

634.0.3

А16

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ БССР

БЕЛОРУССКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
ИМЕНИ С. М. КИРОВА

На правах рукописи

АБРАМОВИЧ КАЗИМИР БОЛЕСЛАВОВИЧ

**ИССЛЕДОВАНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ И РАЗВИТИЯ
ВОЛНОБРАЗНЫХ НЕРОВНОСТЕЙ НА АВТОМОБИЛЬНЫХ
ЛЕСОВОЗНЫХ ДОРОГАХ С ГРАВИЙНЫМ ПОКРЫТИЕМ
И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ТЕХНИКО-ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ
ПОКАЗАТЕЛИ РАБОТЫ АВТОТРАНСПОРТА**

**Специальность 05.06.02. Машины и механизмы
лесоразработок, лесозаготовок, лесного хозяйства
и деревообрабатывающих производств (05.420)**

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Минск 1975

634.0.3
A16

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ ЭССР

БЕЛОРУССКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
ИМЕНИ С. М. КИРОВА

На правах рукописи

АБРАМОВИЧ КАЗИМИР БОДЕСЛАВОВИЧ

ИССЛЕДОВАНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ И РАЗВИТИЯ ВОЛНООБРАЗНЫХ
НЕРОВНОСТЕЙ НА АВТОМОБИЛЬНЫХ ЛЕСОВОЗНЫХ ДОРОГАХ
С ГРАВИАНЫМ ПОКРЫТИЕМ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ТЕХНИКО-
ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ РАБОТЫ АВТОТРАНСПОРТА

Специальность 05.06.02. Машины и механизмы
лесоразработок, лесоваготовок, лесного хозяйства
и деревообрабатывающих производств (05.420)

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Минск 1975

3674 ар

МИНИСТЕРСТВО БТИ
ИМЕНИ С. М. КИРОВА

Работа выполнена в Белорусском технологическом институте им.С.М.Кирова

Научные руководители: доктор технических наук,
профессор И.И.ЛЕОНОВИЧ,
кандидат технических наук,
доцент В.В.ЖУКОВ

Научный консультант - кандидат технических наук,
доцент А.В.ЖУКОВ

Официальные оппоненты:


доктор технических наук А.И.ГРИШКЕВИЧ,
кандидат технических наук, доцент А.П.КАЛАШНИКОВ

Ведущее предприятие - Министерство лесной и дерево-
обрабатывающей промышленности
Белорусской ССР

Автореферат разослан "10" февраля 1975 г.
Защита диссертации состоится "12" марта 1975 г.
в 10⁰⁰ на заседании Совета Белорусского технологи-
ческого института им.С.М.Кирова (220630, г. Минск-50,
ул. Свердлова, 13-а, ауд. 220, корп.4).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке
института

Ученый секретарь Совета
кандидат технических наук


/Е.А.ГРУШЕВСКАЯ/

Лесозаготовительная промышленность занимает важное место в экономике нашей страны. Директивами XXIV съезда КПСС по пятилетнему плану развития народного хозяйства СССР предусмотрено дальнейшее развитие лесозаготовительного производства и повышение его эффективности. Объем вывозки древесины по главным рубкам возрастает с 345 млн. м³ в 1970 г. до 355 млн. м³ в 1975 г.

Лесозаготовительное производство неразрывно связано с транспортом леса, который является одной из основных фаз производственного процесса лесозаготовительного предприятия. При этом ведущим видом транспорта в лесной промышленности является автомобильный.

Рост количества автомобильных дорог и их протяженность в настоящее время происходит в основном за счет строительства гравийных и грунтовых дорог.

Следует отметить, что грунтовые дороги имеют существенный недостаток - в весенний и осенний периоды они становятся малепроезжими. Наиболее характерными преимуществами дорог с гравийным покрытием является сравнительно невысокая стоимость строительства, прочность их по сравнению с грунтовыми дорогами значительно выше. Однако наряду с указанными преимуществами гравийные покрытия имеют и существенный недостаток - в процессе эксплуатации возникают деформации в виде поперечной волнообразной ребристости типа гребенок, которые существенным образом влияют на условия движения транспортных средств по дороге.

Наличие волн усиливает воздействие на дорогу колес проходящего транспорта. Возрастает также нагруженность агрегатов и узлов транспортных средств. Это приводит к преждевременному износу автомобилей и прицепного подвижного состава и сокращению срока службы дорожного покрытия, в результате чего повышаются расходы на содержание транспортных средств и дороги.

Влияние неровностей дороги на показатели работы транспортных средств выражается в дополнительном увеличении затрат мощности, снижении скорости движения, а следовательно, и производительности и увеличении себестоимости вывозки древесины.

Исследованию некоторых вопросов эксплуатации гравийных лесовозных дорог с учетом воздействия транспорта и посвящена данная работа.

Диссертационная работа состоит из введения, шести глав, выводов, перечня литературы и приложений.

В первой главе - "Состояние вопроса и задача исследования" - приведен обзор литературных источников по вопросу волнообразования и сформулирована задача исследования.

Изучением явления волнообразования занимались многие исследователи в СССР и за рубежом.

Исследованию причин волнообразования на автомобильных дорогах посвящены работы советских ученых: А.К. Бируля, П.Н. Шестакова, И. Ерусалимской, П.С. Шапиро, З.С. Бмцикишвили и др.

Из зарубежных исследователей изучением волнообразования занимались Алваре, Лангреб, Майер, Гильберт, Флоренти и Херито, Карпентер и Дина, Ведемейер и др.

