

УДК 625.7

DOI: 10.15393/j2.art.2018.4202

*Статья*

## **Влияние скорости движения лесовозного автопоезда на величину возникающих напряжений в дорожной конструкции**

**Вячеслав А. Борисов<sup>1,\*</sup>, Дмитрий В. Акинин<sup>1</sup>, Владимир В. Кирей<sup>1</sup>  
и Екатерина А. Фокина<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана (Мытищинский филиал), 141005, Московская обл., г. Мытищи, ул. 1-я Институтская, д. 1; E-Mails: vborisov@rambler.ru (В. Б.), akinin-d@rambler.ru (Д. А.), KIREY-V@mail.ru (В. К.)

\* Автор, с которым следует вести переписку; E-Mail: vborisov@rambler.ru (В. Б.); Tel.: +7(910)4201702.

*Получена: 21 сентября 2018 / Принята: 29 сентября 2018 / Опубликовано: 10 октября 2018*

---

**Аннотация:** Статья посвящена определению величины деформаций, возникающих в дорожной конструкции гравийной лесовозной автомобильной дороги, зависящей от скорости движения лесовозного автопоезда и состояния поверхности дорожного покрытия. Полученные в результате проведённого исследования данные позволяют дать необходимые рекомендации при проектировании и строительстве лесовозных дорожных конструкций.

**Ключевые слова:** проезжая часть; лесовозная дорога; эксплуатационная скорость; лесовозная дорога; гравийное покрытие; динамическая нагрузка; статистическая нагрузка.

---

DOI: 10.15393/j2.art.2018.4202

*Article*

## **Influence of the timber truck speed on the stress in the road structure**

**Vyacheslav Borisov<sup>1,\*</sup>, Dmitry Akinin<sup>1</sup>, Vladimir Kirey<sup>1</sup> and Ekaterina Fokina<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Moscow State Technical University named after N. E. Bauman (Mytishchi branch), 141005, Moscow region, Mytishchi, ul. 1-I Institutskaya, 1; E-Mails: vborisov@rambler.ru (V. B.), akinin-d@rambler.ru (D. A.), KIREY-V@mail.ru (V. K.)

\* Author to whom correspondence should be addressed; E-Mail: vborisov@rambler.ru (V. B.); Tel.: +7(910)4201702.

*Received: 21 September 2018 / Accepted: 29 September 2018 / Published: 10 October 2018*

---

**Abstract:** The article considers determination of the magnitude of the deformations arising in the road structure of a gravel timber road depending on the speed of the timber truck and the road surface state. The obtained research data allow us to give recommendations for the design and construction of road structures.

**Keywords:** carriageway; logging road; operating speed; logging road; gravel cover; dynamic load; statistical load.

---

## 1. Постановка проблемы

В зависимости от состояния поверхности проезжей части лесовозной автомобильной дороги характер воздействия на дорогу подвижной нагрузки от колёс автопоезда при эксплуатационных скоростях движения изменяется.

При наличии на покрытии значительных неровностей нагрузка от движущихся колёс носит динамический, ударный характер. В этом случае, вследствие колебаний подрессоренных и непрессоренных масс автомобиля, давление колеса на дорогу увеличивается по сравнению со статическим, а величина напряжений в основании дорожной одежды превышает их статические значения [1], [2], [3].

При плавном движении автомобиля по ровной поверхности дорожного покрытия имеет место внезапное безударное, кратковременное приложение колёсной нагрузки, равной по величине статической, но действующей менее продолжительное время, чем необходимо, для полного развития деформаций в дорожной одежде, слое основания и подстилающем слое земляного полотна [2].

Исследованиями [4], [5], [6], [7], [8], [9] установлено, что при кратковременной нагрузке напряжения в грунте земляного полотна, а также в слое основания и дорожной одежде успевают распространиться на значительную глубину, однако величина их, вследствие влияния инерционных сил и вязких свойств дорожно-строительных материалов, а также отставания процесса деформации от скорости распространения напряжений, уменьшается по сравнению с длительным действием статической нагрузки.

