

634.0.3
А64

**МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО
СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ БССР**

Белорусский технологический институт имени С. М. Кирова

На правах рукописи

634.0.3
А64

АНАСТАСЮК Юрий Михайлович

**ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННОГО
СОСТОЯНИЯ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД
ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ЛЕСОВОЗНЫХ
АВТОПОЕЗДОВ**

Специальность 05.420. Машины, механизмы и технология
лесоразработок, лесозаготовок и лесного хозяйства (05.06.02)

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Минск 1973

634.0.3
А64

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ БССР

Белорусский технологический институт имени С. М. Кирова

На правах рукописи

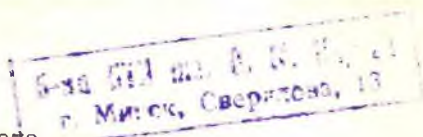
АНАСТАСЮК Юрий Михайлович



ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННОГО
СОСТОЯНИЯ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД
ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ЛЕСОВОЗНЫХ
АВТОПОЕЗДОВ

Специальность 05.420. Машины, механизмы и технология
лесоразработок, лесозаготовок и лесного хозяйства (05.06.02)

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук



Минск 1973

3275ap

Работа выполнена в Центральном научно-исследовательском проектно-конструкторском институте механизации и энергетики лесной промышленности:

научный руководитель — кандидат технических наук
А. С. ИВАНКОВИЧ;

официальные оппоненты — профессор, доктор технических наук В. М. СИДЕНКО;

доцент, кандидат технических наук Н. П. ВЫРКО.

Ведущее предприятие — Гипролестранс.

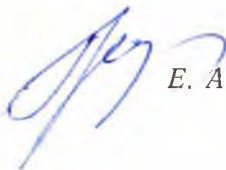
Автореферат разослан «5» *ноября* 1973 г.

Защита диссертации состоится «12» *декабря* 1973 г.
в *10.* часов на заседании Совета Белорусского технологического института им. С. М. Кирова.

Адрес: 220630, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, корпус 4,
аудитория 220.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Ученый секретарь совета
кандидат технических наук



Е. А. ГРУШЕВСКАЯ

Лесная промышленность играет большую роль в экономике Советского Союза, в обеспечении своим сырьем и продукцией широких потребителей нашей страны и ряда других стран.

Лесная промышленность развивается на базе комплексной механизации и автоматизации, путем неуклонного совершенствования технологии производства, внедрения научных методов организации труда. За последние годы удельный вес автотранспорта на вывозке леса неуклонно повышается: в 1968 г. — 69,5%, в 1969 г. — 70,8% а в 1970 — 72,9%.

Лесозаготовительные районы СССР в основном крайне бедны запасами каменных материалов. Поэтому во многих районах первостепенное значение приобретает строительство покрытий из укрепленных грунтов. Опыт эксплуатации лесовозных дорог с цементогрунтовым покрытием показывает, что такие покрытия обладают достаточной работоспособностью. В то же время, как показали обследования, проведенные ЦНИИМЭ, дорожные одежды из цементогрунтов, рассчитанные по существующему методу, в некоторых случаях преждевременно разрушаются. Это обстоятельство показывает, что при расчете дорожных одежд неполностью учитываются процессы, возникающие при движении тяжелых лесовозных автопоездов, которые вызывают дополнительные напряжения в грунте земляного полотна.

Исследованию различных вопросов цементогрунтовых покрытий лесовозных дорог посвящены работы профессоров Б. А. Ильина, Н. Г. Корчунова, М. М. Корунова, В. И. Гарузова, кандидатов технических наук И. И. Леонovichа, А. С. Иванковича, Б. И. Кувалдина, А. А. Яблочкина, Э. О. Салминена, В. И. Котляра и др.

Вопросами взаимодействия подвижного состава с дорогой в лесной промышленности занимались в разные годы ЦНИИМЭ, ЛТА, МЛТИ, ЛЛИ, БТИ им. Кирова. В качестве подвижной нагрузки в проведенных исследованиях использовалась в основном одиночная ось.

Исследований по определению сжимающих напряжений в грунтовом полупространстве при воздействии сдвоенных осей почти не проводилось.

Как известно, разрушение дорожных одежд обычно связано с напряжениями, возникающими в различных конструктивных слоях, и с повторностью их появления. Сжимающие напряжения увеличиваются с увеличением удельного давления и площади контакта колеса с покрытием. Вопрос о распределении напряжений в толще дорожной конструкции в настоящее время может быть решен на базе изучения напряженно-деформируемого состояния упругого полупространства. Как показали ранее проведенные исследования, цементно-грунтовые покрытия должны рассчитываться только в стадии упругих деформаций.

