

1-47  
МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО  
ОБРАЗОВАНИЯ РСФСР

МОСКОВСКИЙ ЛЕСОТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

---

Аспирант И. И. ЛЕОНОВИЧ

**ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ  
ЛЕЖНЕВОГО ПОКРЫТИЯ  
АВТОМОБИЛЬНЫХ  
ЛЕСОВОЗНЫХ ДОРОГ**

**АВТОРЕФЕРАТ**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

МОСКВА—1960

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО  
ОБРАЗОВАНИЯ РСФСР

МОСКОВСКИЙ ЛЕСОТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

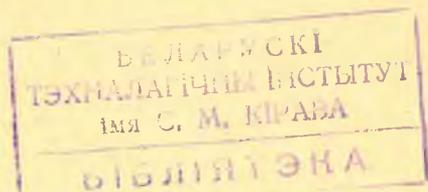
Аспирант И. И. ЛЕОНОВИЧ

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ  
ЛЕЖНЕВОГО ПОКРЫТИЯ  
АВТОМОБИЛЬНЫХ  
ЛЕСОВОЗНЫХ ДОРОГ

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Научный руководитель — доцент,  
кандидат технических наук  
Б. Е. ЕПИФАНОВ



МОСКВА—1960

731-ср.

Работа выполнена при Центральном научно-исследовательском институте механизации и энергетики лесной промышленности и Белорусском лесотехническом институте имени С. М. Кирова.

Полевые экспериментальные работы проведены в Оленийском леспромхозе ЦНИИМЭ.

## ВВЕДЕНИЕ

Решения XXI съезда КПСС по семилетнему плану развития народного хозяйства СССР на 1959—1965 годы ставят перед работниками лесной промышленности, как и перед всеми трудящимися нашей страны, задачи дальнейшего повышения производительности труда путем неуклонного внедрения в производство комплексной механизации и автоматизации процессов, достижений науки и техники, опыта работы передовых предприятий.

В решении задач, стоящих перед лесной промышленностью, большая роль отводится лесовозному транспорту. Транспорт является важнейшим звеном технологического процесса лесозаготовок, в значительной степени определяющим объем производства, режим работы и профиль деятельности предприятия.

Среди различных типов транспорта леса, применяемых в СССР, господствующее положение занимает автомобильный. Более 50% древесины в настоящее время вывозится автомобилями.

Эффективная и бесперебойная эксплуатация автомобилей на лесовывозке может быть обеспечена только при наличии качественных дорог. Качество дорог зависит от правильного содержания и своевременного ремонта их, от прочности основания и главное, от типа и конструкции дорожного покрытия.

В настоящее время в лесной промышленности СССР эксплуатируется большое количество различных типов автомобильных лесовозных дорог. По данным ЦНИИМЭ на 1.1. 1960 года грунтовые и снежные дороги составляли 83,4%; лежневые—11,6%; ледяные—3,9%; грунто-щебеночные—1,0% и колейные из ж. б. плит—0,1%.

В большинстве своем покрытия устраиваются по всей ширине проезжей части. Однако специфика работы лесовозного транспорта—однотипность подвижного состава, сравнительно небольшая интенсивность и организованность движения—

позволяет широко внедрять на лесовозных дорогах колейные покрытия.

Как показывает опыт дорожного строительства в СССР и за рубежом для постройки колейных дорог могут быть использованы различные материалы. Применение их обусловлено и в целом зависит от местных условий строительства и эксплуатационных требований. Одним из местных материалов, получивших достаточно большое распространение для постройки колейных лесовозных дорог, является древесина. В последнее время лесозаготовительные предприятия часто применяют деревянные покрытия с последующей засыпкой их грунтом.

Задачи экономного расходования древесины, этого ценного строительного материала, в дорожном строительстве обязывают работников лесотранспорта, наряду с отысканием новых типов покрытий и эффективных способов укрепления местных грунтов, продолжать работы по разработке рациональных типов колейных лежневых покрытий, а также средств механизации постройки этих дорог и способов повышения их долговечности.