Таким образом, при динамических и кратковременных колёсных нагрузках одновременно действуют два противоположных фактора: увеличение давления колеса на дорогу и напряжений в дороге, вследствие колебаний автомобиля из-за неровности покрытия, и уменьшение эффективных напряжений в дороге при кратковременном действии нагрузки. Эти два противоположных фактора в некоторой степени взаимно уничтожаются.

Величина напряжений по глубине дорожной конструкции при прочих равных условиях зависит как от скорости движения лесовоза, так и от рода дорожно-строительных материалов, а также подстилающих грунтов, их состояния и расположения в дорожной конструкции. Чем мягче и менее упруга среда (т. е. чем выше её вязкость), тем значительнее эффект уменьшения напряжений от кратковременно действующей нагрузки [3], [4], [9].

При существующих в настоящее время скоростях движения гружёных лесовозных автопоездов по гравийной магистрали (20—35 км/час.), размерах применяемых колёс и давлении воздуха в шинах время действия каждой нагрузки от колеса на площади контакта шины с покрытием составляет 0,03—0,05 сек., причём в период контакта удельное давление по следу для данной точки сначала растёт (в зоне загрузки площади контакта), достигая максимума примерно в середине следа, а затем в зоне разгрузки падает до нуля.

При среднем удельном давлении 0,4—0,5 МПа скорость возрастания и спада удельного давления по следу оценивается десятками Па в секунду.

Как показали исследования [9], в нижних слоях гравийной дороги на глубине 50—60 см (в местах контакта дорожной одежды со слоем основания и грунтом земляного полотна) величина вертикальных сжимающих напряжений от расчётных нагрузок не превышает 0,1 МПа, а время действия их увеличивается до 0,2—0,3 сек., так что средняя скорость роста напряжений уменьшается до 0,3—0,5 МПа в секунду.

При таких режимах воздействия колёсных нагрузок, когда поле напряжений изменяется со значительными скоростями, на напряжённо-деформированное состояние дорожного полотна оказывают влияние отмеченные выше дополнительные факторы: инерционные силы, реологические свойства дорожных материалов и подстилающих грунтов, гидростатическое давление в водонасыщенных грунтах.

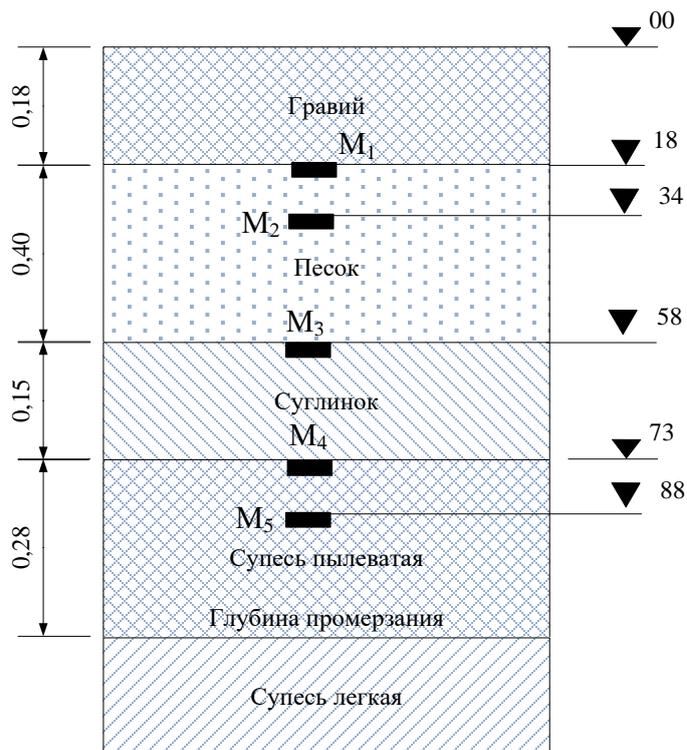
С целью определения влияния скорости движения лесовозного автопоезда на величину напряжений в гравийной лесовозной дороге авторами были проведены серии испытаний в производственных условиях.