Устойчивость земляного полотна и, следовательно, дорожной конструкции в большей мере зависит от сжимающих напряжений грунтового полупространства. Поэтому наибольший интерес представляет изучение изменения сжимающих напряжений в грунте земляного полотна в зависимости от нагрузки и скорости ее приложения.

В связи с этим для уточнения метода расчета дорожных одежд нежесткого типа в задачу исследований включено следующее:

1) исследовать имеющиеся теоретические методы и возможность их применения для определения напряжений в двухслойной системе в упругой стадии для расчета дорожных одежд нежесткого типа с введением коэффициентов, учитывающих особенности приложения нагрузки от лесовозных автопоездов;

2) теоретически и экспериментально установить изменение динамического коэффициента сжимающих напряжений подстилающего грунта;

3) исследовать воздействие сдвоенных осей тягача и пуска на напряженное состояние дорожной конструкции при различных осевых нагрузках, скоростях движения и ровности покрытия.

Диссертационная работа содержит 168 страниц основного текста и 9 страниц приложений, состоит из введения, 3 глав, общих выводов, списка литературы.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ВОЗДЕЙСТВИЯ СДВОЕННЫХ ОСЕЙ АВТОПОЕЗДА НА НАПРЯЖЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЫ

Определение сжимающих напряжений в двухслойной системе с учетом сдвоенных осей

При воздействии сдвоенных осей на дорожную одежду максимальные сжимающие напряжения можно получить путем суммирования величин σ_z , возникающих от нагрузки, действующей по расчетной условно принятой оси, и от нагрузки, действующей на некотором расстоянии от расчетной оси, т. е.

$$\sigma_z^{\text{общ}} = \sigma_{z_1} + \sigma_{z_2}(r). \quad (1)$$

В статических условиях сжимающие напряжения зависят от удельного давления, колесной нагрузки и отношения $\frac{E_1}{E_2}$.

$$\sigma_z = f\left(Q_k, p, \frac{E_1}{E_2}\right). \quad (2)$$

В динамических условиях сжимающие напряжения зависят как от вышеперечисленных факторов, так и от скорости приложения нагрузки и микропрофиля проезжей части s

$$\sigma_z = f\left(Q_k, p, \frac{E_1}{E_2}, v, s\right). \quad (3)$$

Расчетной моделью дорожной одежды на основании анализа, проведенного в I главе, с достаточной для практических целей может служить многослойное линейно-деформированное полупространство, на поверхность которого действует нагрузка, распределенная по площади круга. Это позволяет использовать для исследования напряженного состояния дорожных одежд методы математической теории упругости. Решение задачи сводится к отысканию системы функций напряжений $\varphi(z, r)$, с которой напряжения и перемещения связаны следующими зависимостями:

$$\sigma_{zk} = \frac{\partial}{\partial z} \left[(2 - \mu) \nabla^2 \varphi_k - \frac{\partial^2 \varphi_k}{\partial z^2} \right]; \quad (4)$$

$$\sigma_{rk} = \frac{\partial}{\partial z} \left[\mu \nabla^2 \varphi_k - \frac{\partial^2 \varphi_k}{\partial r^2} \right]; \quad (5)$$

$$\sigma_{\theta k} = \frac{\partial}{\partial z} \left[\mu \nabla^2 \varphi_k - \frac{1}{r} \frac{\partial^2 \varphi_k}{\partial r} \right]; \quad (6)$$

$$\tau_{rz k} = \frac{\partial}{\partial z} \left[(1 - \mu) \nabla^2 \varphi_k - \frac{\partial^2 \varphi_k}{\partial z^2} \right]; \quad (7)$$

$$u = \frac{1 + \mu}{E_k} \cdot \frac{\partial^2 \varphi_k}{\partial r \cdot \partial z}; \quad (8)$$

$$w = \frac{1 + \mu}{E_k} \left[2(1 - \mu) \nabla^2 \varphi_k - \frac{\partial^2 \varphi_k}{\partial z^2} \right]. \quad (9)$$

где σ_{zk} , σ_{rk} , $\sigma_{\theta k}$ — нормальные напряжения в k -м слое на площадке, перпендикулярной соответственно к оси;

$\tau_{rz k}$ — касательное напряжение;

w , u — перемещение соответственно вдоль оси z и r ;

E_k — модуль упругости материала k -ого слоя;

μ — коэффициент Пуассона;

∇^2 — символ, аналогичный оператору Лапласа в прямоугольных координатах.

Методы, предложенные проф. Б. И. Коганом и канд. техн. наук М. Б. Корсунским, позволяют определять тензоры напряжений в трехслойной системе. Нами сделана попытка решить данную задачу для двухслойной системы при различных положениях двух сил (сдвоенные оси лесовозных автопоездов).

