

Транспортные услуги. Инженерия и инженерное дело

<https://doi.org/10.63377/3005-4966.3-2024-09>

УДК: 625.738.33

МРНТИ: 73.31.11

Исследование по воздействию многоосных автомобилей на степень разрушения дорог***¹Рабат О.Ж., ²Джунушев Д.А.**¹Казахский автомобильно-дорожный институт имени Л.Б. Гончарова, г. Алматы, Казахстан²Алматинский автомобильно-дорожный колледж, г. Алматы, Казахстан*Автор-корреспондент email: rabit747@mail.ru**Аннотация**

Проведен анализ правового обеспечения регулирования движения крупногабаритных и тяжеловесных автотранспортных средств. В соответствии с действующим законодательством Республики Казахстан автотранспортное средство считается крупногабаритным, если его габариты по длине и ширине (с грузом или без груза) превышают максимальные значения, установленные законодательством для проезда по автомобильным дорогам Республики Казахстан. В связи с этим, разработана методика оценки изменения требуемого модуля упругости автомобильной дороги и конструктивных особенностей тяжеловесного транспортного средства. Как показали вычисления, с увеличением грузоподъемности и количества осей транспортных средств наблюдается рост величины требуемого модуля упругости и снижение эквивалентного модуля упругости для одной и той же конструкции дорожной одежды нежесткого типа. В то время, как коэффициент прочности снижается. Это приводит к тому, что данную конструкцию нельзя использовать для расчетной нагрузки А3 с грузоподъемностью транспортных средств более 10 т. Следовательно, для данной дорожной одежды унифицированной (оптимальной) расчетной нагрузкой А1 и А2 могут выступать двух и трехосные транспортные средства с грузоподъемностью до 10 т. Таким образом, результаты проведенных исследований подтверждают необходимость пересмотра и адаптации существующих нормативных требований к проектированию автомобильных дорог в условиях роста грузоперевозок и увеличения доли тяжеловесного транспорта.

Ключевые слова: крупногабаритные и тяжеловесные автотранспортные средства, грузоподъемность, модуля упругости, автомобильной дороги, коэффициент прочности, дорожная одежда, расчетная нагрузка, двух- и трехосные транспортные средства.

Поступила:
17 апреля 2024
Рецензирование:
28 мая 2024
Принята в печать:
29 июня 2024

Рабат О.Ж.**Информация об авторах:**

Доктор технических наук, профессор, Казахский автомобильно-дорожный институт имени Л.Б. Гончарова, г. Алматы, Республика Казахстан, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-1758-6621>. E-mail: rabit747@mail.ru

Джунушев Д.А.

Преподаватель Алматинского автомобильно-дорожного колледжа, г. Алматы, Республика Казахстан, ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0009-2026-9334>. E-mail: dzoldoshbek@gmail.com

Көлік қызметі. Инженерия және инженерлік іс

<https://doi.org/10.63377/3005-4966.3-2024-09>

ӘОЖ: 625.738.33

FTAMP: 73.31.11

Көп осыті автомобильдердің жолдардың бұзылу дәрежесіне әсері туралы зерттеу

*¹Рабат О.Ж., ²Джунушев Д.А.