Препятствием выбора рационального типа конструкции лежневого покрытия является отсутствие необходимой методики расчета, которая позволила бы правильно учесть все условия работы дороги. Распространенная на лесотранспорте методика расчета лежневого покрытия как балки на двух жестких опорах является весьма ориентировочной и не учитывает ряда основных факторов (жесткости основания, расположения нагрузок, скорости движения и т. д.).

Диссертационная работа посвящена исследованиям лежневого покрытия автомобильных лесовозных дорог и выбору правильного метода расчета, обеспечивающего рациональную и экономичную конструкцию элементов дороги.

Работа иллюстрирована таблицами, рисунками в виде графиков, номограммами и фотоснимками.

Отдельным томом даны приложения, в которых содержатся сравнительные расчеты, материалы тарифовки приборов, результаты экспериментальных исследований и их статистическая обработка.

## **СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ**

Многолетний период применения лежневых покрытий на лесовозных, военных и дорогах общего пользования привел к созданию множества различных конструкций.

Лежневые дороги, как первый тип колейных автомобильных дорог, привлекали внимание многих инженерно-техни-

ческих и научных работников, а также научно-исследовательских институтов.

Изучением улучшения проезжей части фронтальных дорог путем использования лесных материалов занимались В. Н. Образцов, Ю. В. Энгельгардт, М. И. Яковлев, (1917 г.), а в более позднее время А. К. Бируля, А. А. Калерт, Б. И. Кувалдин; Н. А. Муха, В. И. Архипов, А. И. Петрашень и ряд других специалистов-дорожников.

Изучением деревянных покрытий лесовозных дорог занимались П. П. Барчугов, В. В. Буверт, И. И. Гаврилов, В. И. Гарузов, Г. Д. Дубелир, Б. Д. Ионов, М. И. Кишинский, Н. Г. Корчунов, А. И. Лещ-Борисовский, А. Е. Митрофанов, Д. А. Попов, Б. А. Страшинский, С. А. Сыромятников, М. Н. Таргонский, В. П. Федоров и другие.

В настоящее время над усовершенствованием лежневых покрытий продолжают работать Г. Ф. Грехов, Б. Е. Епифанов, Л. Д. Дараган, Р. П. Лахно, Б. И. Шатов и другие.

Большинство работ было направлено на разработку конструкций лежневых покрытий. Многими авторами был описан опыт строительства и эксплуатации этих покрытий в различных производственных и гидрогеологических условиях. И лишь только немногие касались вопроса исследования покрытия под воздействием подвижного состава и были направлены на разработку методов расчета. К числу таких относятся работы Б. Е. Епифанова, М. И. Кишинского, Р. П. Лахно, Н. А. Муха, А. И. Петрашень, Н. К. Снитко и других.

В опубликованных работах имеются решения многих вопросов расчета лежневых покрытий, однако расчету лесовозных лежневых дорог, колесопроводы которых уложены на шпалах, уделено недостаточное внимание. Поэтому для автомобильных лежневых дорог до сих пор нет разработанных технических условий строительства, а проектные организации лесной промышленности при проектировании лежневых дорог вынуждены типы покрытия устанавливать приближенно.

Однако такое положение нельзя считать нормальным и потому возникла необходимость произвести детальное исследование работы лежневого покрытия и отыскать более совершенный метод расчета и разработать номограммы, которые позволили бы производить весь комплекс расчета, простым и доступным способом. Основными задачами исследований являются:

1. Теоретические исследования работы лежневого покрытия:

а) статический расчет;  
б) учет динамического воздействия подвижного состава на покрытие.

2. Экспериментальные определения расчетных характеристик для всех элементов покрытия.

3. Сопоставление теоретических и экспериментальных результатов.

4. Разработка методики и номограмм для расчета.

## ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РАБОТЫ ЛЕЖНЕВОГО ПОКРЫТИЯ

В задачи теоретического исследования лежневого покрытия автомобильных лесовозных дорог входило отыскание метода расчета, основанного на использовании современных теорий основания и приемов математического анализа.

С этой целью было проведено:

1. Изучение различных методов расчета конструкций на сплошном упругом основании и отдельных упругих опорах.

2. Определение активных и реактивных сил в конструкции.

3. Обоснование и выбор расчетных схем при решении отдельных элементов.

