

УЧЕТ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛА ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЫ ПРИ ПРИВЕДЕНИИ ЛЕСОВОЗНЫХ АВТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ К РАСЧЕТНОЙ НАГРУЗКЕ

аспирант **Н.В. Савенкова**

ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) Федеральный университет имени М.В. Ломоносова»,
г. Архангельск, Российская Федерация

Грузоподъемность тяжелых автотранспортных средств, используемых для перевозки древесины, в современном мире возрастает. Транспортные средства вызывают ускоренное разрушение лесовозных дорог. Системы дорог рассчитаны для транспортных средств старой концепции, как правило, с уменьшенной грузоподъемностью. В современной методике проектирования строительства и реконструкции дорожных одежд ключевое значение имеет суммарный коэффициент приведения интенсивности движения транспортных средств к расчетным нагрузкам. От величины принятого в расчете коэффициента прямо пропорционально зависят затраты ресурсов на строительство или реконструкцию дороги. Конструктивные особенности современных лесовозных автопоездов обуславливают специфику их воздействия на дорожное покрытие. При этом отсутствуют индивидуальные коэффициенты приведения их фактических нагрузок к расчетным. Целью данного исследования является изучение влияния тяжелых транспортных средств на дороги. Изучение научно-технической литературы приводит к выводу о недостаточной изученности комплекса вопросов, связанных с оценкой дорожных условий эксплуатации лесовозного транспорта и влиянием их на дорожное покрытие. При проектировании дорожной одежды необходимый запас прочности материала слоя на повторность воздействия нагрузки должен назначаться с учетом физико-механических свойств материала. В данном кратком обзоре мы хотели бы представить экспериментальные и теоретические данные о физико-механических свойствах материала и указать на важность их влияния при расчете коэффициента приведения автотранспортных средств к расчетной нагрузке.

Ключевые слова: дорожная одежда, коэффициент приведения к расчетной нагрузке, автотранспортное средство, транспортировка древесины

DESCRIPTION OF PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF PAVEMENT MATERIAL WHEN REDUCING FORESTRY MOTOR VEHICLES TO CALCULATED LOAD

Post-graduate student **N.V. Savenkova**

FSAEI HE "Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov", Arkhangelsk,
Russian Federation

Abstract

The carrying capacity of heavy vehicles used to transport timber is increasing in the modern world. Vehicles cause accelerated destruction of forest roads. Road systems are designed for old vehicles, usually with reduced carrying capacity. In the modern methodology for designing the construction and reconstruction of pavement, the total coefficient of reducing the traffic intensity to the calculated loads is of great importance. The cost of resources for the construction or reconstruction of a road directly depends on the coefficient taken in the calculation. The design features of modern truck-and-trailer combination sets determine the specifics of their impact on the road surface. Moreover, there are no individual coefficients for reducing their actual loads to the calculated ones. The purpose of this study is to study the effect of heavy vehicles on roads. The study of scientific and technical literature leads to the conclusion that the set of issues related to the assessment of the road operating conditions of timber transport and their influence on the road surface has been studied insufficiently. When designing pavement, the necessary safety margin of the layer material on the repetition of the load should be assigned taking into account physical and mechanical properties of the material.

In this brief review, we would like to present experimental and theoretical data on physical and mechanical properties of the material and indicate the importance of their influence in calculating the coefficient for reducing vehicles to the calculated load.

Keywords: pavement, load reduction factor, motor vehicle, timber transportation

Лесовозные автомобильные дороги должны обеспечивать бесперебойное, круглогодичное и безопасное движение лесовозных автотранспортных средств (далее – АТС) с расчетными скоростями и осевыми нагрузками в течение всего срока службы. Стоимость содержания и ремонта лесовозных дорог зависит от того, насколько верно разработана и рассчитана конструкция дорожной одежды.

В настоящее время четко обозначилась тенденция увеличения грузоподъемности лесовозных автопоездов, применяемых на вывозке древесины, способных перевозить за один рейс 50...60 м³. Лесовозные дороги до сих пор проектировались на расчетную нагрузку автомобилей группы А1, т.е. на 100 кН на ось. В связи с появлением большого количества специализированных тяжеловесных автотранспортных средств для перевозки круглых лесоматериалов возникает задача строительства новых и реконструкции действующих дорог на расчетные нагрузки от автомобилей группы А3, т.е. на 130 кН на ось.

