской межвузовской конференции "Магистерские слушания"*, Санкт-Петербург, 26–27 октября 2023 года. — Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, 2024. — С. 51–59. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=67899669> EDN: [XHTBWO](https://elibrary.ru/item.asp?id=67899669) (дата обращения: 10.07.2025).
2. **Амиров, А.Т.** Обоснование назначения расчетных нагрузок дорожных одежд / А.Т. Амиров // *Вестник Махачкалинского филиала МАДИ*. — 2011. — № 11. — С. 30–32. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=27680447> EDN: [XHTABT](https://elibrary.ru/item.asp?id=27680447) (дата обращения: 10.07.2025).
3. **Конорев, А.С.** Влияние различных типов шин на дорожные конструкции / А.С. Конорев, В.В. Акулов // *Строительство и архитектура* — 2015: материалы международной научно-практической конференции, Ростов-на-Дону, 26–27 ноября 2015 года / ФГБОУ ВПО "Ростовский государственный строительный университет", Союз строителей южного федерального округа, Ассоциация строителей Дона. Том 3. — Ростов-на-Дону: Редакционно-издательский центр РГСУ, 2015. — С. 192–193. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=24981370> EDN: [VARIXF](https://elibrary.ru/item.asp?id=24981370) (дата обращения: 10.07.2025).
4. **Лебедев, М.А.** Исторические аспекты развития способов оценки воздействия многоосных транспортных средств на дорожную конструкцию в отечественной нормативно-правовой документации / М.А. Лебедев // *Материалы IX Всероссийской межвузовской конференции "Магистерские слушания"*. — Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, 2025. — С. 164–177. URL: [https://www.spbgasu.ru/upload/iblock/147/3q9bynp0eoa0mwcobed5fg9vyvho7vol/%D0%A1%D0%B1\\_%D0%9C%D0%B0%D0%B3%D0%B8%D1%81%D1%82%D1%80%D0%B0%D1%82%D1%83%D1%80%D0%B0%20%D0%B0%D0%B2%D1%82%D0%BE%D1%82%D1%80%D0%B0%D0%BD%D1%81%D0%BF%D0%BE%D1%80%D1%82%D0%B0%20%D0%B4%D0%BB%D1%8F%20%D0%B1%D0%B8%D0%B1%D0%BB.pdf](https://www.spbgasu.ru/upload/iblock/147/3q9bynp0eoa0mwcobed5fg9vyvho7vol/%D0%A1%D0%B1_%D0%9C%D0%B0%D0%B3%D0%B8%D1%81%D1%82%D1%80%D0%B0%D1%82%D1%83%D1%80%D0%B0%20%D0%B0%D0%B2%D1%82%D0%BE%D1%82%D1%80%D0%B0%D0%BD%D1%81%D0%BF%D0%BE%D1%80%D1%82%D0%B0%20%D0%B4%D0%BB%D1%8F%20%D0%B1%D0%B8%D0%B1%D0%BB.pdf) (дата обращения: 10.07.2025).
5. **Лебедев, М.А.** Анализ влияния нагрузки от проезда многоосных многоколесных транспортных средств на дорожную конструкцию / М.А. Лебедев // *Перспективы современного строительства: Сборник статей участников II Национальной (всероссийской) научно-технической конференции*, Санкт-Петербург, 04–06 марта 2024 года. — Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, 2024. — С. 578–589. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=80306003> EDN: [ZRRWXS](https://elibrary.ru/item.asp?id=80306003) (дата обращения: 10.07.2025).
6. **Радовский, Б.С.** Проектирование дорожных одежд для движения большегрузных автомобилей / Б.С. Радовский, А.С. Супрун, И.И. Козаков. — К.: Будивэльнык, 1989. — 168 с. URL: <https://search.rsl.ru/ru/record/01001468587> (дата обращения: 10.07.2025).
7. **Радовский, Б.С.** Расчёт нежёстких дорожных одежд на действие многоосных многоколёсных транспортных средств / Б.С. Радовский, А.С. Супрун // *Автомобильные дороги*. — 1983. — № 4. — С. 21–22. URL: [https://www.booksite.ru/dorogi/1983/1983\\_4.pdf](https://www.booksite.ru/dorogi/1983/1983_4.pdf) (дата обращения: 10.07.2025).
8. **Ковальчик, Я.П.** Воздействие тяжёлого грузового движения на дорожные одежды сельскохозяйственных дорог / Я.П. Ковальчик, А.С. Супрун // *Автомобильные дороги*. — 1982. — № 12. — С. 15–16. URL: [https://www.booksite.ru/dorogi/1982/1982\\_12.pdf](https://www.booksite.ru/dorogi/1982/1982_12.pdf) (дата обращения: 10.07.2025).
9. **Радовский, Б.С.** Поведение дорожной конструкции как слоистой вязкоупругой среды под действием подвижной нагрузки / Б.С. Радовский // *Известия вузов. Строительство и архитектура*. — 1975. — № 3. — С. 78–89.