## 2. Материалы и методы

Испытания проводились в лаборатории автомобильного лесотранспорта Медынского ДРСУ с использованием гружёного автопоезда МАЗ-5434. Испытания проводились в осенний период на гравийной дороге Медынского лесничества Калужской области в период выполнения других дорожно-полевых экспериментальных работ, условия проведения которых были подробно описаны ранее [3], [5], [6].

Опытный участок дороги был прямым, хорошо спрофилированным и ровно укатанным. Крупные неровности (выбоины, волны, впадины) на участке отсутствовали. Строго по вертикали на глубину до 90 см было заложено 5 грунтовых месдоз, которые при проходе автопоезда фиксировали нормальные вертикальные напряжения сжатия  $\sigma_z$  на различной глубине лесовозной дороги с переходным типом покрытия. Замерялись также напряжения сжатия под колёсами неподвижно стоящего автопоезда. Разрез поперечника и расположение в нём месдоз показаны на рисунке 1, а основные физико-механические характеристики грунтов и дорожных материалов приведены в таблице 1.

Автомобиль (тягач) МАЗ-5434 использовался без прицепа, при этом полезная нагрузка на платформе кузова составила 65 кН. Нагрузка от переднего колеса равнялась 24,70 кН, а от заднего — 48,20 кН. На автомобильный тягач были установлены одинарные шипы размером 15,00—20 модели Я-190. Передние и задние колёса на этих шинах имели одинаковую колею и проходили по одному следу. Давление воздуха в шинах было номинальным и составляло на передней оси 3 кг/см<sup>2</sup>, а на задней — 5 кг/см<sup>2</sup>. Тягачом было сделано по поперечнику 128 проходов. Скорость движения изменялась от нуля до максимальной (30 км/час.), которую автомобиль мог развить на данном опытном участке дороги.



**Рисунок 1.** Расположение месдоз

Физико-механические свойства грунтов и дорожно-строительных материалов, по которым осуществлялось движение тягача МАЗ-5434, представлены в таблице 1.

**Таблица 1.** Физико-механические свойства грунтов и дорожно-строительных материалов

Наименование по СНиП	Толщина слоя, см	Влажность		Число пластичности	Плотность	Модуль деформации $E, \frac{\text{кг}}{\text{см}^2}$ (при $\lambda = 0,02$ )
		абсолютная, $W, \%$	Относительная, $W/W_T$			
Песок гравелистый	18	4,0	—	—	1,88	—
Песок средней крупности	40	5,0	—	—	1,81	258
Суглинок лёгкий	15	26,2	0,70	11,2	1,42	125
Супесь пылеватая	28	18,3	0,64	7,1	1,79	186
Супесь лёгкая	—	18,1	0,68	6,7	1,86	203

### 3. Результаты исследования

Результаты испытаний приведены на рисунке 2, где для каждого уровня заложения месдоз показано отношение динамического напряжения к статическому (т. е. величина динамического коэффициента) от воздействия передних и задних колёс для различных скоростей движения автомобиля. По средним значениям этих коэффициентов построены графики (рисунок 2). Из рисунка 2 видно, что с увеличением скорости движения автомобиля величина напряжений на различной глубине дорожной конструкции под гравийным покрытием уменьшается.