Во всех методах расчета конструкции дорожных одежд нежесткого типа по ОДН 218.046-01 приведены результаты расчета коэффициента приведения к расчетным нагрузкам для автомобилей общего пользования, однако без учета специфики лесовозных дорог, что является огромным недостатком. Расчет дорожной одежды определяется величиной требуемого модуля упругости, который, в свою очередь, зависит от интенсивности воздействия расчетной нагрузки на дорожную одежду.

В современной методике проектирования строительства и реконструкции дорожных одежд ключевое значение имеет суммарный коэффициент K_{np} приведения интенсивности движения транспортных средств к расчетным нагрузкам от автомобилей группы А. От величины принятого в расчете K_{np} прямо пропорционально зависят затраты всевозможных ресурсов на строительство или реконструкцию дороги. Это свидетельствует о необхо-

димости использования в практике проектирования дорог достаточно корректных значений K_{np} . Современные АТС отличаются от расчетных автомобилей целым рядом параметров, влияющих на напряженно-деформированное состояние дорожной конструкции. В расчетах общего числа приложений нагрузки к дорожному покрытию это влияние учитывают коэффициентом приведения K_{np} , значение которого индивидуально для каждого АТС.

При проектировании дорожной одежды необходимый запас прочности материала слоя на повторность воздействия нагрузки должен назначаться в зависимости от интенсивности движения, состава транспортного потока, срока службы и от способности данного материала сопротивляться усталостному разрушению [9, 10, 11].

В работе А.Г. Колчанова «Совершенствование метода расчета нежестких дорожных одежд для сверхтяжелых автомобилей» [5] изложены результаты теоретических и экспериментальных исследований по обоснованию расчетного диаметра отпечатка колеса для автомобилей грузоподъемностью 27-180 т. Автор показал, что чем больше грузоподъемность автомобиля, тем больше у него диаметр отпечатка колеса и более неблагоприятное воздействие, оказываемое этим АТС на дорожное покрытие [12].

В исследовании Б.С. Радовского и Г.В. Малеванского [6, 7] задача о долговечности материала при многократном действии напряжений различной величины была решена авторами на основе правила Пальмгрема-Майнера о линейном суммировании повреждений. Алгоритм расчета дал возможность получать результаты для различных законов распределения проездов колес транспортных средств по ширине проезжей части:

1) кривые усталости всех материалов слоев близки к линейной зависимости в логарифмических координатах. Однотипность этих кривых дает возможность на основе единой зависимости описывать

сопротивление различных материалов слоев усталостному разрушению;

2) значение постоянной n (константа, характеризующая наклон прямой усталости в координатах) практически не зависит от вида напряженно-деформированного состояния материала (изгиб, сжатие, изгиб на упругом основании);

3) дорожно-строительным материалам, содержащим органические и минеральные вяжущие вещества, соответствуют две различные не перекрывающиеся области расположения усталостных прямых в логарифмических координатах;

4) по чувствительности к повторности приложения нагрузки дорожно-строительные материалы можно расположить в таком порядке: дегтебетоны; асфальтобетоны; грунты, укрепленные известью или цементом; цементбетоны. Это следует из того, что на любом уровне нагружения число приложений нагрузок до разрушения образцов различных материалов возрастает в указанном порядке;

5) положение усталостных прямых зависит главным образом от вида и свойств вяжущего вещества. Постоянная n , характеризующая наклон усталостной прямой, имеет следующие значения: для горячих дегтебетонов и холодных битумо-минеральных смесей 2...3; горячих асфальтобетонов на битумах средней вязкости 3,5...5,0; горячих асфальтобетонов на вязких битумах 5,0...6,3; грунтов, укрепленных цементом либо известью, 12...20; цементбетонов 20...37.

Общепринятая точка зрения на механизм усталостного разрушения твердых тел пока еще не выработана. В исследованиях рассматривают чаще всего какой-либо один из двух механизмов усталостного разрушения: критический или термофлуктуационный.