Принятая Б. И. Коганом функция напряжений для точно го метода

$$\varphi_k = \int_0^{\infty} (A_k e^{-z\alpha} + B_k e^{z\alpha} + D_k z e^{-z\alpha} + C_k z e^{z\alpha}) J_0(r\alpha) d\alpha \quad (10)$$

действительна для различных значений k , $k = 1, 2, \dots, n$. Однако даже при $k = 3$ функция имеет зависимости, мало перспективные в отношении численного определения компонентов напряжения и перемещения. При решении осесимметрической задачи для напряженно-деформированного состояния слоистого упругого полупространства, в котором каждый слой характеризуется модулем упругости, коэффициентом Пуассона и толщиной h , не возникает принципиальных трудностей. Однако практическое решение в общем виде системы из $2(2n - 1)$ алгебраических уравнений при $n > 2$ вызывает затруднение.

Поэтому канд. техн. наук М. Б. Корсунский в методе численного определения для функции φ принимает выражение Р. М. Раппопорт, но с уточнениями К. К. Турверова.

Оригинальным в этом решении является то, что используемый метод интегральных преобразований применен в сочетании с методом начальных параметров.

В связи с этим функция напряжений φ для n -го слоя имеет следующее выражение:

$$\varphi_n = \int_0^{\infty} \{A + B[a(\eta - 1) + 2\mu_n]\} e^{-kz} J_0(\rho\alpha) d\alpha, \quad (11)$$

где $\eta = \frac{z}{H}$, $\rho = \frac{r}{H}$.

После подстановки выражения (10) и (11) в уравнение (4) и, производя необходимые преобразования, получаем выражение сжимающих напряжений в грунте земляного полотна по точному методу, в котором σ_z непосредственно под колесом по глубине нужно принимать исходя из условия, что функция Бесселя $J_0(kr)$ при $r = 0$ равняется 1:

$$\sigma_z = \frac{P}{2\pi b} \int_0^{\infty} \frac{J_1(k\delta)}{\Delta} e^{-kz} \cdot \xi dk, \quad (12)$$

$$\text{где } \xi = e^{-kh} [(L-1)(1-2kz)(1-2kh) - L(M-1)] + e^{kh} [(M-1)(1-2kh) - M(L-1)(1+2kz)]. \quad (13)$$

Вычисление значений сжимающих напряжений в грунте земляного полотна без применения ЭВМ бесперспективно.

В связи с этим заменим подинтегральную функцию аппроксимируемыми зависимостями, для чего воспользуемся квадратурной формулой

$$\int_0^{\infty} e^{-x} f(x) dx = \sum_{i=1}^n A_i^n f(x_i^n). \quad (14)$$

В результате преобразований получаем выражение для определения значений сжимающих напряжений в грунте земляного полотна:

$$\sigma_{zn} = -p \left[\frac{a}{\beta} S_2(q_2; q_0) + \frac{c - (1-\eta)c_1}{\beta} S_2(q_2; q_0) - \frac{(1-\eta)a_1}{\beta} S_2(q_3; q_0) + a_1 S_1(q_3; q_0) + c_1 S_1(q_0; q_0) \right], \quad (15)$$

$$\text{где } q_0 = \frac{z}{R}; q_2 = q_0 + \frac{bH}{R}; q_3 = q_0 + \frac{b_1H}{R}.$$

Наиболее напряженно работают слои дорожной конструкции на контактных поверхностях в местах пересечения с осью симметрии действующей нагрузки, т. е. в особо неблагоприятных условиях находятся грунты на контакте покрытие — грунт земляного полотна.

Поэтому для этих точек расчетные формулы имеют вид:

$$\sigma_{zn} = -p \left[\frac{a}{\beta} S_2(q_2; 0) + \frac{c}{\beta} S_2(q_0; 0) + a_1 S_1(q_3; 0) + c_1 S_1(q_0; 0) \right]. \quad (16)$$

При действии двух сил формулы для определения нормальных вертикальных напряжений в грунте земляного полотна примут вид:

по точному методу

$$\sigma_{zn} = \frac{P}{2\pi\delta} \int_0^{\infty} \frac{J_1(k\delta)}{\Delta} e^{-kz} \xi dk + \frac{P}{2\pi\delta} \int_0^{\infty} \frac{J_1(k\delta)J_0(kr)}{\Delta} e^{-kz} \xi dk; \quad (17)$$

по методу численного определения

$$\begin{aligned} \sigma_{zn} = -p \left\{ \left[\frac{a}{\beta} S_2(q_2; 0) + \frac{c}{\beta} S_2(q_0; 0) + a_1 S_1(q_3; 0) + \right. \right. \\ \left. \left. + c_1 S_1(q_0; 0) \right] + \left[\frac{a}{\beta} S_2(q_2; q_0) + \frac{c}{\beta} S_2(q_0; q_0) + \right. \right. \\ \left. \left. + a_1 S_1(q_3; q_0) + c_1 S_1(q_0; q_0) \right] \right\}. \quad (18) \end{aligned}$$

Для подсчета значений σ_z нами была составлена программа на ЭВМ «Минск-22», по которой были подсчитаны значения напряжений в зависимости от $\frac{E_2}{E_1}$, $\frac{h}{D}$ и нагрузки.