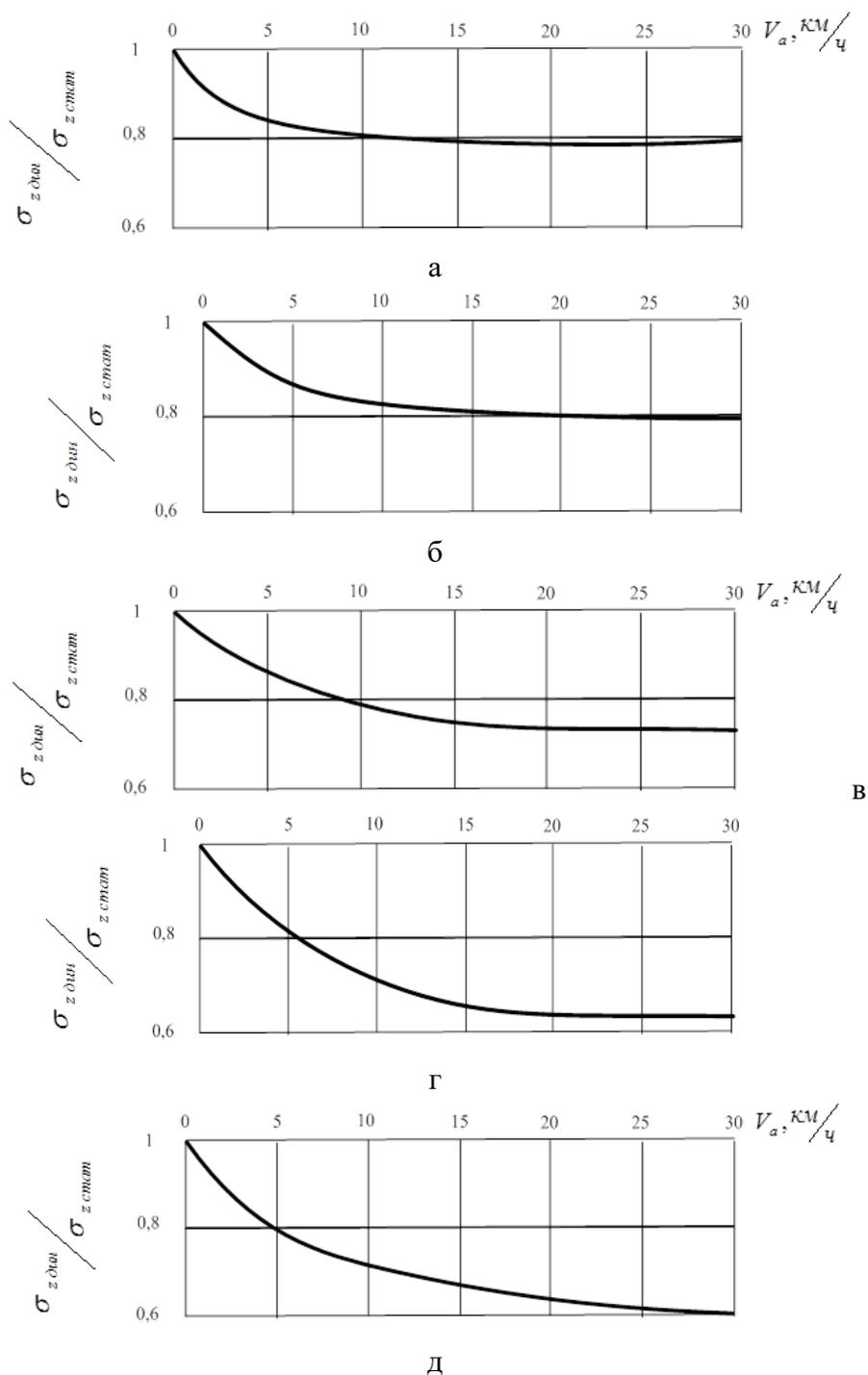
Это уменьшение происходит, в основном, в интервале скоростей движения автомобиля от нуля до 15 км/час. При дальнейшем увеличении скорости движения автомобиля (до 30 км/час) величина напряжений в слое основания, состоящего из песка, практически не изменяется, а в грунте земляного полотна она медленно уменьшается.

Анализ опытных данных показывает, что уменьшение напряжений как под передним, так и под задним движущимися колёсами по сравнению с их статическим значением происходит приблизительно в одинаковой мере, т. е. в случае плавного прохода автомобиля величина нагрузки на колесо не влияет на динамический эффект.