Анализ исследований указанных авторов показывает, что явление волнообразования изучено еще недостаточно, особенно на автомобильных лесовозных дорогах с гравийным покрытием. Задачей настоящей работы является исследование некоторых причин образования и развития волнообразных неровностей на лесовозных дорогах с гравийным покрытием и их влияние на технико-эксплуатационные показатели работы автотранспорта.

Решение поставленной задачи включает следующие вопросы.

1. Исследовать степень ровности наиболее характерных в условиях СССР автомобильных лесовозных дорог и получить статистические характеристики микропрофиля и показатели его изменения в зависимости от интенсивности движения.
2. Определить влияние степени ровности дорожного покрытия на скорость движения и дополнительные затраты мощности лесовозного автопоезда.
3. Исследовать некоторые причины образования и развития волнообразных неровностей с учетом свободных и вынужденных колебаний системы, ее параметров, режимов и интенсивности движения.
4. Рассмотреть как особый фактор влияние на волнообразование динамического взаимодействия транспортной системы с микрорель-

ефом дорог при различных режимах движения.

5. Разработать некоторые практические рекомендации по улучшению степени ровности автомобильных лесовозных дорог с гравийным покрытием.

Во второй главе - "Исследование микропрофиля автомобильных лесовозных дорог" - описывается измерительная аппаратура и методика записи и обработки микропрофиля дорог, а также приводятся основные результаты исследований.

Измерение микропрофиля производилось на наиболее характерных эксплуатируемых и вновь построенных лесовозных дорогах. Длина опытных участков составляла от 140 до 570 м. Обработка осциллограмм микропрофиля производилась с помощью ЭЦМ "Минск-32". При вычислениях определялись ординаты централизованного профиля неровностей, математическое ожидание, дисперсия, среднеквадратичная высота неровностей, а также ординаты корреляционной функции и спектральной плотности.

Результаты обработки осциллограмм показали, что среднеквадратичная высота неровностей на 17 опытных участках дорог изменяется от 0,51 до 5,60 см.

Кривые нормированных корреляционных функций воздействия при единичной скорости движения почти во всех случаях аппроксимируются аналитическими выражениями вида

$$\rho(\tau) = e^{-\alpha_1|\tau|} \cos \beta_1 \tau \quad (1)$$

$$\rho(\tau) = A_1 e^{-\alpha_1|\tau|} \cos \beta_1 \tau + A_2 e^{-\alpha_2|\tau|} \cos \beta_2 \tau \quad (2)$$

где α и β - коэффициенты корреляционной связи;
 τ - время корреляционной связи.

Например, для дорожного участка № 5 нормированная корреляционная функция аппроксимируется выражением (1): $\alpha = 2,464$;
 $\beta = 1,843$; для участка № 2 - выражением (2): $A_1 = 0,94$;
 $\alpha_1 = 0,040$; $\beta_1 = 0,029$; $A_2 = 0,06$; $\alpha_2 = 0,082$; $\beta_2 = 0,369$.

Анализ графиков нормированных корреляционных функций показал, что корреляционные кривые характеризуются резким спадом и отличаются друг от друга интенсивностью убывания. По данным наших исследований время корреляционной связи

при единичной скорости движения изменяется от 0,63 до 50 и более секунд.

Кривые спектральной плотности имеют несколько максимумов. Наибольшая ордината спектра соответствует частотам, близким к нулю. С возрастанием скорости движения максимумы сдвигаются в сторону более высоких частот.

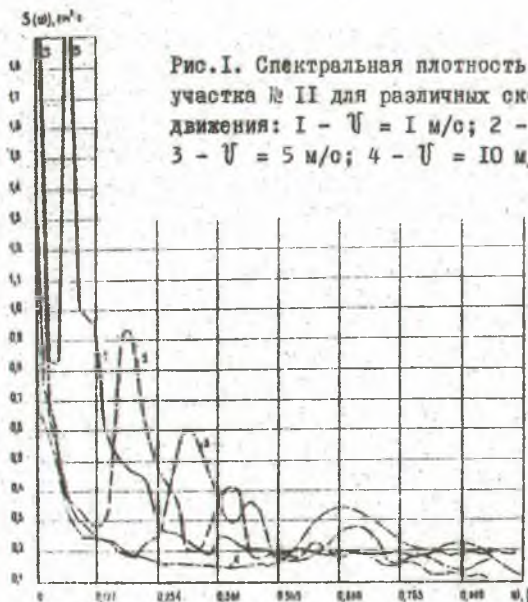


Рис. I. Спектральная плотность опытного участка № II для различных скоростей движения: 1 - $V = 1$ м/с; 2 - $V = 3$ м/с; 3 - $V = 5$ м/с; 4 - $V = 10$ м/с.

В качестве примера на рис. I показана спектральная плотность опытного участка № II. Из рисунка видно, что спектральная плотность при $V = 1$ м/с имеет четко выраженный максимум при $\omega = 0,064 \frac{1}{\text{с}}$, а при $V = 5$ м/с - $0,320 \frac{1}{\text{с}}$.

В третьей главе - "Влияние степени ровности гравийного дорожного покрытия на технико-эксплуатационные показатели работы лесовозного автопоезда" - рассмотрены вопросы, связанные с определением и анализом изменения максимально-допусти-

мой скорости движения автопоезда и дополнительных затрат мощности на колебания в зависимости от степени ровности покрытия.