В результате анализа подсчетов на ЭВМ можно сделать вывод, что разработанная методика численного определения напряжений для 2-слойной системы достаточно точно подтверждается данными по точному методу. Разница для относительно тонких покрытий ($0,25 < \frac{h}{D} < 0,5$) составляет в пределах 10%. В то же время с увеличением жесткости покрытия $\frac{E_1}{E_2}$ это различие составляет около 5%.

С увеличением относительной толщины ($\frac{h}{D} > 0,5$) покрытия и увеличением относительной жесткости покрытия эта величина уменьшается до 2%.

Расчет приведенной интенсивности движения с учетом динамических напряжений в земляном полотне

Основываясь на экспериментальных работах вышеперечисленных авторов, можно с некоторым приближением допустить, что значение эквивалентных нагрузок определяется исходя из одинаковых сжимающих напряжений.

В действующей инструкции ВСН-46—60 приведение любого автомобиля к расчетному производится по формуле:

$$\frac{k_1}{k_2} = \frac{p_2 D_2}{p_1 D_1}, \quad (19)$$

где k_1 ; k_2 — коэффициенты запаса;
 $p_1 D_1$; $p_2 D_2$ — удельное давление и диаметр площади от-
 печатка колеса расчетного и приводимого к
 расчетному.

Так как сжимающие напряжения являются функцией удельных давлений, то после некоторых преобразований получена формула для подсчета приведенной интенсивности движения на лесовозных дорогах:

$$\lg N_1 = (0,77 + \lg N_2) \frac{\sigma_z \cdot k_{\text{дин}}}{\sigma_1} \sqrt{\frac{Q_{k_1} \cdot p_1}{Q_{k_2} \cdot p_1}} - 0,77. \quad (20)$$

В выражении (20) значения σ_z назначаются исходя из следующих предложений.

Обязательным условием работы дорожной одежды в упругой стадии является отсутствие необратимых сдвигов под действием подвижного состава. Для оценки предельного напряженного состояния используется теория прочности Мора при прямолинейной огибающей предельных кругов, которая обычно именуется как теория предельного равновесия. В настоящее время, используя данные о напряженном состоянии, можно исследовать предельное состояние конструкции из условий возникновения сдвигов в подстилающем грунте.

При определении толщины покрытия из условия прочности подстилающего грунта принято, что предельное напряженное состояние последнего наступает, когда в некоторой точке возникает состояние предельного равновесия:

$$\frac{1}{2 \cos \varphi} [(\sigma_1 - \sigma_3) - \sin \varphi (\sigma_1 + \sigma_3)] = c, \quad (21)$$

с учетом собственного веса грунта это выражение можно записать так:

$$\frac{(\sigma_1 - \sigma_3) + \sigma_v - \sigma_h}{2} - \operatorname{tg} \varphi \left[\frac{\sigma_1 + \sigma_3 + \sigma_h + \sigma_v}{2} \right] = c. \quad (22)$$

В результате подстановки выражений для σ_v , σ_h получена формула для определения допускаемых сжимающих напряжений в грунте земляного полотна:

$$\sigma_z^{\text{доп}} = R_c - \gamma H \left(1 - \xi \frac{(1 + \sin \varphi)}{(1 - \sin \varphi)} \right) + \sigma_{r,2} \frac{(1 + \sin \varphi)}{(1 - \sin \varphi)}. \quad (23)$$

Эта формула справедлива, если относительная толщина слоев незначительна и малое отношение $\frac{E_1}{E_2}$.

В случае, если покрытие воспринимает растягивающие напряжения, тогда допускаемые сжимающие напряжения можно определить из выражения

$$\sigma_z^{\text{доп}} \leq \frac{1}{\mu_2 \frac{E_1}{E_2} - \mu_1} \left[(1 - \mu_2) \frac{E_1}{E_2} \sigma_{r,2} + \sigma_{r,1} (1 - \mu_1) \right]. \quad (24)$$

Растягивающие напряжения $\sigma_{r,1}$ в покрытии определяются исходя из относительного удлинения.

$$\sigma_{r,1} = \frac{4E_1}{\pi(1-0,5\mu_1)} \cdot \frac{E_1}{E_2} \left(1 - \frac{2}{\pi} \operatorname{arctg} \frac{h}{D} 1,1 \sqrt[3]{\frac{E_1}{E_2}} \right) \operatorname{arctg}^2 \frac{D}{h} \times \\ \times \frac{1}{1,1 \sqrt[3]{\frac{E_1}{E_2}}} \quad (25)$$