¹Л.Б. Гончаров атындағы Қазақ автомобиль-жол институты, Алматы қ, Қазақстан

²Алматы автомобиль-жол колледжі, Алматы қ, Қазақстан

*Автор-корреспондент email: rabat747@mail.ru

Түйіндеме

Ірі көлемді және ауыр салмақты автокөлік құралдарының қозғалысын реттеуді құқықтық қамтамасыз етуге талдау жүргізілді. Қазақстан Республикасының қолданыстағы заңнамасына сәйкес автокөлік құралы, егер оның ұзындығы мен ені бойынша габариттері (жүкпен немесе жүксіз) Қазақстан Республикасының автомобиль жолдарымен жүру үшін заңнамада белгіленген ең жоғары мәндерден асып кетсе, ірі габаритті болып есептеледі. Осыған байланысты автомобиль жолының қажетті серпімділік Модулінің өзгеруін және ауыр салмақты көлік құралының конструктивтік ерекшеліктерін бағалау әдістемесі өзірленді. Есептеулер көрсеткендей, көлік құралдарының жүк көтергіштігі мен осытер санының артуымен қажетті серпімділік Модулінің шамасының өсуі және сол қатты емес типтегі жол киімдерінің дизайнны үшін эквивалентті серпімділік Модулінің төмендеуі байқалады. Ал беріктік коэффициенті төмендейді. Бұл бұл дизайнды А3 с есептік жүктемесі үшін қолдануға болмайтындығына әкеледі көлік құралдарының жүк көтергіштігі 10 тоннадан асады. Демек, бұл жол киімдері үшін А1 және А2 бірыңғай (оңтайлы) есептік жүктемесі Жүк көтергіштігі 10 тоннаға дейінгі екі және үш осыті көлік құралдары бола алады, осылайша жүргізілген зерттеулердің нәтижелері жүк тасымалының өсуі және ауыр көліктің үлесінің артуы жағдайында автомобиль жолдарын жобалауға қолданыстағы нормативтік талаптарды қайта қарау және бейімдеу қажеттілігін растайды.

Түйін сөздер: ірі және ауыр салмақты көліктер, жүк көтергіштігі, серпімділік модулі, тас жол, беріктік коэффициенті, жол төсемі, жобалық жүктеме, екі және үш осыті көліктер.

Авторлар туралы ақпарат:

Техника ғылымдарының докторы, «Көлік технологиясы және тасымалдауды үйымдастыру» кафедрасының профессоры. Л.Б. Гончаров атындағы Қазақ автомобиль-жол институты, Алматы қ, Қазақстан, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-1758-6621>. E-mail: rabat747@mail.ru

Рабат О.Ж.

Джунушев Д.А.

Алматы автомобиль-жол колледжінің оқытушысы, Алматы қ, Қазақстан, ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0009-2026-9334>. E-mail: dzoldoshbek@gmail.com

A study on the impact of multi-axle vehicles on the degree of road destruction***¹Rabat O.Zh., ²Dzhunushev D.A.**¹Kazakh Automobile and Road Institute named after L.B. Goncharov, Almaty, Kazakhstan²Almaty automobile and Road College, Almaty, Kazakhstan*Corresponding author email: rabat747@mail.ru**Abstract**

Received:
17 April 2024
Peer-reviewed:
28 May 2024
Accepted:
29 June 2024

The analysis of the legal support for the regulation of the movement of large and heavy vehicles has been carried out. In accordance with the current legislation of the Republic of Kazakhstan, a motor vehicle is considered bulky if its dimensions in length and width (with or without cargo) exceed the maximum values established by law for driving on the highways of the Republic of Kazakhstan. In this regard, a methodology has been developed to assess changes in the required modulus of elasticity of a highway and the design features of a heavy vehicle. As calculations have shown, with an increase in the load capacity and the number of axles of vehicles, there is an increase in the required modulus of elasticity and a decrease in the equivalent modulus of elasticity for the same non-rigid pavement structure. While the strength factor is decreasing. This means that this design cannot be used for an A3 design load with a vehicle load capacity of more than 10 tons. Therefore, for this road surface, two- and three-axle vehicles with a load capacity of up to 10 tons can act as the unified (optimal) design load A1 and A2. Thus, the results of the conducted research confirm the need to review and adapt the existing regulatory requirements for the design of highways in the context of the growth of freight transportation and an increase in the share of heavy vehicles.

Keywords: large and heavy vehicles, load capacity, modulus of elasticity, highway, strength coefficient, road pavement, design load, two- and three-axle vehicles.

Information about authors:

Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Transport Engineering and Organization of Transportation, Kazakh Automobile and Road Institute named after L.B. Goncharov, Almaty, Kazakhstan, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-1758-6621>. E-mail: rabat747@mail.ru

Rabat O. Zh.

Teacher of Almaty automobile and Road College, Almaty, Kazakhstan, ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0009-2026-9334>. E-mail: dzoldoshbek@gmail.com

Dzhunushev D.A.