Степень уменьшения напряжений с увеличением скорости движения автомобиля на разной глубине различна. В песчаном слое на глубине  $z_1 = 18$  см (под гравийным покрытием) и  $z_2 = 34$  см при скоростях движения автомобиля до 30 км/час напряжения уменьшаются в среднем на 22 %. В местах контакта песчаного слоя и подстилающего грунта на глубине 58 см напряжения  $\sigma_z$  уменьшаются в среднем на 30 %, а в подстилающем грунте под слоем суглинка на глубине 73 см и в слое супеси на глубине 88 см уменьшение напряжений  $\sigma_z$  при этих же скоростях движения автомобиля достигает в среднем 37 % от статических.

Таким образом, с увеличением глубины напряжения от динамической нагрузки затухают быстрее, чем от статической, поэтому и динамический коэффициент с глубиной уменьшается. При скорости движения автомобиля около 30 км/час величина среднего динамического коэффициента на глубине 58 см меньше на 9 %, а на глубине 73 и 88 см соответственно меньше на 18 и 22 %, чем непосредственно под гравийным покрытием.

Необходимо отметить, что максимальная величина относительных динамических напряжений на 15 % выше приведённых на графиках (рисунок 2) средних значений.



**Рисунок 2.** Зависимости динамического коэффициента нормальных напряжений на различной глубине гравийной дороги от скорости движения лесовоза: а — при  $z_1 = 18$  см; б — при  $z_2 = 34$  см; в — при  $z_3 = 58$  см; г — при  $z_4 = 73$  см; д — при  $z_5 = 88$  см

## Выводы

1. Величина вертикальных сжимающих напряжений  $\sigma_z$  в гравийной дороге зависит от скорости движения автомобиля. При ровной поверхности дороги и плавном движении автомобиля напряжения  $\sigma_z$  под гравийным покрытием с увеличением скорости автомобиля уменьшаются. При скорости движения автомобиля до 30 км/час напряжения  $\sigma_z$  в верхнем песчаном слое уменьшаются незначительно, а в подстилающем одежку суглинистом и супесчаном грунте — в среднем на 30—40 % статических значений.
2. С увеличением глубины динамический коэффициент уменьшается. При скорости движения автомобиля 20—28 км/час величина максимального динамического коэффициента в песчаном слое равна 0,90—0,93, а в подстилающем грунте — 0,71—0,76, т. е. в среднем на 20 % меньше.
3. При движении автомобиля по ровному покрытию величина нагрузки на колесо практически не влияет на динамический эффект: динамический коэффициент по глубине дороги от воздействия как переднего колеса (с нагрузкой 24,7 кН), так и заднего колеса (с нагрузкой 48,2 кН) приблизительно одинаков.

## Список литературы

1. Проектирование лесовозных и лесохозяйственных дорог: учебное пособие / В. В. Никитин, В. А. Борисов, Д. В. Акинин, М. А. Сорокин; под ред. А. А. Камусина. — Красноярск, 2018.
2. Программа оценки динамического взаимодействия звеньев лесовозного автопоезда в режиме экстренного или служебного торможения: свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RUS 2014618419 / А. А. Камусин, А. В. Скрыпников, В. А. Борисов, С. В. Дорохин. — 26.06.2014.
3. Анализ влияния проходов лесовозного автопоезда на уплотнение песчаного слоя основания лесной автодороги с переходным типом покрытия / В. В. Никитин, Д. В. Акинин, В. А. Борисов, Н. И. Казначеева // Леса России в XXI веке: сборник научных трудов по итогам международной научно-технической интернет-конференции. — 2015. — С. 126—130.
4. Борисов, В. А. Распределение нормальных реакций по длине опорной поверхности гусеничных движителей лесозаготовительных машин с полужёсткой подвеской / В. А. Борисов, Д. В. Акинин, В. В. Кирей // Лесной вестник / Forestry Bulletin. — 2017. — Т. 21, № 6. — С. 31—37. — DOI: 10.18698/2542-1468-2017-6-31-37.
5. Некоторые вопросы зависимости грузоподъёмности лесовозных автопоездов от типа покрытия лесной дороги / В. А. Борисов, Д. В. Акинин, С. А. Чернов, Д. П. Попутчиков // International Journal of Advanced Studies in Computer Engineering. — 2018. — № 1. — С. 9—13.
6. К вопросу выбора эффективного вида дорожного покрытия лесных дорог при анализе лесных ресурсов / А. А. Камусин, В. А. Борисов, Д. В. Акинин, В. В. Кирей,

Н. И. Казначеева / International Journal of Advanced Studies in Computer Engineering. — 2018. — № 1. — С. 20—28.