4. Определение величины напряжения в элементах покрытия в зависимости от прочности основания, величины и места приложения нагрузки, жесткости шпал и расстояния между ними.

При теоретическом исследовании, были использованы основные положения метода расчета, основанного на гипотезе прямой пропорциональности, метода проф. М. И. Горбунова-Посадова и метода проф. И. А. Симвулиди.

В результате проведенной работы было установлено следующее:

1. Шпалы, уложенные непосредственно на грунт, могут рассматриваться как балки на сплошном упругом полупространстве и могут быть рассчитаны с использованием методов разработанных для этой цели. Нагрузкой шпалы являются симметричные силы, передаваемые колесами подвижного состава.

2. Лежни колесопроводов по условиям работы ближе подходят к балкам, лежащим на отдельных упруго-податливых опорах.

3. Опоры, удаленные от нагрузки, оказывают незначительное влияние на деформацию балки. Число рассматриваемых опор может быть ограничено до четырех (составляющих трехпролетную балку). Аналогичные результаты (Ю. Г. Козьмин, 1957) получены для верхнего строения ж. д. пути.

4. Расчет колесопроводов по схеме трехпролетной балки на отдельных упругих опорах дает уравнения для реакции опор, изгибающих моментов и поперечных сил в замкнутой форме.

При выводе уравнений был использован принцип Максвелла о взаимности перемещений, а при решении дифференциального уравнения изгиба лежня—метод операционного исчисления.

5. Расчет лежней по схеме многопролетной балки, включает в себе коэффициент пропорциональности осадки опор, который определяется на основании теории упругости.

6. Расчетные характеристики лежневого покрытия могут быть определены построением линий влияния. Наиболее опасное положение нагрузки будет при расположении более тяжелой оси над расчетным сечением.

7. При одной и той же жесткости лежневого покрытия прочность основания оказывает заметное влияние на величину расчетных характеристик, что видно из таблицы 1.

Таблица 1

Значение модуля деформации в кг/см <sup>2</sup>	Удельное давление на грунт в кг/см <sup>2</sup>		Максимальное значение изгибающего момента кгм
	на конце лежня	на середине лежня	
50	2,00	0,65	845
150	2,09	0,71	525
250	2,12	0,73	450

8. Эпюры расчетных характеристик, вычисленные различными методами, имеют сходственный характер и аналогичный порядок цифр. Однако по абсолютной величине эти характеристики, и особенно изгибающие моменты, имеют существенные различия.

## УЧЕТ ДИНАМИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА НА ЛЕЖНЕВОЕ ПОКРЫТИЕ

Динамическое воздействие подвижного состава на лежневое покрытие можно представить как статическую нагрузку  $P_{ст}$  умноженную на динамический коэффициент  $K_d$ , т. е.

$$P_d = P_{ст} K_d.$$

Для определения динамического коэффициента необходимо рассмотреть колебания подвижного состава, возникающие под воздействием внешних возмущающих сил. Исследованиям колебаний автомобилей посвящено множество работ, в том числе Е. А. Чудакова, Г. В. Зимелева, Р. В. Ротенберга и др. Вопросам динамики подвижного состава лесовозных дорог посвящены работы Г. М. Васильева, В. А. Горбачевско-го, Б. Г. Гастева, Е. И. Лаха, А. И. Логинова, Н. И. Шульги и другие.

Определяя коэффициент динамического воздействия подвижного состава на лежневое покрытие, нами был использован метод проф. Б. Г. Гастева. Однако исследуя систему

(автомобиль+прицеп-роспуск) в качестве исходной принята расчетная схема, отличающаяся от расчетной схемы проф. Б. Г. Гастева раздельным рассмотрением дискретных масс, сосредоточенных над передней и задней подвесками автомобиля.