Критический механизм (Гриффит и др. [7]) предполагает существование трех фаз процесса усталостного разрушения: движение и скопление микродефектов, развитие микротрещин, распространение трещин по телу, завершающееся разрушением тела как целого.

Первая фаза выражается в движении и концентрации микродефектов, вторая – в образовании микротрещины, развитии и ветвлении системы микротрещин. Возникновение системы микротре-

щин вызывает двойкий эффект: с одной стороны, трещины уменьшают «живое сечение» материала, ослабляя его, с другой – снимают внутренние микронапряжения, повышая сопротивление соответствующего участка материала внешним по отношению к нему нагрузкам. При достижении материалом критического ослабления начинается третья фаза процесса: возникает одна макроскопическая трещина (или немногие макроскопические трещины), приводящая (приводящие) к разрушению тела.

Однако полагают, что материалы слоев дорожных одежд, обладающие не только упругими, но и в значительной степени вязкими свойствами, могут разрушаться не только вследствие развития дефектов. В частности, для материалов, укрепленных органическими вяжущими веществами, и в меньшей степени – для материалов, содержащих минеральные вяжущие, существенная роль принадлежит кинетическому термофлуктуационному процессу постепенного накопления нарушений.

Согласно термофлуктуационному механизму (С.Н. Журков и др.[7]) разрушение твердого тела является следствием постепенного накопления субмикроскопических разрушений, развивающихся при совместном действии механических напряжений и тепловых колебаний атомов и молекул. Элементарными актами термического процесса разрушения являются термофлуктуационные разрывы связей (химических и межмолекулярных), активируемые приложенным механическим напряжением. При этом тепловые колебания считаются основной причиной разрыва связей, а роль внешней нагрузки сводится к уменьшению потенциального барьера, т. е. к увеличению вероятности разрыва связей.

Можно предположить, что практически для всех дорожно-строительных материалов характерно сочетание критического и термофлуктуационного механизмов разрушения. На основе этих физических закономерностей усталостного разрушения можно проанализировать имеющиеся экспериментальные данные о сопротивляемости образцов различных материалов слоев дорожных одежд повторным кратковременным нагрузкам.

Как известно, наиболее распространенным типом дорожного покрытия является щебеночное, технический потенциал которого высок, а техноло-

гические преимущества хорошо известны. Наряду с этим, долговечность дорожных конструкций со щебеночными основаниями продолжает оставаться небольшой.

Более 20 лет назад проф. В.Д. Казарновский четко сформулировал проблему: «Существующая методика расчета нежестких дорожных одежд содержит в себе глубокие противоречия. С одной стороны, она базируется на достаточно «тонком» теоретическом аппарате теории упругих многослойных систем, с другой – содержит мощный эмпирический блок определения расчетных характеристик, произвольные действия и грубые осреднения в котором перечеркивают точность расчетных формул при получении конечного результата» [3].

Е.М. Баранов предложил структурный подход к исследованию конструктивных слоев основания дорожных одежд из материалов, не обработанных вяжущими. Он отметил, что для определения модуля упругости щебеночных (гравийных) слоев основания достаточно знать лишь зерновой состав исходной смеси и физико-механические характеристики каменных материалов. Кроме того, полученный автором в ходе исследования закон изменения контактного сечения позволяет прогнозировать изменение деформационных характеристик слоев основания в процессе эксплуатации дороги [1].

Грунты, в состав которых входит большое количество тонкораздробленных частиц, следует рассматривать как дисперсные системы с твердой фазой и жидкой средой (вода). Большое влияние на свойства грунтов оказывает наличие в них коллоидальной и тонкодисперсной части. Физические свойства грунта и его состояние под нагрузкой в значительной степени определяются относительным содержанием частиц различной крупности, т. е. гранулометрическим составом.

Мелкие частицы в грунтах объединяются в структурные группы. Крупные структурные группы при раздроблении легко разрушаются, а микрогруппы не поддаются механическому разрушению ввиду наличия между частицами сил взаимного притяжения. Силы притяжения между частицами грунта возникают через пленки связанной воды. Физические свойства грунтов также зависят от влажности.