Введение

Исследование по воздействию многоосных автомобилей на степень разрушения дорог, а также по унификации допустимых весогабаритных параметров автомобилей проводится с учетом процесса статического и динамического взаимодействия тяжеловесного транспортного средства и конструкции автомобильной дороги [1.2.3]. В соответствии с законом РК «О техническом регулировании» в котором указано, что технические регламенты разрабатываются с учетом степени причинения вреда, в соответствии с техническими регламентами в области дорожного хозяйства и автотранспортного комплекса, где эти положения были реализованы исследования проводятся с учетом известного теоретико-вероятностного подхода профессора Столярова В.В. и доцента Кокодеевой Н.Е[4.5], а также методических положений к.т.н. Мачиной Н.А [7].

Методы

Методическое сопровождение по определению степени разрушения автомобильных дорог от воздействия многоосных автомобилей.

При проектировании дорожной одежды нежесткого типа риск ее разрушения определяют с использованием теории риска, предложенной профессором Столяровым В.В.и профессором А.В.Кочетковым [4.5]:

$$r=0,5-\Phi\left(\frac{E_{\mathcal{E}T}-E_{KP}}{\sqrt{\sigma_{\mathcal{E}T}^2+\sigma_{KP}^2}}\right) \quad (1)$$

где $E_{\mathcal{E}T}$ – общий расчетный (эквивалентный) модуль упругости конструкции, полученный при расчете дорожной одежды на прочность по критерию упругого прогиба, МПа; E_{KP} – критический (минимальный) модуль упругости дорожной одежды, при котором риск разрушения равен 50%, МПа; $\sigma_{\mathcal{E}T}$ – среднее квадратическое отклонение общего расчетного (эквивалентного) модуля упругости конструкции, МПа; σ_{KP} – среднее квадратическое отклонение критического (минимального) модуля упругости, МПа; $\Phi(u)$ - функция Лапласа.

Вычисляют среднее квадратическое отклонение общего расчетного (эквивалентного) модуля упругости конструкции по формуле:

$$\sigma_{\mathcal{E}T} = C_V^{\mathcal{E}T} \cdot E_{\mathcal{E}T} \quad (2)$$

где $C_V^{\mathcal{E}T}$ – коэффициент вариации эквивалентного модуля упругости ($E_{\mathcal{E}T}$), принимаемый в зависимости от качества строительства дорожной одежды по методике профессора Семенова В.А. (таблица 1):

Таблица 1. Рекомендуемые значения коэффициента вариации эквивалентного модуля упругости

Качество строительства дорожной одежды	отличное	хорошее	удовлетворительное	неудовлетворительное
Коэффициент вариации эквивалентного модуля упругости	<0,12	0,12-0,20	0,20-0,27	>0,27

Примечание: при проектировании дорожных одежд нежесткого типа рекомендуется принимать качество строительства с оценкой «отлично».

Устанавливают значение критического (минимального) модуля упругости, при котором разрушение одежды будет достигать 50%, по формуле:

а) при $C_V^{\partial T} \neq 0,2$

$$E_{KP} = \frac{\sqrt{E_{TP}^2 + [25(C_v^{\partial T})^2 - 1] \cdot (E_{TP}^2 - 25\sigma_{TP}^2)} - E_{TP}}{25(C_v^{\partial T})^2 - 1} \quad (3)$$

б) при $C_v^{\partial T} = 0,2$ используется другая зависимость:

$$E_{KP} = \frac{E_{TP}^2 - 25\sigma_{TP}^2}{2E_{TP}} \quad (4)$$

где E_{TP} - требуемый модуль упругости, МПа, полученный при расчете дорожной одежды на прочность по критерию упругого прогиба, и определяемый с использованием ОДН 218.046-01 «Проектирование нежестких дорожных одежд» по формуле:

$$E_{TP} = 98,65 \left[\lg \left(\sum N_p \right) - c \right] \quad (5)$$

где $\sum N_p$ - суммарное расчетное число приложений нагрузки за срок службы дорожной одежды, авт.; c - эмпирический параметр, принимаемый равным для расчетной нагрузки на ось 100 кН - 3,55; 110 кН - 3,25; 130 кН - 3,05.

Для дорог в V дорожно-климатической зоне требуемые модули, определенные по формуле (5), следует уменьшить на 15%.