Для определения динамического коэффициента сжимающих напряжений в подстилающем грунте в зависимости от величины действующей нагрузки и скорости движения в выражении (20) воспользуемся решением д-ра техн. наук Н. К. Снитко, основанном на рассмотрении колеблющейся массы грунта земляного полотна. При решении этой задачи рассматривается совместное динамическое взаимодействие двух тел: покрытия массой m и призмы грунта с присоединенной массой $m_{кр}$. Грунт представляет собой упругое изотропное полупространство. Для определения глубины динамически активного слоя в расчете используется формула, предложенная проф. И. А. Медниковым.

Учитывая распределяющую способность покрытия и грунта земляного полотна, можно подсчитывать значения динамического коэффициента сжимающих напряжений, которые описываются выражением

$$\sigma_{дин} = \sigma_{стат} \left(2 - \frac{\pi}{\omega\tau} \right) \quad (26)$$

Проведенные теоретические исследования позволяют определить сжимающие напряжения в двухслойной системе при действии двух сил и произвести расчет приведенной интенсивности движения с учетом динамических напряжений в грунтовой полупространстве.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Экспериментальные работы проводились на опытных участках Дубровской лесовозной дороги Мостовского лесопромхоза. При проведении работ использовались лесовозные автопоезда с тягачами МАЗ-509 и КрАЗ-255 с нагрузками, приведенными в табл. 1.

Напряжения замерялись при помощи месдоз с гидравлическим преобразователем, усилителя 8-АНЧ и шлейфового осциллографа Н-700. При закладке тщательно контролировалась влажность, плотность грунта, а также расположение месдоз в горизонтальной плоскости. Предварительно месдозы были оттарированы в грунте, взятом с выбранного экспериментального участка. Погрешность измерения напряжений

Таблица 1

Значения осевых нагрузок лесовозных автопоездов

Вид автомобиля или автопоезда	Нагрузка, т					
	на заднюю ось тягача			на ось роспуска		
МАЗ-509	4,3	9,3	11,3	—	—	—
МАЗ-509+ТМЗ-803А	—	8,5	—	2,0	4,5	8,5
КрАЗ-255Л+ТМЗ-803А	—	8,0	—	—	9,0	—

не превышала 8%. Вся аппаратура во время проведения экспериментальных работ располагалась в передвижной автомобильной лаборатории.

Количество экспериментов определялось исходя из условия получения необходимой величины показателя точности и коэффициента вариации. Результаты экспериментов обрабатывались методами математической статистики.

Результаты теоретических и экспериментальных исследований приведены в табл. 2.

Исследуя распределение сжимающих напряжений по глубине грунтового полупространства, можно сделать вывод, что наилучшая сходимость экспериментальных значений с теоретическими получена по предлагаемому методу.

Из сравнения теоретических значений с экспериментальными видно, что при полной загрузке осей роспуска автопоезда КрАЗ-255Л + ТМЗ-803А отношение $\frac{\sigma_{\text{дин}}}{\sigma_{\text{стат}}}$ составляет 1,28, а для автопоезда МАЗ-509+ТМЗ-803А—1,29. Для тягачей с нагрузкой от той же пачки хлыстов соответственно—1,0 и 1,16. Таким образом, при движении автопоезда по ровному покрытию наибольшее воздействие оказывает неподдресоренный роспуск.

До настоящего времени расчет нежестких типов покрытий производился по параметрам тягача, и, следовательно, толщины дорожных одежд по отношению к роспуску были занижены, что приводило к быстрому разрушению дорожной одежды.

Действительно, при действии нагрузки от поддресоренных масс (тягач) значение нормальных вертикальных напряжений превосходит статические на 16%, при действии нагрузки от неподдресоренных масс (роспуск) превышение составляет уже около 29%. Таким образом, на значения нормальных вертикальных напряжений существенное влияние оказывает ровность покрытия, а также тип перевозимого груза и конструкция подвижного состава.

На основании экспериментальных исследований влияния осевых нагрузок на сжимающие напряжения можно от-

Таблица 2
 Значения сжимающих напряжений, подсчитанные по теоретическим и экспериментальным исследованиям

Глубина точки, см	Значения сжимающих напряжений, кгс/см ²				
	по методу СоюздорНИИ	по Бур- мистру	по теоре- тическим разработ- кам	по экспериментальным исследованиям для роспуска автопоезда МАЗ-509 + ТМЗ-803А	по экспериментальным исследованиям для роспуска автопоезда КрАЗ-255Л + ТМЗ-803А
3	1,30	1,30	1,16	1,50 ± 0,12	1,49 ± 0,1
15	0,96	1,07	0,82	0,86 ± 0,07	0,87 ± 0,04
30	0,72	0,79	0,52	0,55 ± 0,04	0,60 ± 0,02
60	0,42	0,47	0,30	0,25 ± 0,015	0,28 ± 0,02

метить, что для осевых нагрузок роспуска в интервале 4,5—8,5 т, в рассмотренном диапазоне скоростей движения, эти зависимости имеют прямолинейный характер (рис. 1).