При деформации грунта под нагрузкой наблюдается сжатие и выжимание его в стороны. При вдавливании штампа в грунт в первой фазе деформации происходит только уплотнение грунта; при этом зависимость между нагрузкой и деформацией у слабо уплотненных грунтов имеет вогнутую характеристику, а у плотных – примерно прямолинейную. При дальнейшем возрастании нагрузки наряду с уплотнением происходит выжимание грунта в стороны из-под площадки, передающей нагрузку, при этом деформация значительно увеличивается. При некоторой критической нагрузке происходит резкое погружение площадки с интенсивным выжиманием грунта с ее боков.

Прочность грунтов оценивается следующими параметрами: несущей способностью грунта, коэффициентом постели и модулем деформации (модулем упругости).

Проф. В.Ф. Бабков отмечал, что несущая способность, т. е. удельная нагрузка $P_{крит}$, определяется при заданной величине деформации $l=const$; при критической деформации – для сооружений $l=I_{крит}$; при напряжениях в грунте, соответствующих переходу деформации из фазы уплотнения в фазу сдвига $\sigma=\sigma_{крит}$. Проходимость ТС по грунту наиболее полно определяет последнее условие несущей способности [2].

Проф. Н.Н. Иванов при оценке сопротивления грунтов вертикальной нагрузке указал, что при малых нагрузках осадка примерно пропорциональна увеличению нагрузки [2]. Затем, при некоторой нагрузке, равной пределу пропорциональности, деформация быстро возрастает и, наконец, при временном сопротивлении опорная площадка фактически теряет поддержку и проваливается на значительную глубину.

Проф. А.К. Бируля, рассматривая характер кривой вдавливания штампа в грунт, подразделял процесс деформации на три фазы: сжатия, местных сдвигов и выпучивания, когда наблюдаются значительные деформации без существенного повышения давления [2].

Определение несущей способности грунтов по кривой вдавливания принято считать наиболее правильным. Если принять кривые вдавливания штампа в первой и третьей фазах за прямолиней-

ные, то координата точки пересечения этих прямых может быть принята за предельную несущую способность грунта. В этом случае предполагается работа колесных ТС в фазе местных сдвигов, что вполне допустимо при ограниченном числе проходов.

При оценке грунта с точки зрения проходимости транспорта В.К. Голяк приводит графики предела несущей способности грунта в зависимости от относительной влажности, построенные по данным Н.Н. Иванова. Из графиков следует, что максимальная несущая способность несвязных грунтов наблюдается при некоторой оптимальной влажности: у песчаных грунтов максимум соответствует относительной влажности 60...70 %, а у пылеватых супесей – 40...50 %. Несущая способность связных грунтов уменьшается с увеличением относительной влажности.

При определении несущей способности различных грунтов неблагоприятные климатические периоды учитывают хорошую водопроницаемость несвязных грунтов, которые, как правило, имеют влажность ниже влажности предела текучести; связные грунты имеют плохую водопроницаемость, и их влажность в этих условиях приближается к пределу текучести. Пропитываемость ТС в зависимости от несущей способности грунтов определяют приближенно штампом. При этом пытаются учитывать, что на деформацию грунта оказывают влияние размер штампа, его форма и скорость приложения расчетной нагрузки.

Исследования С.Н. Журкова, Н.Н. Иванова и др. показывают, что вследствие различия деформативно-прочностных характеристик грунтов взаимодействие колес одного и того же автопоезда с различными типами покрытий значительно различается. В этой связи в большинстве исследований по определению значений коэффициента приведения результаты дифференцируют минимум на две группы: 1) с капитальными и облегченными покрытиями; 2) с жесткими и низшими типами покрытий.

Также на основе анализа существующих в теории расчета жестких дорожных одежд формул и вычислительного эксперимента установлено, что определяемый требуемый модуль упругости не зависит от расчетной осевой нагрузки. Вместе с

тем, один и тот же требуемый модуль упругости в расчете достигается различными по толщине конструктивными слоями в зависимости от расчетной нагрузки. Также установлено, что при оценке прочности одна и та же конструкция дорожной одежды может иметь разные модули упругости в зависимости от того, на какую расчетную нагрузку оценивается прочность.