7. *Бируля, А. К.* Конструирование и расчёт нежестких одежд автомобильных дорог. — Москва : Транспорт, 1964.
8. Теория прочности нежестких дорожных одежд / Н. Н. Иванов, В. Ф. Бабков, А. К. Бируля, Н. А. Пузаков // IV Международный конгресс по механике грунтов и фундаментостроению : материалы к конгрессу. — Москва : АН СССР, 1957.
9. *Теляев, П. И.* Напряжённое состояние дорожных одежд при статическом и кратковременном воздействии нагрузок / П. И. Теляев // Автомобильные дороги. — 1964. — № 6.

## References

1. Proektirovanie lesovoznykh i lesokhozyaystvennykh dorog : uchebnoe posobie / V. V. Nikitin, V. A. Borisov, D. V. Akinin, M. A. Sorokin ; pod red. A. A. Kamusina. — Krasnoyarsk, 2018.
2. Programma otsenki dinamicheskogo vzaimodeystviya zven'ev lesovoznogo avtopoezda v rezhime ekstremnogo ili sluzhebnoego tormozheniya : svidetel'stvo o registratsii programmy dlya EVM RUS 2014618419 / A. A. Kamusin, A. V. Skrypnikov, V. A. Borisov, S. V. Dorokhin. — 26.06.2014.
3. Analiz vliyaniya prokhodov lesovoznogo avtopoezda na uplotnenie peschanogo sloya osnovaniya lesnoy avtodorogi s perekhodnym tipom pokrytiya / V. V. Nikitin, D. V. Akinin, V. A. Borisov, N. I. Kaznacheeva // Lesa Rossii v XXI veke : sbornik nauchnykh trudov po itogam mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy internet-konferentsii. — 2015. — S. 126—130.
4. *Borisov, V. A.* Raspredelenie normal'nykh reaktsiy po dline opornoy poverkhnosti gusenichnykh dvizhiteley lesozagotovitel'nykh mashin s poluzhestkoy podveskoy / V. A. Borisov, D. V. Akinin, V. V. Kirey // Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin. — 2017. — T. 21, No. 6. — S. 31—37. — DOI: 10.18698/2542-1468-2017-6-31-37.
5. Nekotorye voprosy zavisimosti gruzopodemnosti lesovoznykh avtopoezdov ot tipa pokrytiya lesnoy dorogi / V. A. Borisov, D. V. Akinin, S. A. Chernov, D. P. Poputchikov // International Journal of Advanced Studies in Computer Engineering. — 2018. — № 1. — S. 9—13.
6. K voprosu vybora effektivnogo vida dorozhnogo pokrytiya lesnykh dorog pri analize lesnykh resursov / A. A. Kamusin, V. A. Borisov, D. V. Akinin, V. V. Kirey, N. I. Kaznacheeva // International Journal of Advanced Studies in Computer Engineering. — 2018. — № 1. — S. 20—28.
7. *Birulya, A. K.* Konstruirovaniye i raschet nezhestkikh odezhd avtomobil'nykh dorog / A. Birulya. — Moskva : Transport, 1964.
8. Teoriya prochnosti nezhestkikh dorozhnykh odezhd / N. N. Ivanov, V. F. Babkov, A. K. Birulya, N. A. Puzakov // IV Mezhdunarodnyi kongress po mekhanike gruntov i fundamentostroeniyyu : materialy k kongressu. — Moskva : AN SSSR, 1957.
9. *Telyaev, P. I.* Napryazhennoe sostoyaniye dorozhnykh odezhd pri staticheskom i kratkovremennom vozdeystvii nagruzok / P. I. Telyaev // Avtomobil'nye dorogi. — 1964. — № 6.