В результате проведенных исследований получена зависимость изменения предельно-допустимой скорости движения лесовозного автопоезда МАЗ-509 + ТМЗ-803 вида

$$V_q = 50,31 - 4,66 B_n, \quad (3)$$

где B_n - среднеквадратичная высота неровностей.

Разработана методика, позволяющая производить расчет затрат мощности на преодоление неровностей при вертикальных и поперечно-угловых колебаниях поддрессоренных масс автопоезда.

Произведенные расчеты, с учетом синусоидального воздействия, позволили установить зависимость дополнительных затрат мощности от скорости движения автопоезда и параметров неровностей. Для автопоезда МАЗ-509 + ТМЗ-803 затраты мощности достигают значительной величины. Например, при $V = 30$ км/ч и изменении длины неровностей от 0,5 до 1,5 м при их высоте $H_n = 7,5$ см мощность изменяется от 1,3 до 9 л.с.

Результаты вычислений подтверждены экспериментальными исследованиями. Методика экспериментальных исследований предусматривала регистрацию следующих параметров: тягового усилия автопоезда, скорости движения и микропрофиля дороги. Измерение тягового сопротивления автопоезда производилось с помощью динамографа КЭД, запись измеряемых параметров - осциллографом Н-700. В результате проведенных экспериментальных исследований получены фактические величины затрат мощности на преодоление неровностей в реальных дорожных условиях.

В четвертой главе - "Исследование причин образования и развития волнообразных неровностей на лесовозных автомобильных дорогах" - изложены результаты исследования причин образования и развития волнообразных неровностей.

Основной причиной волнообразования являются первоначальные случайные единичные неровности, обусловленные технологией строительства и качеством дорожно-строительного материала. Имеющиеся неровности на поверхности дорожного покрытия разви-

ваются под действием динамических сил, вызванных колебаниями транспортных систем.

Исследования показали, что на волнообразование влияют частоты свободных колебаний транспортных систем. Расчетным путем установлено, что для основных типов автопоездов на базе автомобилей МАЗ и КраЗ частоты свободных колебаний различаются незначительно. Незначительное различие частот свободных колебаний и приводит к тому, что при движении автопоездов давление колес приходится на одни и те же места дорожного покрытия. Многократное воздействие от свободных колебаний автопоездов одинакового типа приводит к образованию первоначальных волнообразных неровностей.

Образованию начальных волнообразных неровностей способствует также неравномерность модуля упругости дорожной конструкции. Проведенными наблюдениями на эксплуатируемых лесовозных дорогах с гравийным покрытием установлено, что резкое изменение модуля упругости по длине опытного участка способствует появлению волнообразных неровностей. Так, на опытном участке, где численные значения модуля деформации (E) изменялись от 372 до 1085 кг/см², установлено появление волнообразных неровностей, в то время как на участке, где E имел меньший диапазон изменения, признаков волнообразования не обнаружено.

При движении транспортных систем по покрытию с одинаковым модулем упругости под колесами амплитуда прогиба будет везде одинаковой и покрытие изнашивается равномерно. Неравномерный модуль упругости создает как бы неровности в покрытии, а вместе с тем и изменение нагрузок, действующих на дорогу. При частых изменениях величины упругого прогиба изменяется скорость поступательного движения транспортной системы. Поскольку подрессоренная масса автопоезда в несколько раз больше неподдресоренной, то она не может изменять поступательного движения вперед одновременно с неподдресоренной, а будет двигаться с прежней скоростью, постепенно замедляя движение и увлекая за собой неподдресоренную массу, оказывая неравномерное давление колес на покрытие.

Дальнейшее развитие волнообразных неровностей происходит

под действием дополнительных динамических сил, вызванных вынужденными колебаниями транспортных систем при движении по обрзовавшимся начальным волнообразным неровностям.

Кроме вертикальных сил давления колесо на дорогу действуют также силы разрежения и вихревого потока за движущимся автотранспортом. Действие вертикальных сил на дорогу приводит к выдергиванию, окатыванию и измельчению материала покрытия, а силы разрежения воздуха и вихревого потока за движущимся автомобилем увлекают за собой несвязанные частицы материала покрытия. Действие этих сил зависит от аэродинамических качеств транспортной системы и увеличивается с возрастанием скорости движения.

Для изучения характера взаимодействия колеса с дорогой были проведены исследования процесса динамического воздействия упрощенных и более сложных транспортных систем при установившемся и неустановившемся движении.

В случае двухмассовой системы динамическое давление рассчитывалось по формуле

$$R_z(t) = (C_z - m_k \omega^2) H_k \sin \omega t - b C_z \sin(\omega t - \alpha) - K_z \cos(\omega t - \alpha), \quad (4)$$

где C_z - суммарная линейная жесткость подвески;

m_k - неподрессоренная масса;

ω - частота воздействия;

α - разность фаз между вынужденными колебаниями и динамической силой;

b - амплитуда вынужденных колебаний;

K_z - коэффициент сопротивления подвески.

С учетом переходного процесса (в начальный период движения, когда собственные колебания накладываются на вынужденные) вертикальные перемещения массы описываются уравнением

$$z = -b e^{-ht} \left[\sin(\alpha) \cos \sqrt{p^2 - h^2} \cdot t + \frac{\omega \cos \alpha + h \sin(\alpha)}{\sqrt{p^2 - h^2}} \sin \sqrt{p^2 - h^2} \cdot t \right] + b \sin(\omega t - \alpha). \quad (5)$$

Общий анализ расчетных кривых для различных транспортных систем, построенных по изложенной методике показал, что для

рассмотренных параметров неровностей и скоростей движения динамические нагрузки изменяются в широких пределах. Максимальные размахи колебаний динамической нагрузки изменяются в пределах 0 - 2,35 статических нагрузок. С увеличением скорости движения наблюдается сдвиг максимальной нагрузки в направлении движения системы.