Акцентируется внимание на том, что для расчетной нагрузки 130 кН необходим индивидуальный подход по конструированию жесткой дорожной одежды с рекомендуемыми ограничениями.

На данный момент установлено, что парк лесовозных автопоездов является разнообразным и включает в себя множество моделей тяжеловесных большегрузных АТС зарубежного производства. Конструктивные особенности современных лесовозных автопоездов обуславливают специфику их воздействия на дорожное покрытие.

Подводя итоги, можно сделать следующие выводы.

Прежние технологии строительства лесовозных дорог и конструкции дорожных одежд не в полной мере отвечают требованиям, предъявляемым в связи с появлением лесовозных автопоездов большой грузоподъемности. Анализ научнотехнической литературы приводит к выводу о недостаточной изученности комплекса вопросов, связанных с оценкой дорожных условий эксплуатации лесовозного транспорта и влиянием их на дороги. На основании выполненного обзора литературы можно сделать вывод, что только на основе комплексного изучения влияния геометрических параметров тяжелых транспортных средств можно говорить о влиянии этих параметров на разрушение лесных дорог. Принципиально новым положением является определение нагрузки как суммарного числа приложений расчетной нагрузки за весь период срока службы дороги. Это позволяет повысить надежность и работоспособность дорожных одежд. Необходимо выполнить ряд теоретических и экспериментальных исследований для разработки методов определения суммарных коэффициентов приведения воздействия лесовозных автопоездов к нормативной нагрузке.

Библиографический список

1. Баранова, Е. М. Метод определения деформационных характеристик слоев основания дорожных одежд из материалов, не обработанных вяжущими / Е. М. Баранова // *Дороги и мосты*. – Москва : РосдорНИИ, 2013. – Вып. 30/2. – С. 156–162.
2. Горбачевский, В. А. Работа шин на лесотранспорте / В. А. Горбачевский. – Москва : Лесн. пром-сть, 1970. – С. 96–105.
3. Казарновский, В. Д. Задачи совершенствования теории и практики расчета и конструирования дорожных одежд / В. Д. Казарновский // *Автомобильные дороги*. – 1992. – № 3. – С. 11–12.
4. Калужский, Я. А. Уплотнение земляного полотна и дорожных одежд / Я. А. Калужский, О. Т. Батраков. – Москва : Транспорт, 1970. – 160 с.
5. Колчанов, А. Г. Совершенствование метода расчета нежестких дорожных одежд для сверхтяжелых автомобилей / А. Г. Колчанов // *Промышленный транспорт*. – 1977. – № 2. – С. 79–86.
6. Красиков, О. А. Особенности расчета и оценки прочности нежестких дорожных одежд на существующие расчетные осевые нагрузки / О. А. Красиков // *Дороги и мосты*. – 2015. – Т. 1. – № 33. – С. 112–128.
7. Радовский, Б. С. Проектирование дорожных одежд для движения большегрузных автомобилей / Б. С. Радовский, А. С. Супрун, И. И. Козаков. – Киев : Будивэльник, 1989. – 168 с.
8. Хархута Н. Я. Прочность, устойчивость и уплотнение грунтов земляного полотна автомобильных дорог / Н. Я. Хархута, Ю. М. Васильев. – Москва : Транспорт, 1975. – 288 с.
9. Maximum loading heights for heavy vehicles used in timber transportation / C. Antoniadu, C. Şlincu, C. Stan, V. Ciobanu, V. Ştefan // *Bulletin of the Transilvania University of Braşov*. – 2012. – Vol. 5 (54), № 1. – P. 7–12.
10. Greis, I. Forest roads in Finland: Practices for the development of forest roads in Russia / I. Greis, K. Kontinen // *Ideas, practices and tools for the development of wood procurement / Mikkeli university of applied sciences*; ed. K. Itkonen. – 2014. – P. 35–42.
11. Trzciński, G. Effects of Timber Loads on Gross Vehicle Weight / G. Trzciński, W. Sieniawski, T. Moskalik // *Folia Forestalia Polonica*. – 2013. – series A, Vol. 55 (4). – P. 159–167.
12. Palander, T. Potential Traffic Levels after Increasing the Maximum Vehicle Weight in Environmentally Efficient Transportation System: The Case of Finland / T. Palander, K. Kärhä // *Journal of Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems*. – 2017. – Vol. 5, Issue 3. – P. 417–429.