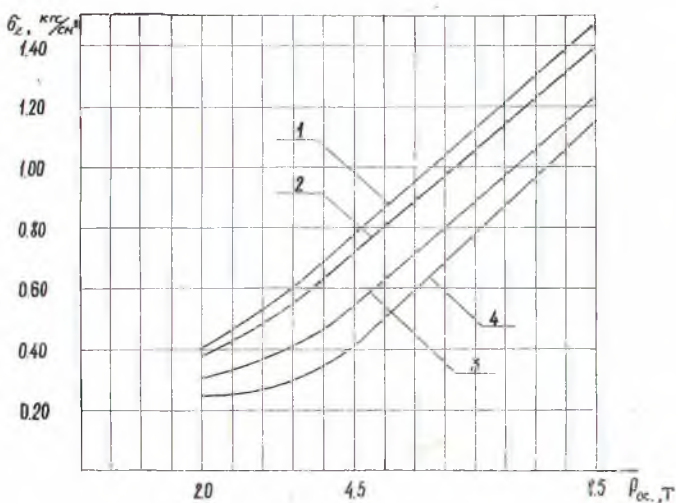


Рис. 1. Зависимость сжимающих напряжений от осевой нагрузки (роспуск ТМЗ-803А, $z = 3$ см):

1 — скорость 4 км/час; 2—8 км/час; 3—15 км/час; 4—28 км/час.

Аналогичные очертания зависимости $\sigma_z = f(P_{ос})$ получены и для одиночной оси. Следовательно, с достаточной точностью можно предположить, что предложенная формула по подсчету приведенной интенсивности движения на основании эквивалентности сжимающих напряжений и осевых нагрузок может быть применена при расчете дорожных одежд нежесткого типа.

Анализ результатов расчета приведенных интенсивностей движения, полученных по формуле СоюздорНИИ и предложенной нами, показывает, что предлагаемая методика позволяет теоретически обоснованно учитывать наличие в составе движения автопоездов с различным количеством осей.

Известно, что величина сжимающих напряжений зависит от скорости приложения нагрузки и микропрофиля проезжей части. Поэтому представляет интерес, как и в какой мере эти факторы будут влиять на значения сжимающих напряжений при воздействии роспуска. Исследования проводились на относительно ровном покрытии и на покрытии с расчетной неровностью. Ровность покрытия опытных участков оценивалась при помощи передвижной рейки ПКР-4. Полученные

результаты обрабатывались методами математической статистики.

Исходя из анализа проведенных исследований можно сделать выводы, что с увеличением скорости движения нагрузки по относительно ровной поверхности проезжей части нормальные вертикальные напряжения уменьшаются. В процентном отношении для одиночного автомобиля это уменьшение в верхних слоях составляет 13—20%, а в нижних—30—35%. При исследовании воздействия роспуска на дорогу с нормативной нагрузкой это уменьшение в верхних слоях составляет 21—23%, а в нижних—29—37,5%.

При исследовании зависимости $\sigma_z = f(v)$ при движении роспуска по покрытию с расчетной неровностью $h = 30$ мм максимальное значение сжимающих напряжений сдвигается в область более высоких скоростей (рис. 2).

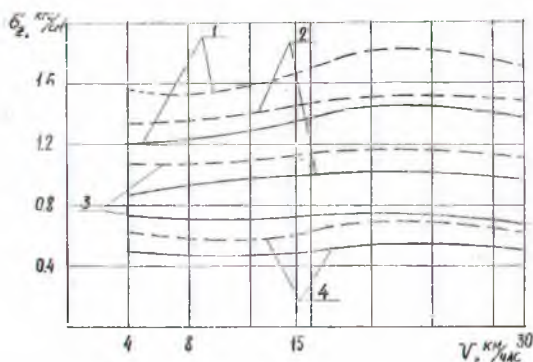


Рис. 2. Влияние расчетной неровности на сжимающие напряжения в грунте земляного полотна:

1 — $z = 3$ см; 2 — $z = 15$ см; 3 — $z = 30$; 4 — $z = 60$ см;
 --- роспуск ТМЗ-803А ($P_{oc} = 8,5$ т);
 ————— тягач МАЗ-509 ($P_{oc} = 8,5$ т).