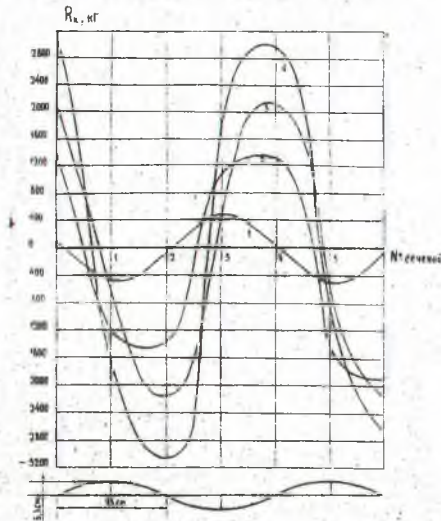


Рис. 2. Зависимость динамического давления колес автоотенда от скорости движения: 1 - $U = 5,2$ км/ч; 2 - $U = 10$ км/ч; 3 - $U = 15$ км/ч; 4 - $U = 20$ км/ч.

Характер распределения R_d по длине волнообразной неровности ($L_w = 93$ см, $H_w = 6,3$ см) виден из приведенного, в качестве примера, рис. 2. Максимальное динамическое давление наблюдается при въезде на волнообразную неровность и во впадине. С увеличением скорости движения точка приложения максимального давления смещается в сторону движения относительно середины впадины (в зону перехода впадины неровности в выступ). В данном случае при установившихся колебаниях и многократном

воздействии транспортных систем следует ожидать образования очередной неровности при въезде на вершину и углублений впадины.

На конкретном примере показана необходимость учета переходного процесса при расчете динамических воздействий систем на дорогу (рис. 3, $L_{пд} = 93$ см, $H_n = 3$ см).

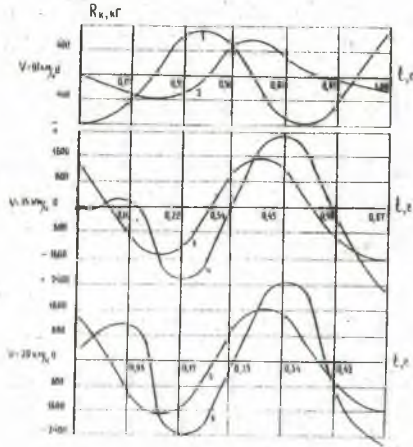


Рис. 3. Зависимость $R_k = f(t)$ при установившихся (1, 3, 5) и неустановившихся (2, 4, 6) колебаниях транспортной системы.

В расчетах приняты следующие параметры системы:

$$M = 2,41 \frac{\text{кг} \cdot \text{с}^2}{\text{см}}; \quad M_k = 0,76 \frac{\text{кг} \cdot \text{с}^2}{\text{см}}; \quad G = 2380 \text{ кг};$$

$$G_k = 760 \text{ кг}; \quad U = 410 \frac{\text{кг}}{\text{см}}; \quad K = 30 \frac{\text{кг} \cdot \text{с}}{\text{см}}; \quad C_0 = 1600 \frac{\text{кг}}{\text{см}};$$

$$C_1 = 327 \frac{\text{кг}}{\text{см}}; \quad 2h = 12,4 \frac{\text{с}}{\text{с}}; \quad P^2 = 136 \frac{\text{с}}{\text{с}}; \quad h = 853 \frac{\text{см}}{\text{с}}.$$

Из рисунка видно, что в начальный период движения при всех скоростях движения R_k имеет несколько меньшую частоту

перехода от отрицательных значений к положительным, чем при установившихся колебаниях. Это и объясняется суммированием вынужденных и собственных колебаний подрессоренной массы системы. Этим также объясняется и различие в значениях амплитуд кривых 1, 3, 5 и 2, 4, 6. Причем, с возрастанием скорости движения это различие становится более существенным. Так при $U = 15$ км/ч разница амплитуд R_1 для установившихся и неустановившихся колебаний составляет 640 кг, а при $U = 20$ км/ч - 880 кг, т.е. разность динамических давлений увеличилась почти в 1,4 раза.

Исследование влияния интенсивности движения на изменение профиля волнообразных неровностей в зависимости от их начальных размеров в производственных условиях проводились на четырех опытных участках дорог в наиболее характерные периоды года - весной и осенью, имеющих различную начальную степень ровности. Нагрузка, передаваемая дорожной конструкции, обуславливалась промышленными и сельскохозяйственными перевозками. Для характеристики размера и состава движения были проведены натурные измерения.

По данным статистической обработки осциллограмм построены кривые начальной степени ровности и изменение среднеквадратичной высоты волнообразных неровностей в зависимости от их начальных размеров и интенсивности движения.

Исследования показали, что чем больше начальная среднеквадратичная высота неровностей (B_n), тем интенсивнее происходит изменение микропрофиля. Так, например, если на опытном участке № 1 B_n увеличилась с 10 до 17 мм, то на участке № 4 - с 12 до 23 мм.

Одновременно с исследованием деформации поверхности покрытия в лабораторных условиях определялось накопление внутренних вертикальных деформаций в дорожной конструкции с целью изучения распределения их по глубине.