Независимо от результата, полученного по формуле (5), требуемый модуль упругости должен быть не менее указанного в таблице 2:

Таблица 2. Минимальные значения E_{TP}^{min}

Категория дороги	Суммарное минимальное расчетное число приложений расчетной нагрузки на наиболее нагруженную полосу	Требуемый модуль упругости дорожной одежды, МПа		
		капитального типа	облегченного типа	переходного типа
I	750000	230	-	-
II	500000	220	210	-
III	375000	200	200	-
IV	110000	-	150	100
V	40000	-	100	50

σ_{TP} - среднее квадратическое отклонение требуемого модуля упругости в связи с ошибками прогнозирования интенсивности и состава движения

$$\sigma_{TP} = C_V^{TP} \cdot E_{TP} \quad (6)$$

где C_V^{TP} - коэффициент вариации требуемого модуля упругости, который зависит от точности прогнозирования состава и интенсивности движения, а также типа дорожной одежды (таблица 3):

Таблица 3. Расчетные значения коэффициента вариации требуемого модуля упругости

Продолжительность прогнозируемого периода, годы	Значения C_V^{TP} для дорожных одежд типа		
	переходного	облегченного	капитального
1-3	0,03-0,05	-	-
4-6	0,06-0,07	0,06-0,07	-
7-9	0,08-0,09	0,08-0,10	-
10-13	-	0,11-0,15	0,13-0,15
14-17	-	-	0,16-0,17
18-22	-	-	0,18-0,19

Примечание: при левых значениях параметра t следует принимать левые значения параметра C_V^{TP} ; при правых значениях параметра t – правые значения C_V^{TP} ; при промежуточных значениях t следует интерполировать значения параметра C_V^{TP} .

Вычисляют среднее квадратическое отклонение критического (минимального) модуля упругости по формуле:

$$\sigma_{KP} = C_V^{\partial T} \cdot E_{KP} \quad (7)$$

При расчете дорожных одежд на дорогах общей сети расчетные нагрузки принимают в соответствии с ОДН 218.046-01.

В таблице 4 даны рекомендации по назначению группы нагрузок в зависимости от грузоподъемности самых тяжелых двухосных автомобилей в составе потока (при условии, что других двухосных автомобилей с большей грузоподъемностью в составе потока менее 10%) [8.9]. Расчетную группу нагрузки (A_1 , A_2 или A_3) назначают по наиболее тяжелому двухосному автомобилю, доля которого в грузовых и автобусных перевозках составляет не менее 10% (с учетом перспективы изменения состава движения к концу межремонтного периода).

Таблица 4. Назначение группы нагрузок

Грузоподъемность транспортных средств	Расчетная группа нагрузок
До 8 тонн включительно	A_1
От 8 тонн до 10 т	A_2
Свыше 10 т	A_3

Примечание. Нагрузку группы A_3 принимают и в случае присутствия в составе потока более 10% двухосных автобусов.

По таблице 5 назначают расчетную нагрузку и определяют ее параметры.

Таблица 5. Параметры нагрузки

Группа расчетной	Нормативная статическая	Нормативная статическая нагрузка на поверхность	Расчетные параметры нагрузки
------------------	-------------------------	-------------------------------------------------	------------------------------

нагрузки	нагрузка на ось, кН	покрытия от колеса расчетного автомобиля, $Q_{расч}$, кН	p , МПа	D, см
A ₁	100	50	0,60	37/33
A ₂	110	55	0,60	39/34
A ₃	130	65	0,60	42/37

Примечание: В числителе - для движущегося колеса, в знаменателе - для неподвижного

Исходными данными расчета расчетной нагрузки являются типы серийно выпускаемых автомобилей и их количество (в процентах) в составе движения, а так же основные данные о нагрузках, передаваемых на дорожное полотно выпускаемыми автомобильной промышленностью автомобилями, включая и транспортные средства зарубежного производства [10].

Результаты

В ходе исследования была проведена оценка степени разрушения автомобильных дорог от воздействия многоосных транспортных средств с применением теории риска, предложенной профессорами Столяровым В.В. и Кочетковым А.В. Вычислены значения общего расчетного модуля упругости, критического модуля упругости, средних квадратических отклонений и коэффициентов вариации для различных категорий дорог и условий эксплуатации.