10. **Теляев, П.И.** Обоснование значений динамического коэффициента к нагрузке применительно к расчету дорожных одежд / П.И. Теляев, Ю.И. Смирнов // Труды Союздорнии, Совершенствование конструкций и методов проектирования дорожных одежд. — М., 1979. — С. 19–27.
11. **Илиополов, С.К.** Динамика дорожных конструкций: моногр. / С.К. Илиополов, М.Г. Селезнев, Е.В. Углова. — Ростов-на-Дону: Издательство Ростовского государственного строительного университета, 2002. — 258 с.
12. **Углова, Е.В.** Учёт динамического воздействия транспортных средств на нежёсткие дорожные покрытия / Е.В. Углова, А.С. Конорев // Наука и техника в дорожной отрасли. — 2011. — № 1(56). — С. 21–24. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=15613068> EDN: [LVMWHN](https://elibrary.ru/edn/LVMWHN) (дата обращения: 10.07.2025).
13. **Конорев, А.С.** Определение величины динамического воздействия транспортных средств на дорожную конструкцию для расчета значений коэффициентов приведения / А.С. Конорев // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. — 2011. — № 4(24). — С. 118–127. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=17087242> EDN: [MYNSWN](https://elibrary.ru/edn/MYNSWN) (дата обращения: 10.07.2025).
14. **Углова, Е.В.** Определение суммарных коэффициентов приведения транспортных средств к расчетной нагрузке с учётом ровности покрытия, скорости движения и осевой нагрузки транспортных средств / Е.В. Углова, А.С. Конорев, В.В. Акулов // Интернет-журнал Науковедение. — 2012. — № 4(13). — С. 215. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=18822642> EDN: [PVXHLLR](https://elibrary.ru/edn/PVXHLLR) (дата обращения: 10.07.2025).
15. **Cebon, D.** Multiple-sensor Weigh-in-motion: Theory and Experiments / D. Cebon, C.B. Winkler // Transportation Research Record. — 1991. — No. 1311. — P. 70–78. URL: <https://onlinepubs.trb.org/Onlinepubs/trr/1991/1311/1311-010.pdf> (дата обращения: 10.07.2025).
16. **OECD road transport research.** Technical report: Dynamic interaction between vehicles and infrastructure experiment (DIVINE). — OECD. Paris, 1998. URL: <https://one.oecd.org/document/DSTI/DOC/IR6%2898%29/FINAL/En/pdf> (дата обращения: 10.07.2025).
17. **Бобнева, А.Н.** Учет воздействия на дорожную одежду многоосных транспортных средств со сближенными осями при перевозке негабаритных и тяжеловесных грузов / А.Н. Бобнева // Инновации и инвестиции. — 2022. — № 11. — С. 269–271. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=49905690> EDN: [BIAQZO](https://elibrary.ru/edn/BIAQZO) (дата обращения: 10.07.2025).
18. **Бондарева, Э.Д.** Учет влияния многоосных транспортных средств при проектировании дорожных одежд автомобильных дорог / Э.Д. Бондарева, М.П. Клековкина, М.Ю. Горский // Инновации и инвестиции. — 2024. — № 4. — С. 583–586. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=67222153> EDN: [OYTVRU](https://elibrary.ru/edn/OYTVRU) (дата обращения: 10.07.2025).
19. **Сокол, П.А.** Анализ действия внешних сил и реакций на седельный тягач и полуприцеп / П.А. Сокол, Р.В. Могутнов, К.А. Шевченко, Н.С. Удадых // Человек и современный мир. — 2020. — № 2(39). — С. 55–67. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=42558451> EDN: [NBZRZE](https://elibrary.ru/edn/NBZRZE) (дата обращения: 10.07.2025).
20. **Мазуров, В.А.** Расчет асфальтобетонных покрытий на изгиб / В.А. Мазуров, П.И. Теляев // Автомобильные дороги. — 1983. — № 4. — С. 21–22. URL: [https://www.booksite.ru/dorogi/1983/1983\\_4.pdf](https://www.booksite.ru/dorogi/1983/1983_4.pdf) (дата обращения: 10.07.2025).
21. **Радовский, Б.С.** Об эволюции критерия Кулона: от строительства фортификационных сооружений до проектирования дорог / Б.С. Радовский // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. — 2010. — № 5-1(85). — С. 109–113. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44641671> EDN: [DSUFWJ](https://elibrary.ru/edn/DSUFWJ) (дата обращения: 10.07.2025).