Измерение интенсивности накопления остаточных деформаций производилось в дорожно-лабораторном канале кафедры сухопутного транспорта леса и дорожных машин БТИ им.С.М.Кирова в зависимости от числа проходов подвижного автостенда, с помощью

усовершенствованных датчиков индуктивного типа.

Исследованиями установлено, что интенсивность накопления остаточных деформаций описывается логарифмической зависимостью вида $y = a + b \lg x$.

В пятой главе - "Исследование с помощью ЭЦВМ динамического воздействия лесовозного автопоезда на дорогу при случайных возмущениях" - изложена методика расчета и приведены результаты исследований на примере лесовозного автопоезда МАЗ-509 + ТМЗ-803. Проанализированы различные варианты решений, причем широко варьировались параметры автопоезда, скорости его движения, а также параметры, характеризующие степень ровности участков дорог.

Интенсивность изменения величины динамических давлений зависит не только от характера воздействия и скорости движения, но и во многом определяется динамическими качествами транспортного средства. Наибольшее влияние на характер изменения давлений на дорогу от колес тягача оказывают расстояния от задней оси до центра тяжести пакета хлыстов (ξ) и до коника тягача (d), конструктивные параметры подвески (C_1 и C_2), а также жесткость пакета хлыстов. На графиках, приведенных в работе, показано влияние различных параметров системы на изменение динамических давлений на дорогу. Например, при $d = 2$ м среднеквадратичная величина давления от задней оси тягача (R_2^c) имеет наибольшее значение. Увеличение или уменьшение d от указанного значения приводит к снижению реакции R_2^c .

Максимальные величины R_2^{max} при $d < 2$ м уменьшаются, а при $d > 2$ м - возрастают. Изменение расстояния от коника до задней оси тягача на среднеквадратичные и максимальные величины давлений на дорогу от колес прицепа-ропуски влияет несущественно. Оптимальное расстояние от задней оси тягача до центра тяжести пакета хлыстов для рассмотренных в работе условий находится в пределах 4,4 - 6 м. Изменение параметров C_1 и C_2 подвески автомобиля практически не влияет на реакции от колес прицепа-ропуски. Однако существенное влияние на эти реакции оказывает жесткость подвески прицепа-ропуски.

Как правило, с возрастанием скорости движения динамические нагрузки увеличиваются для дорог с различным энергетичес-

ким спектром по-разному. В некоторых случаях возможен спад кривых динамических нагрузок при увеличении скорости движения, что, например, характерно для максимального динамического давления от передней оси тягача.

Результаты исследований с полным основанием указывают на необходимость учета поперечно-угловых колебаний автопоезда при определении величины динамических нагрузок, передающихся дорожному покрытию. Так для автопоезда МАЗ-509 + ТМЗ-803 максимальные давления колес прицепа-ропуски на дорогу от поперечно-угловых колебаний составляет 15,6 % от максимальной величины полного динамического давления.

При рассмотрении динамического воздействия лесовозного автопоезда на дорогу при торможении и разгоне в качестве источника возмущений на систему принимались, в отличие от существующих методик, реальные неровности дороги. При расчете на ЭЦВМ время, соответствующее каждому из задаваемых значений высот неровностей, определялось по формуле

$$t_n = \frac{V_n}{f} - \sqrt{\left(\frac{V_n}{f}\right)^2 - \frac{2S_n}{f}}, \quad (6)$$

где f - замедление поступательного движения автопоезда;
 S_n - величина тормозного пути.

Текущая скорость поступательного движения определялась из выражения $V_n = V_{n-1} - f t_{n-1}$ (при $n = 1, V_{n-1} = V_0, t_{n-1} = t_0$, начальная скорость V_0 задавалась).

При вычислениях варьировались начальная скорость движения, замедление и величина тормозного пути. В качестве расчетных принимались опытные участки дорог с гравийным покрытием, которые характеризовались различной степенью ровности.

Анализ результатов исследований показал, что максимальные значения нагрузок от колес автопоезда, передающихся дорожному покрытию, наблюдаются на одних и тех же местах дороги почти независимо от скорости движения при установившихся колебаниях, а также начальной скорости движения и величины замедления при неустановившихся колебаниях. Общий характер распределения максимальных динамических давлений колес автопоезда на дорогу

при установившихся и неустановившихся колебаниях приведен на рис. 4, 5 и 6.

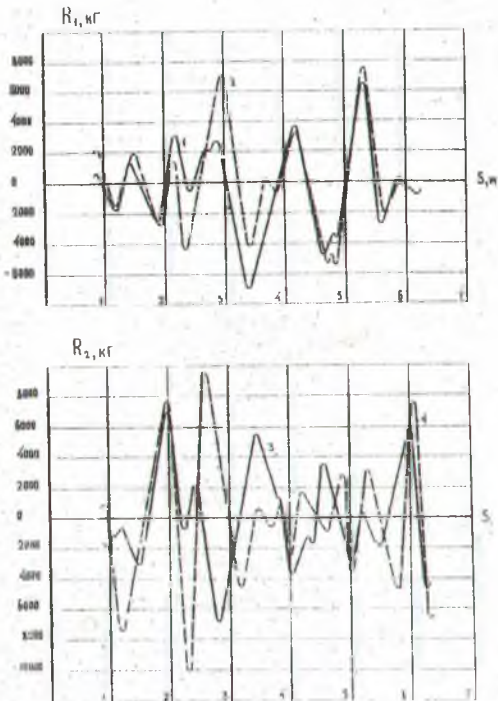


Рис. 4. Кривые динамических давлений на дорогу от передней (R_1) и задней (R_2) осей тягача (движение установившееся): 1 - R_1 , $U = 20$ км/ч; 2 - R_1 , $U = 30$ км/ч; 3 - R_2 , $U = 20$ км/ч; 4 - R_2 , $U = 30$ км/ч.