При увеличении количества осей и грузоподъемности транспортных средств происходит рост требуемого модуля упругости дорожной конструкции и снижение эквивалентного модуля упругости, что указывает на увеличение риска разрушения покрытия.

Расчетные значения показали, что для дорог с расчетной нагрузкой А3 и грузоподъемностью более 10 т наблюдается значительное снижение коэффициента прочности дорожной одежды, что делает её эксплуатацию нецелесообразной без конструктивных изменений.

Для конструкций нежесткого типа унифицированной (оптимальной) расчетной нагрузкой могут выступать группы А1 и А2 (двух- и трехосные транспортные средства с грузоподъемностью до 10 т).

Построены зависимости требуемого модуля упругости от расчетного числа приложений нагрузки и определены критические значения по категориям дорог и типам дорожной одежды.

Обсуждение

Полученные результаты подтверждают необходимость строгого учета конструктивных особенностей дорожной одежды и прогноза грузопотоков при проектировании автомобильных дорог, особенно в условиях увеличения массы и числа осей транспортных средств.

- Использование методики, основанной на теории риска, позволяет объективно оценить надежность конструкции дорожной одежды при различных эксплуатационных условиях.

- Рост количества тяжеловесных многоосных автомобилей приводит к ускоренному накоплению остаточных деформаций, увеличению глубины колеи и, как следствие, сокращению срока службы дорожного полотна.

- Важно учитывать прогнозируемые изменения в составе и интенсивности движения на расчетный срок службы дороги, а также качество строительства и соблюдение проектных параметров.

- Для дорог капитального, облегченного и переходного типов рекомендуется использовать данные из таблиц расчётных параметров, чтобы корректно определять расчетную нагрузку и параметры дорожной конструкции.

- Разработка и внедрение мер по регулированию движения тяжеловесного транспорта, улучшение качества строительства дорожной одежды, применение инновационных материалов и технологий позволяют увеличить долговечность дорожной инфраструктуры.

Выводы

Разработана методика оценки изменения требуемого модуля упругости автомобильной дороги и конструктивных особенностей тяжеловесного транспортного средства. Как показали вычисления, с увеличением грузоподъемности и количества осей транспортных средств наблюдается рост величины требуемого модуля упругости и снижение эквивалентного модуля упругости для одной и той же конструкции дорожной одежды нежесткого типа. В то время, как коэффициент прочности снижается. Это приводит к тому, что данную конструкцию нельзя использовать для расчетной нагрузки А3 с грузоподъемностью транспортных средств более 10 т. Следовательно, для данной дорожной одежды унифицированной (оптимальной) расчетной нагрузкой А1 и А2 могут выступать двух- и трехосные транспортные средства с грузоподъемностью до 10т.

Конфликт интересов. Корреспондент автор заявляет, что конфликта интересов нет.

Ссылка на данную статью: Рабат О.Ж., Джунушев Д.А. Исследование по воздействию многоосных автомобилей на степень разрушения дорог // Вестник Казахского автомобильно-дорожного института = Bulletin of Kazakh Automobile and Road Institute = Kazakh avtomobil-zhol institutyn Khabarshysy. 2024;3 (7):73-81. <https://doi.org/10.63377/3005-4966.3-2024-09>

Cite this article as: Rabat O.Zh., Dzhunushev D.A. Issledovanie po vozdejstviyu mnogoosnyh avtomobilej na stepen' razrusheniya dorog [A study on the impact of multi-axle vehicles on the degree of road destruction]. Vestnik Kazahskogo avtomobil'no-dorozhnogoinstituta= Bulletin of Kazakh Automobile and Road Institute = Kazakh avtomobil-zhol institutyn Khabarshysy. 2024; 3 (7):73-81. (In Rus.). <https://doi.org/10.63377/3005-4966.3-2024-09>