Следовательно, на основании проведенных экспериментальных исследований увеличение сжимающих напряжений при движении нагрузки по покрытию с расчетной неровностью может быть объяснено увеличением динамического воздействия автопоезда.

Чтобы оценить влияние скорости подвижной нагрузки на устойчивость земляного полотна, было исследовано время напряженного состояния. Оказалось, что с увеличением осевой нагрузки время действия сжимающих напряжений увеличивается. Так, при нагрузке $P_{oc} = 4,3$ т на $z = 3$ см от низа покрытия время действия напряжений в грунте земляного полотна $t_{\sigma_z} = 1,66$ сек при скорости $v = 4$ км/час, при $P_{oc} = 9,3$ т $t_{\sigma_z} = 1,83$ сек, а при $P_{oc} = 11,3$ т — $t_{\sigma_z} = 1,89$ сек.

Однако общее время напряженного состояния для тягача и роспуска автопоезда МАЗ-509 + ТМЗ-803А различно. Роспуск имеет увеличенные на 56% значения t_{Σ} по сравнению с тягачом. Для автопоезда КрАЗ-255Л + ТМЗ-803А эта разница незначительная (5%).

Анализируя кривые, можно заметить, что с увеличением скорости движения автомобиля общее время действия напряжений уменьшается. Наиболее крутой спад этой кривой в интервале до 20 км/час. В дальнейшем величины t_{Σ} по глубине имеют примерно одинаковые значения. Следовательно, независимо от осевой нагрузки, глубины рассматриваемой точки, в интервале от 20 км/час и выше общее время напряженного состояния примерно одинаково.

Скорость нагружения грунта земляного полотна роспуском автопоезда КрАЗ-255Л + ТМЗ-803А при нормативной нагрузке осей увеличивается с 1,65 кгс/см²·сек при 4 км/час до 6 кгс/см²·сек при 25 км/час. В то же время для тягача происходит увеличение с 1,14 кгс/см²·сек до 4,9 кгс/см²·сек.

На основании вышесказанного можно сделать вывод, что влияние роспуска на нагружение грунта земляного полотна оказывается значительно сильнее, чем нагружение от автомобиля-тягача.

В результате теоретических исследований было доказано, что динамический коэффициент должен определяться с учетом приведенной массы грунта. В то же время, как показывают экспериментальные исследования, приведенная масса грунта зависит от скорости приложения нагрузки, т. е. от общего времени напряженного состояния грунта земляного полотна.

Таблица 3

Значение динамически активной зоны

Скорость движения лесовозных автопоездов, км/час	Глубина динамически активной зоны, м	
	теоретические подсчеты	экспериментальные исследования
4	1,7	1,62 ± 0,10
15	1,47	1,35 ± 0,12
30	1,40	1,28 ± 0,10

В табл. 3 приведены глубины динамически активной зоны, полученные по теоретическим разработкам и в результате экспериментальных исследований.

Анализируя данные таблицы, можно обнаружить, что с увеличением скорости движения лесовозных автопоездов глу-

Бина динамически активной зоны уменьшается особенно интенсивно при малых скоростях. В диапазоне скоростей 15—30 км/час изменение незначительно и поэтому можно предположить, что при более высоких скоростях уменьшение динамически активной зоны будет небольшим. Таким образом, затухание нормальных вертикальных напряжений с увеличением скорости движения происходит интенсивнее.

Таблица 4

Значения $K_{дин}$

Скорость движения автопоезда, км/час	Динамический коэффициент	
	теоретический	экспериментальный
4	1,38	1,29
15	1,15	1,06
30	0,9	1,0

В табл. 4 приведено сравнение величин динамических коэффициентов нормальных вертикальных напряжений, полученных в результате теоретических подсчетов и экспериментальных исследований.

Из таблицы видно, что расхождение значений динамических коэффициентов, полученных по теоретическим и экспериментальным исследованиям, составляет не более 10%, что свидетельствует о правильности теоретических предположений.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Лесовозные автомобильные дороги с цементно-грунтовым покрытием, предназначенные для пропуска автопоездов типа МАЗ и КраЗ, должны рассчитываться в стадии упругих прогибов. Такие типы покрытий, как показали экспериментальные исследования, могут рассматриваться с достаточной для практических целей точностью как линейно-деформируемые системы, а для определения тензоров напряжений возможно использовать результаты подсчета на ЭВМ «Минск-22».

2. Теоретически и экспериментально установлено, что при воздействии сдвоенных осей на дорожную конструкцию дополнительной величиной сжимающих напряжений, возникающей в этом случае в грунте земляного полотна, можно пренебречь. Однако время действия напряженного состояния при этом увеличивается по сравнению с временем действия напряжений от одиночной оси при равных осевых нагрузках в 1,8 раза.