References

1. Baranova E. M. *Metod opredeleniya deformatsionnykh kharakteristik sloev osnovaniya dorozhnykh odezhd iz materialov, ne obrabotannykh vyazhushchimi* [Method for determining the deformation characteristics of the pavement base layers of materials not treated with astringents]. *Dorogi i mosty*. – Moscow : Rosdor-NII, 2013. Vol. 30/2. pp. 156-162 (In Russian).
2. Gorbachevskiy V. A. *Rabota shin na lesotransporte* [The work of tires in the forest transport]. M.: Lesnaya promyshlennost', 1970. pp. 96-105 (In Russian).
3. Kazarnovskiy V. D. *Zadachi sovershenstvovaniya teorii i praktiki rascheta i konstruirovaniya dorozhnykh odezhd* [The tasks of improving the theory and practice of calculating and designing pavements]. *Avtomobil'nye dorogi*. 1992. № 3. pp. 11-12 (In Russian).
4. Kaluzhskiy Ya. A., Batrakov O. T. *Uplotnenie zemlyanogo polotna i dorozhnykh odezhd* [Sealing of the roadbed and pavement]. Moscow: Transport, 1970. 160 p. (In Russian)

5. Kolchanov A. G. *Sovershenstvovanie metoda rascheta nezhestkikh dorozhnykh odezhd dlya sverkhlyazhelykh avtomobiley* [Improving the method of calculating non-rigid pavements for super heavy vehicles]. *Promyshlennyy transport*. 1977. № 2. pp. 79-86 (In Russian).

6. Krasikov O. A. *Osobennosti rascheta i otsenki prochnosti nezhestkikh dorozhnykh odezhd na sushchestvuyushchie raschetnye osevye nagruzki* [Features of the calculation and evaluation of the strength of non-rigid pavements on the existing design axial loads]. *Dorogi i mosty*. 2015. Т. 1. № 33. pp. 112-128 (In Russian).

7. Radovskiy B. S., Suprun A. S., Kozakov I. I. *Proektirovanie dorozhnykh odezhd dlya dvizheniya bol'shegruznykh avtomobiley* [Design of pavements for the movement of heavy vehicles]. Kiev: Budivel'nyk, 1989, 168 p. (In Russian).

8. Kharkhuta N. Ya., Vasil'ev Yu. M. *Prochnost', ustoychivost' i uplotnenie gruntov zemlyanogo polotna avtomobil'nykh dorog* [Strength, stability and compaction of subgrade soil of highways]. Moscow: Transport, 1975, 288 p. (In Russian).

9. Antoniadu C., Şlincu C., Stan C., Ciobanu V., Ştefan V. Maximum loading heights for heavy vehicles used in timber transportation. *Bulletin of the Transilvania University of Braşov*. 2012, Vol. 5 (54), № 1, pp. 7-12.

10. Greis I., Kontinen K. Forest roads in Finland: Practices for the development of forest roads in Russia. Ideas, practices and tools for the development of wood procurement. Mikkeli university of applied sciences; ed. K. Itkonen. 2014, pp. 35-42.

11. Trzciński G., Sieniawski W., Moskalik T. Effects of Timber Loads on Gross Vehicle Weight. *Folia Forestalia Polonica*. 2013, series A, Vol. 55 (4), pp. 159-167.

12. Palander T., Kärhä K. Potential Traffic Levels after Increasing the Maximum Vehicle Weight in Environmentally Efficient Transportation System: The Case of Finland. *Journal of Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems*. 2017, Vol. 5, Issue 3, pp. 417-429.

Сведения об авторе

Савенкова Надежда Владимировна – аспирант очной формы обучения, кафедра лесопромышленных производств и обработки материалов, высшая инженерная школа, ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова», г. Архангельск, Российская Федерация; e-mail: ignasheva_92@mail.ru.

Information about the author

Savenkova Nadezhda Vladimirovna – PhD student, higher engineering school, FSAEI HE «Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov», Arkhangelsk, Russian Federation; e-mail: ignasheva_92@mail.ru.