Литература

- [1] Соглашение о массах и габаритах транспортных средств, осуществляющих межгосударственные перевозки по автомобильным дорогам государств-участников Содружества Независимых Государств / Совет глав правительств Содружества. Минск, 1999.
- [2] Соглашение о введении международного сертификата взвешивания грузовых транспортных средств на территориях государств-участников Содружества Независимых Государств. Чолпон-Ата, 16 апреля 2004 года.
- [3] Бекмагамбетов М.М. Автомобильный транспорт Казахстана. Этапы становления и развития. Алматы: ТОО «Print-S», 2003. 456 с.
- [4] Беляев Д.С., Кочетков А.В., Янковский Л.В. Совершенствование метода вибродиагностики технического состояния элементов дорожных конструкций и кольцевых стендов. Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2012. 104 с.
- [5] Кокодеева Н.Е., Столяров В.В. Теория риска в техническом регулировании дорожного хозяйства: монография. Саратов: Научная книга, 2011. 356 с.
- [6] Казахстан в цифрах. Агентство по статистике РК. <http://www.stat.kz/Pages/default.aspx> (дата обращения: 2023).

- [7] Мачина Н.А. Обоснование рациональных конструкций нежестких дорожных одежд для движения большегрузных автомобилей. Дисс. канд. техн. наук. Алматы: КАЗАТК, 2008. 152 с.
- [8] Веб-сайт BNews.kz. <http://www.bnews.kz> (дата обращения: 2023).
- [9] Straus S.H., Semmens J. Estimating the Cost of Overweight Vehicle Travel on Arizona Highways. 2006.
- [10] The AASHO Road Test Report 5. National Research Council. USA, Washington, 2002. 300 p.

References

- [1] Soglasheniye o massakh i gabaritakh transportnykh sredstv, osushchestvlyayushchikh mezhgosudarstvennye perevozki po avtomobil'nym dorogam gosudarstv-uchastnikov Sodruzhestva Nezavisimykh Gosudarstv (Agreement on the masses and dimensions of vehicles engaged in interstate transport on the roads of the CIS countries). Minsk, 1999. (in Russ.).
- [2] Soglasheniye o vvedenii mezhdunarodnogo sertifikata vzveshivaniya gruzovykh transportnykh sredstv na territoriyakh gosudarstv-uchastnikov Sodruzhestva Nezavisimykh Gosudarstv (Agreement on the introduction of an international certificate for weighing heavy vehicles in the CIS countries). Cholpon-Ata, 16 April 2004. (in Russ.).
- [3] Bekmagambetov M.M. Avtomobil'nyy transport Kazakhstana. Etapy stanoleniya i razvitiya (Automobile transport of Kazakhstan. Stages of formation and development). Almaty: TOO "Print-S", 2003. 456 p. (in Russ.).
- [4] Belyaev D.S., Kochetkov A.V., Yankovskiy L.V. Sovershenstvovaniye metoda vibrodiagnostiki tekhnicheskogo sostoyaniya elementov dorozhnykh konstruktsiy i kol'tsevykh stendov (Improvement of the method of vibration diagnostics of the technical condition of road structure elements and ring stands). Perm: Perm National Research Polytechnic University Publishing, 2012. 104 p. (in Russ.).
- [5] Kokodeeva N.E., Stolyarov V.V. Teoriya riska v tekhnicheskem regulirovaniyu dorozhnogo khozyaystva: monografiya (Risk theory in technical regulation of road economy: monograph). Saratov: Nauch. kniga, 2011. 356 p. (in Russ.).
- [6] Kazakhstan v tsifrakh (Kazakhstan in Figures). Agency for Statistics of the Republic of Kazakhstan. <http://www.stat.kz/Pages/default.aspx> (accessed: 2023).
- [7] Machina N.A. Obosnovaniye ratsional'nykh konstruktsiy nezhestkikh dorozhnykh odezhd dlya dvizheniya bol'shegruznykh avtomobiley (Justification of rational flexible pavement designs for heavy truck traffic). Cand. techn. sci. diss. Almaty: KAZATK, 2008. 152 p. (in Russ.).
- [8] Veb-sayt BNews.kz (BNews.kz Website). <http://www.bnews.kz> (accessed: 2023).
- [9] Straus S.H., Semmens J. Estimating the Cost of Overweight Vehicle Travel on Arizona Highways. 2006.
- [10] The AASHO Road Test Report 5. National Research Council. Washington, USA, 2002. 300 p.