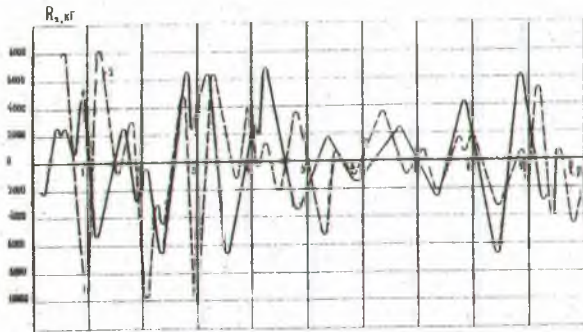


Рис.5. Кривые динамических давлений на дорогу от задней оси тягача при торможении:
1 - $v = 20$ км/ч; 2 - $v = 30$ км/ч.

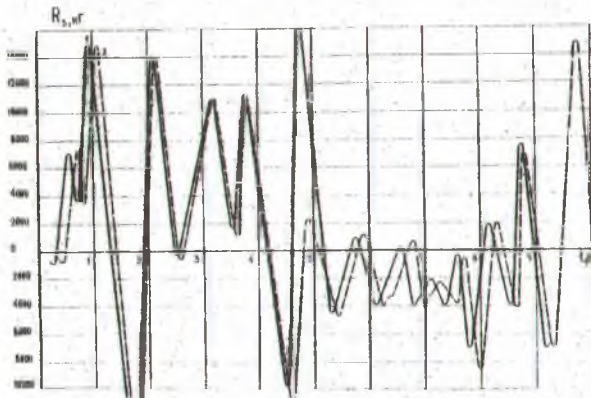


Рис.6. Кривые динамических давлений на дорогу от передней оси прицепа-ропуса при торможении:
1 - $v = 20$ км/ч; 2 - $v = 30$ км/ч.

В шестой главе - "Экспериментальные исследования динамического воздействия транспортных систем на дорогу" - излагаются результаты исследований величины и характера изменения вертикальных ускорений поддрессоренных и неподдрессоренных масс транспортных систем, оценивающих динамическое воздействие на дорогу при различных скоростях движения. Исследования проводились в лабораторных и производственных условиях.

Ускорения записывались с помощью авиационных датчиков перегрузок типа ЭП-15, переоборудованных с механической записи на электрическую. Для регистрации сигналов датчиков использовался осциллограф Н-700.

Экспериментальные исследования влияния единичной и смежных неровностей на силы давления колес на покрытие производились в грунтовом канале с помощью подвижной нагрузки. Для изучения распределения перепадов вертикальных ускорений по длине неровностей одновременно с регистрацией ускорений записывалась, специально изготовленным устройством реохордного типа, траектория движения оси колеса.

Рассмотрено влияние параметров единичных и смежных неровностей, а также режимов движения на характер распределения давления колес на покрытие.

Анализ результатов обработки осциллограмм показал, что общим для всех вариантов рассмотренных неровностей является характер распределения ускорений по их длине. В начале наблюдается увеличение давления, затем оно уменьшается при проходе колес через вершину неровности, а к моменту съезда снова увеличивается. Точка приложения максимального ускорения, при имевших место скоростях движения, выходит за пределы неровности.

За главные параметры, с помощью которых оценивалось воздействие автопоезда на дорогу при сравнении теоретических и экспериментальных исследований, приняты средние квадратичные и максимальные значения ускорений поддрессоренных и неподдрессоренных масс автопоезда. Сравнение указанных кривых показывает, что в характере их изменения существенной разницы не наблюдается. В большинстве случаев сходимость теоретических

и экспериментальных данных хорошая. Наибольший процент расхождения экспериментальных и теоретических кривых составил 9,8 %.

В ы в о д ы

1. Произведена запись микропрофиля дорог с различными типами покрытий. В результате статистической обработки осциллограммы получены основные числовые характеристики профиля неровностей.

Проведен анализ функций воздействия исследованных участков дорог, в результате чего сделаны выводы о характере воздействия дорожных неровностей на лесотранспортные системы.

Результаты статистической обработки микропрофиля использованы для исследования динамического воздействия транспортных систем на дорогу, а также послужили исходным материалом для классификации дорог по степени ровности, и дополняют имеющиеся в литературе данные о статистических характеристиках микропрофиля.

2. Установлена связь между предельно-допустимой скоростью движения автопоезда и ровностью гравийного дорожного покрытия.

Теоретическим и экспериментальным путем установлено влияние параметров неровностей дорожного покрытия на расход мощности лесовозного автопоезда.

Полученные зависимости предельно-допустимой скорости движения и дополнительных затрат мощности от степени ровности рекомендуются для решения практических задач по определению дорожно-эксплуатационных показателей с учетом реальных условий эксплуатации лесовозных автопоездов.

3. К причинам, влияющим на возникновение и развитие волнообразных неровностей, относятся конструктивные параметры транспортных систем, их скорости и режимы движения, а также конструктивные и эксплуатационные факторы дорог и природные условия.