---

#### Сведения об авторах:

**Лебедев Михаил Андреевич** — ассистент, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет», Санкт-Петербург, Россия,  
e-mail: [marta2013apple@gmail.com](mailto:marta2013apple@gmail.com)  
РИНЦ: [https://elibrary.ru/author\\_profile.asp?id=1303258](https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=1303258)

**Клековкина Мария Петровна** — кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет», Санкт-Петербург, Россия,  
e-mail: [mklekovkina@lan.spbgasu.ru](mailto:mklekovkina@lan.spbgasu.ru)  
РИНЦ: [https://elibrary.ru/author\\_profile.asp?id=782013](https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=782013)

---

Статья получена: 21.08.2025. Принята к публикации: 27.10.2025. Опубликована онлайн: 10.11.2025.

## REFERENCES

1. Lebedev M.A. The impact of the trend towards increasing permissible weight parameters for freight vehicles on the existing road network. In: [Master's degree in the motor transport industry: Proceedings of the VIII All-Russian Interuniversity Conference "Master's Hearings", St. Petersburg, October 26–27, 2023.]. Saint Petersburg: Sankt-Peterburgskij gosudarstvennyj arhitekturno-stroitel'nyj universitet; 2024:51–59. Available from: <https://elibrary.ru/item.asp?id=67899669> (accessed 10th July 2025). (In Russ., abstract in Eng.).
2. Amirov A.T. [Rationale for the assignment of design loads for road pavements]. *Bulletin of the Makhachkala Branch of MADI*. 2011;(11):30–32. Available from: <https://elibrary.ru/item.asp?id=27680447> (accessed 10th July 2025). (In Russ.).
3. Konorev A.S., Akulov V.V. [The effect of different types of tires on road structures]. In: [Construction and Architecture — 2015: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference, Rostov-on-Don, November 26–27, 2015]. Vol 3. Rostov-on-Don: Redakcionno-izdatel'skij tsentr RGSU; 2015:192–193. Available from: <https://elibrary.ru/item.asp?id=24981370> (accessed 10th July 2025). (In Russ.).
4. Lebedev M.A. Historical aspects of the development of methods of assessing the impact of multi-axle vehicles on road structures in domestic regulatory documentation. In: [Master's Degree in the Automotive Industry: Proceedings of the IX All-Russian Interuniversity Conference "Master's Degree Hearings", October 24–25, 2024]. Saint Petersburg: Sankt-Peterburgskij gosudarstvennyj arhitekturno-stroitel'nyj universitet; 2025:164–177. Available from: <https://www.spbgasu.ru/upload/iblock/147/3q9bynp0coa0mwcobed5fg9vyvho7vol/%D0%A1%D0%B1%D0%9C%D0%B0%D0%B3%D0%B8%D1%81%D1%82%D1%80%D0%B0%D1%82%D1%83%D1%80%D0%B0%20%D0%B0%D0%B2%D1%82%D0%BE%D1%82%D1%80%D0%B0%D0%BD%D1%81%D0%BF%D0%BE%D1%80%D1%82%D0%B0%20%D0%B4%D0%BB%D1%8F%20%D0%B1%D0%B8%D0%B1%D0%BB.pdf> (accessed 10th July 2025). (In Russ.).
5. Lebedev M.A. Analysis of the influence of load from the passage of multi-axle multi-wheel vehicles on road structure. In: [Prospects of modern construction: Collection of articles by participants of the II National (All-Russian) Scientific and Technical Conference, St. Petersburg, March 4–6, 2024]. Saint Petersburg: Sankt-Peterburgskij gosudarstvennyj arhitekturno-stroitel'nyj universitet; 2024:578–589. Available from: <https://elibrary.ru/item.asp?id=80306003> (accessed 10th July 2025). (In Russ., abstract in Eng.).
6. Radovskij B.S., Suprun A.S., Kozakov I.I. [Design of road surfaces for heavy-duty vehicle traffic]. K.: Budivel'nik; 1989. 168 p. Available from: <https://search.rsl.ru/ru/record/01001468587> (accessed 10th July 2025). (In Russ.).
7. Radovskij B.S., Suprun A.S. [Calculation of flexible road surfaces for the action of multi-axle two-wheeled vehicles]. *Avtomobil'nyye dorogi [Car roads]*. 1983;(4):21–22. Available from: [https://www.booksite.ru/dorogi/1983/1983\\_4.pdf](https://www.booksite.ru/dorogi/1983/1983_4.pdf) (accessed 10th July 2025). (In Russ.).
8. Koval'chik Ya.P., Suprun A.S. [Impact of heavy truck traffic on agricultural road surfaces]. *Avtomobil'nyye dorogi [Car roads]*. 1982;(12):15–16. Available from: [https://www.booksite.ru/dorogi/1982/1982\\_12.pdf](https://www.booksite.ru/dorogi/1982/1982_12.pdf) (accessed 10th July 2025). (In Russ.).
9. Radovskij B.S. [Behavior of a road structure as a layered viscoelastic medium under the action of a moving load]. *Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo i arhitektura [News from universities. Construction and architecture]*. 1975;(3):78–89. (In Russ.).
10. Telyaev P.I., Smirnov Yu.I. [Justification of the values of the dynamic load coefficient in relation to the calculation of road surfaces]. *Trudy Soyuzdornii, Sovershenstvovaniye konstruksiy i metodov proyektirovaniya dorozhnykh odezhd [Proceedings of Soyuzdornii, Improvement of designs and methods for designing road surfaces]*. Moscow; 1979:19–27. (In Russ.).
11. Iliopolov S.K., Seleznev M.G., Uglova E.V. [Dynamics of Road Structures: Monograph]. Rostov-on-Don: Izdatel'stvo Rostovskogo gosudarstvennogo stroitel'nogo universiteta; 2002. 258 p. (In Russ.).
12. Uglova Ye.V., Konorev A.C. The account of dynamic influence of vehicles on flexible road pavements. *Advanced Science and Technology for Highways*. 2011;1(56):21–24. Available from: <https://elibrary.ru/item.asp?id=15613068> (accessed 10th July 2025). (In Russ., abstract in Eng.).
13. Konorev A.S. Estimation of a dynamic impact of transport facilities on the road structure for calculating values of reduction factors. *Scientific Herald of the Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering. Construction and Architecture*. 2012;4(16):45–57. Available from: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=18013439> (accessed 10th July 2025). (In Eng.).