3. Теоретическими и экспериментальными исследованиями установлено, что при определении расчетными методами сжимающих напряжений в грунте земляного полотна необходимо вводить динамический коэффициент 1,28 или 1,29 в зависимости от типа лесовозного автопоезда.

4. В качестве критерия предельного состояния подстилающего грунта при расчете двухслойных дорожных одежд нежесткого и полужесткого типа используется предельное сопротивление сжатию. Предложенные формулы позволяют производить проверку прочности покрытия исходя из толщины покрытия, относительной жесткости слоев, растягивающих напряжений, коэффициента сцепления и угла внутреннего трения.

5. Подсчет интенсивности движения лесовозных автопоездов должен производиться с учетом всех осей автопоезда. Проведенными экспериментальными исследованиями установлено, что сжимающие напряжения в грунте земляного полотна пропорциональны осевым нагрузкам. Поэтому предложена формула, позволяющая, исходя из эквивалентности напряжений, определить суточную приведенную интенсивность движения лесовозных автопоездов.

6. Экспериментальные исследования подтвердили, что сжимающие напряжения, возникающие в грунте земляного полотна при воздействии роспуска ТМЗ-803А на дорожную одежду, пропорциональны осевым нагрузкам, превышающим 4,5 т. Сжимающие напряжения в интервале осевых нагрузок 2,0—4,5 т имеют нелинейную зависимость.

7. В результате экспериментальных исследований установлено, что воздействие роспуска ТМЗ-803А лесовозных автопоездов при скорости движения 4 км/час на 40—45%, а при скорости движения 25 км/час на 20—25% больше, чем воздействие тягача. В связи с этим расчет дорожной одежды необходимо производить по параметрам роспуска.

8. Проведенные экспериментальные работы показали, что для получения более достоверных показаний месдоз с гидравлическим показателем тарировку необходимо производить с учетом типа грунта и его влажности.

9. Устойчивость грунта земляного полотна характеризуется величиной сжимающих напряжений и временем действия напряженного состояния. С увеличением скорости движения лесовозного автопоезда время напряженного состояния уменьшается, но увеличивается скорость нагружения грунта, что в период весенней распутицы может вызвать нарушение устойчивости земляного полотна. Поэтому в неблагоприятный период года необходимо не только снижение осевых нагрузок, но и скорости движения лесовозных автопоездов.

10. При расчете дорожных покрытий нежесткого и полужесткого типа необходимо учитывать, кроме осевых нагру-

3275 ар

Б-ва БТИ на. В. В. П
г. Минск, Свердлова, 13

зок и параметров шин, также тип перевозимого груза (гибкие, жесткие пачки хлыстов).

11. Экспериментальными исследованиями установлено, что при движении лесовозного автопоезда по относительно ровным покрытиям сжимающие напряжения уменьшаются с увеличением скорости; при движении автопоезда по покрытию с расчетной неровностью с увеличением скорости до 25 км/час сжимающие напряжения увеличиваются, а затем уменьшаются.

12. Результаты теоретических и экспериментальных исследований использованы при разработке «Инструкции по расчету нежестких и полужестких покрытий», выпущенной ЦНИИМЭ в 1972 г.

ОСНОВНЫЕ ВОПРОСЫ СОДЕРЖАНИЯ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНЫ В СЛЕДУЮЩИХ РАБОТАХ:

1. Анастасюк Ю. М. Влияние подвижной нагрузки на напряженное состояние грунта земляного полотна. Труды, сб. 112, 1971

2. Анастасюк Ю. М., Исследование динамического коэффициента сжимающих напряжений в грунтовом полупространстве. Тезисы доклада к IV научно-технической конференции лесной промышленности. Химки, ЦНИИМЭ, 1973.

3. Анастасюк Ю. М. К вопросу подсчета приведенной интенсивности движения на лесовозных дорогах. Тезисы доклада к IV научно-технической конференции лесной промышленности. Химки, ЦНИИМЭ, 1973.

4. Иванкович А. С., Анастасюк Ю. М. и др. Рекомендации по строению лесовозных автомобильных дорог с покрытиями из укрепленных грунтов. М., ВНИПИЭлеспром, 1971.

5. Иванкович А. С., Анастасюк Ю. М. и др. Технические указания по проектированию автомобильных дорог с покрытиями из укрепленных грунтов. М., ВНИПИЭлеспром, 1971.

6. Иванкович А. С., Анастасюк Ю. М. и др. Инструкция по назначению и расчету конструкций дорожных одежд нежесткого типа для лесовозных автомобильных дорог. Химки, ЦНИИМЭ, 1972.

Бумага $60 \times 90^{1/16}$
Зак. 380

Подписано к печати 21/IX-73 г.

Печ. л. 1,25

Л-76913
Тир. 150

Типография ЦНИИМЭ