Основной причиной волнообразования являются первоначальные случайные неровности, заложенные технологией строительства и качеством дорожно-строительного материала. Дальнейшее их развитие обуславливается, главным образом, характером вынужденных колебаний транспортных систем.

4. Анализ данных исследований позволил установить необходимость учета переходных процессов при расчете динамических воздействий транспортных систем на дорогу.

5. Установлен характер распределения и величины динамических нагрузок при взаимодействии транспортных систем с волнообразными и единичными неровностями.

Исследования показали, что максимальное динамическое давление при движении системы по волнообразной неровности находится при въезде и в зоне перехода впадины неровности в выступ, а величина этой зоны зависит от параметров транспортных систем, скорости движения и размеров неровностей.

6. С целью определения динамических давлений лесовозных автопоездов на дорогу при различных режимах движения и случайных возмущениях, усовершенствована математическая модель, эквивалентная вертикальным и продольно-угловым колебаниям автопоезда МАЗ-509 + ТМЗ-803, и составлены соответствующие ей дифференциальные уравнения движения, учитывающие все основные параметры данной системы.

Проведен анализ влияния колебаний поддрессоренных и неподдрессоренных масс автопоезда, скорости движения и его параметров при случайных возмущениях на характер и величины динамических воздействий на дорогу.

7. Исследования показали, что максимальные нагрузки от колес автопоезда, передающиеся дорожному покрытию, возникают на одних и тех же участках дороги почти независимо от скорости движения при установившихся колебаниях.

8. Установлено, что торможение и интенсивный разгон вызывает появление периодически чередующихся давлений колес на покрытие, в результате чего и образуются волнообразные неровности на участках, характеризующихся многократным торможением и разгоном.

9. Разработаны новые и усовершенствованы существующие конструкции приборов и приспособлений для измерения степени

ровности дорожного покрытия и оценки динамической нагруженности транспортных систем и дороги.

10. На основании экспериментальных исследований построены кривые изменения степени ровности в зависимости от начальной среднеквадратичной высоты неровностей и интенсивности движения.

11. С целью изучения влияния скорости движения и степени ровности дорожного покрытия на изменение ускорений поддресоренных и неподдресоренных масс транспортных систем, а также для сравнения теоретических разработок, проведены экспериментальные исследования в лабораторных и производственных условиях.

В результате статистической обработки получены кривые изменения ускорений поддресоренных и неподдресоренных масс в зависимости от скорости движения и степени ровности.

12. К мероприятиям, предупреждающим возникновение и развитие волнообразных неровностей, следует отнести:

- а) улучшение качества дорожно-строительного материала и технологии строительства;
- б) предохранение дорожной конструкции от переувлажнения в весенне-осенний период;
- в) снижение динамических давлений транспортных систем на дорогу;
- г) своевременное проведение работ по содержанию и ремонту дороги.

13. Исследования показали, что с целью уменьшения динамических давлений на дорогу целесообразным является снижение жесткости подвески и поддресоривание прицепа-ропуска. Рекомендуется иметь соизмеримые жесткости прицепа-ропуска и подвески задней оси тягача.

Снижение приведенной жесткости подвески прицепа-ропуска приводит к уменьшению коэффициента динамических давлений. Так, например, уменьшение приведенной жесткости до $1200 \frac{\text{кг}}{\text{см}}$ приводит к снижению коэффициента динамичности с 3,3 до 2,1 (для рассмотренных в работе условий эксплуатации).

Целесообразно снижение собственного веса автопоезда, особенно его неподдресоренных масс.

14. Для предупреждения развития волнообразных неровностей

необходимо при первых же признаках их появления производить утюжку с последующим уплотнением рыхлого материала, находящегося во впадинах, приурочивая работу к тому периоду, когда покрытие влажное.

Участки с волнистой поверхностью должны покрываться защитным слоем. Исправление гребенки путем россыпи защитного слоя из гравийной оптимальной смеси требует перемещения рыхлого материала во впадины, увлажнения его и последующего уплотнения.

15. Для обеспечения высокого качества строительства, ремонта и содержания дорог необходимо поэтапное проведение различных видов контроля.

Следует считать целесообразным широкое внедрение в практику эксплуатации дорог приборов для измерения ровности дорожных покрытий.

16. Для дальнейшего изучения вопросов, связанных с процессом деформаций и разрушений дорожной одежды, необходимо продолжать всесторонние исследования законов изменения динамического воздействия транспортных систем на дорогу с учетом реального микрорельефа.

Следует продолжать исследования по дальнейшему накоплению статистических данных о изменении степени ровности дорожных покрытий для обоснованного определения межремонтных сроков.

Результаты исследований были доложены на:

Научно-технических конференциях профессорско-преподавательского состава Белорусского технологического института им.С.М.Кирова (1968 - 1974 г. г.);

Научно-технической конференции молодых ученых Белоруссии, посвященной 100-летию со дня рождения В.И.Ленина. Министерство высшего и среднего специального образования СССР, ЦК ЛКСМ Белоруссии, БТИ им.С.М.Кирова, г. Минск, 1969;

Республиканской научно-технической и методической конференции по сухопутному транспорту леса, г. Минск, 1969;

Всесоюзной научной конференции по проектированию, строительству и эксплуатации лесовозных дорог, г. Минск, 1972;

Научно-технической конференции молодых ученых и специалистов дорожников по научно-техническому прогрессу в дорожном строительстве. Миндорстрой БССР, Белорусский дорожный научно-исследовательский институт, Минский горком комсомола, Проектно-технологический трест "Оргдорстрой", г.Минск, 1974.