14. Uglova E.V., Konorev A.S., Akulov V.V. Determination of total fertility bring the vehicles to the design load with the evenness of coverage, speed and axle load of vehicles. *Naukovedenie*. 2012;4(13):215. Available from: <https://elibrary.ru/item.asp?id=18822642> (accessed 10th July 2025). (In Russ., abstract in Eng.).
15. Cebon D., Winkler C.B. Multiple-sensor Weigh-in-motion: Theory and Experiments. *Transportation Research Record*. 1991;(1311):70–78. Available from: <https://onlinepubs.trb.org/Onlinepubs/trr/1991/1311/1311-010.pdf> (accessed 10th July 2025). (In Eng.).
16. OECD road transport research. Technical report: Dynamic interaction between vehicles and infrastructure experiment (DIVINE). Paris: OECD; 1998. Available from: <https://one.oecd.org/document/DSTI/DOT/RTR/IR6%2898%291/FINAL/En/pdf> (accessed 10th July 2025). (In Eng.).
17. Bobneva A.N. Calculation of impact on the roadbed of multi-axle vehicles with closely spaced axes during transportation of oversized and heavy loads. *Innovation & Investment*. 2022;(11):269–271. Available from: <https://elibrary.ru/item.asp?id=49905690> (accessed 10th July 2025). (In Russ., abstract in Eng.).
18. Bondareva E.D., Klekovkina M.P., Gorsky M.Yu. Accounting the influence of multi-axle vehicles in the design of highway road pavements. *Innovation & Investment*. 2024;(4):583–586. Available from: <https://elibrary.ru/item.asp?id=67222153> (accessed 10th July 2025). (In Russ., abstract in Eng.).
19. Sokol P.A., Mogutnov R.V., Shevchenko K.A., Udalykh N.S. [Analysis of the effects of external forces and reactions on a tractor and semitrailer]. *Man and the Modern World*. 2020;2(39):55–67. Available from: <https://elibrary.ru/item.asp?id=42558451> (accessed 10th July 2025). (In Russ.).
20. Mazurov V.A., Telyaev P.I. [Calculation of asphalt concrete pavement bending strength]. *Avtomobil'nyye dorogi [Car roads]*. 1983;(4):21–22. Available from: [https://www.booksite.ru/dorogi/1983/1983\\_4.pdf](https://www.booksite.ru/dorogi/1983/1983_4.pdf) (accessed 10th July 2025). (In Russ.).
21. Radovskiy B.S. About the evolution of Coulomb's criterion: from building of fortification buildings to designing of roads. *Proceeding of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture*. 2010;5-1(85):109–113. Available from: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44641671> (accessed 10th July 2025). (In Russ., abstract in Eng.).

---

**Information about the authors:**

**Mikhail A. Lebedev** — Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, Saint Petersburg, Russia, e-mail: [marta2013apple@gmail.com](mailto:marta2013apple@gmail.com)  
RSCI: [https://elibrary.ru/author\\_profile.asp?id=1303258](https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=1303258)

**Maria P. Klekovkina** — Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, Saint Petersburg, Russia, e-mail: [mklekovkina@lan.spbgasu.ru](mailto:mklekovkina@lan.spbgasu.ru)  
RSCI: [https://elibrary.ru/author\\_profile.asp?id=782013](https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=782013)

---

Submitted: 21st August 2025. Revised: 27th October 2025. Published online: 10th November 2025.