Основное содержание диссертации изложено в следующих работах:

1. Исследование волнообразных неровностей на автомобильных лесовозных дорогах и их влияние на эксплуатационные показатели автотранспорта. Материалы научно-технической конференции по итогам научных работ 1968 г., БТИ им.С.М.Кирова, 1969.

2. К вопросу изучения волнообразных неровностей на лесовозных дорогах с гравийным покрытием. Тезисы докладов научно-технической конференции молодых ученых Белоруссии, г.Минск, 1969.

3. Экспериментальные исследования изменения микропрофиля гравийного дорожного покрытия. Тезисы докладов республиканской научно-технической и методической конференции, г.Минск, 1969.

4. Измерение неровностей дорожного покрытия. Тезисы докладов республиканской научно-технической и методической конференции, г.Минск, 1969. В соавторстве с В.В.Жуковым.

5. Динамические воздействия на дорогу с волнообразными неровностями. Материалы научно-технической конференции по итогам научных работ 1968 г., БТИ им.С.М.Кирова, 1969. В соавторстве с В.В.Жуковым.

6. Экспериментальные исследования вертикальных колебаний автомобиля МАЗ-509 П. Материалы научно-технической конференции по итогам научных работ 1969 г., БТИ им.С.М.Кирова, 1970. В соавторстве с В.В.Жуковым.

7. Исследование влияния степени ровности гравийного дорожного покрытия на расход мощности автомобиля. Материалы научно-технической конференции по итогам научных работ 1969 г., БТИ им.С.М.Кирова, 1970. В соавторстве с К.Т.Старовойтовым и Н.А.Долбыным.

8. Накопление остаточных деформаций в дорожной одежде.

Ж-л "Лесоэксплуатация и лесосплав", 17, г. Москва, 1970.

В соавторстве с В.В.Жуковым.

9. О взаимодействии автомобиля с дорогой. Сб. "Механизация лесоразработок и транспорт леса", вып. 2, 1972. В соавторстве с В.В.Жуковым.

10. Оценка затрат мощности лесовозного автопоезда при движении по дороге с различной степенью ровности. Сб. "Механизация лесоразработок и транспорт леса", вып. 2, 1972. В соавторстве с А.В.Жуковым.

11. Исследование волнообразных неровностей на автомобильных лесовозных дорогах с гравийным покрытием. Сб. "Проектирование, строительство и эксплуатация лесовозных дорог". Материалы всесоюзной научной конференции, г. Минск, 1972.

12. К вопросу определения динамического давления автомобиля на дорогу. Сб. "Строительство и эксплуатация автомобильных дорог и мостов", г. Минск, 1973. В соавторстве с А.В.Жуковым.

13. Исследование динамического воздействия транспортных систем на дорогу. Вестн Академии наук БССР, серия Физико-технических наук, 3, г. Минск, 1973. В соавторстве с И.И.Леоновичем и А.В.Жуковым.

14. Исследование микропрофиля автомобильных дорог с гравийным покрытием. Сб. "Механизация лесоразработок и транспорт леса", вып. 3, г. Минск, 1974. В соавторстве с А.В.Жуковым.

15. Исследование динамического воздействия на дорогу лесовозных автомобильных поездов. Вестн Академии наук БССР, серия Физико-технических наук, 3, г. Минск, 1974. В соавторстве с И.И.Леоновичем, А.В.Жуковым и Ю.Ю.Беленьким.

16. Моделирование с помощью ЭЦВМ вертикальной динамики лесовозного автопоезда при случайных возмущениях. Сб. "Механизация лесоразработок и транспорт леса", вып. 4, г. Минск, 1974. В соавторстве с Т.П.Анохиной.

17. Влияние режимов движения транспортных систем на волнообразование на дорогах с гравийным покрытием. Сб. "Механизация лесоразработок и транспорт леса", вып. 4, г. Минск, 1974. В соавторстве с И.И.Леоновичем и В.В.Жуковым.

18. Разработка теоретических основ проектирования дорог и технологических схем автомобильного лесотранспорта для условий БССР. Сб. рефератов НИР, серия 20, № 5, 1969, стр.5 (А022018). В соавторстве с И.И.Леоновичем, В.В.Жуковым и др.

19. Разработка теоретических основ проектирования дорог и технологических схем автомобильного лесотранспорта для условий БССР. Сб. рефератов НИР, серия 16, № 9, 1970, стр. 30 (Б026804). В соавторстве с И.И.Леоновичем, В.В.Жуковым и др.

20. Разработка теоретических основ проектирования дорог и технологических схем автомобильного лесотранспорта для условий БССР. Сб. рефератов НИР, серия 16, № 11-12, 1971, стр. 56. (Б104534). В соавторстве с И.И.Леоновичем, В.В.Жуковым и др.

21. Разработка конструкций и методов проектирования и строительства автомобильных лесовозных дорог. НИР, бюллетень регистрации, серия 20, № 2, 1972, стр. 5 (71066707). В соавторстве с И.И.Леоновичем, В.В.Жуковым и др.

22. Исследование динамического воздействия автопоезда на дорогу при неустановившемся движении. Сб. "Вопросы повышения технического уровня дорожного строительства БССР", Белорусский дорожный научно-исследовательский институт, г. Минск, 1974. В соавторстве с А.В.Жуковым и И.А.Ореховым.