Для нашей расчетной схемы уравнения свободных колебаний масс получены в виде системы, учитывающей колебания отдельных дискретных масс: \*)

$$\begin{aligned}
 \frac{d^2 z_1}{dt^2} + K_1 \frac{d^2 z_2}{dt^2} + K_2 \frac{d^2 z_3}{dt^2} + K_3 \frac{d^2 z_4}{dt^2} + \omega_1^2 z_1 &= 0 \\
 \frac{d^2 z_2}{dt^2} + K_4 \frac{d^2 z_1}{dt^2} + K_5 \frac{d^2 z_3}{dt^2} + K_6 \frac{d^2 z_4}{dt^2} + \omega_2^2 z_2 &= 0 \\
 \frac{d^2 z_3}{dt^2} + K_7 \frac{d^2 z_1}{dt^2} + K_8 \frac{d^2 z_2}{dt^2} + K_9 \frac{d^2 z_4}{dt^2} + \omega_3^2 z_3 &= 0 \\
 \frac{d^2 z_4}{dt^2} + \lambda'_x \lambda''_m \frac{d^2 z_1}{dt^2} + \lambda'_m \lambda''_x \frac{d^2 z_2}{dt^2} + \lambda'_x \frac{d^2 z_3}{dt^2} + \\
 + z_1 \omega_4^2 \lambda''_m \lambda''_x + \lambda'_m \lambda''_x \omega_4^2 z_2 + \lambda'_x \omega_4^2 z_3 + \omega_4^2 z_4 &= 0
 \end{aligned} \tag{3.11}$$

где:  $K_1 \div K_9$  — коэффициенты связи, учитывающие взаимное влияние колеблющихся масс (подробные выражения приведены в диссертации);

$z_1, z_2, z_3, z_4$  — амплитуды колебаний отдельных дискретных масс;

$\omega_1, \omega_2, \omega_3, \omega_4$  — частоты колебаний;

$\lambda'_x, \lambda''_x$  — относительное расстояние от коников до центра тяжести хлыстов;

$\lambda'_m, \lambda''_m$  — относительное расстояние от подвесок до центра тяжести автомобиля.

Вычисления коэффициентов связи ( $K_1 \div K_9$ ), входящих в систему уравнений (3.11) показывают, что взаимное влияние перемещений одной оси автомобиля сказывается в небольшой степени на колебания другой оси (4—7%). Что касается колебаний центра тяжести хлыстов и масс прицепа, то они сказываются на колебаниях смежных дискретных масс в значительной степени (от 20 до 80%). Эти данные подтверждают выводы проф. Б. Г. Гастева и канд. технических наук Г. М. Васильева о наличии взаимной связи между

\*) нумерация формул в автореферате соответствует нумерации формул в диссертации.

двумя колеблющимися единицами подвижного состава, груженными хлыстами. Влияние колеблющихся масс передней и задней подвесок автомобиля объясняется зависимостью:

$$\frac{i_0^2}{ab} = 0,8 \div 1,0 \quad (3.29)$$

где:  $i_0$  — радиус инерции автомобиля,  
 $a, b$  — расстояния от подвесок до центра тяжести автомобиля.

При вывозке леса в хлыстах—расстояние между колесами рассчитывается по весовому параметру подвижного состава, однако—при этом расстояние между колесами автомобиля и прицепа получается небольшим и свес хлыстов портит дорогу. Вследствие этого на практике расстояние между колесами несколько увеличивается, что уменьшает зависимость колебаний одной оси от другой и соотношение  $i_0^2 : a b$ —приближается к единице (0,98).

Таким образом в теории колебаний автомобиля при хлыстовой вывозке леса имеется возможность при определении динамического воздействия подвижного состава на лежневое покрытие, связанных между собой колеблющихся масс, рассматривать колебания одной расчетной оси. Принимая условие независимости колебаний и пренебрегая внутренними сопротивлениями в системе, как не оказывающими существенного влияния на максимальную амплитуду в начальный период колебания, уравнение колебаний будет иметь вид:

$$M \frac{d^2z}{dt^2} + cz = f(t) \quad (3.57)$$

где:  $M$  — подрессоренная масса в кгсм<sup>-1</sup> сек<sup>2</sup>,  
 $z$  — амплитуда в см,  
 $t$  — время в сек.,  
 $c$  — приведенная жесткость шины и рессор в кгсм<sup>-1</sup>,  
 $f(t)$  — функция внешней возмущающей силы в кг.

Решая приведенное уравнение (3.57) для различных видов возмущающей силы (см. таб. 2)—определяются величины динамической добавки ( $F_{\max}$ ), на которую увеличивается статическая нагрузка.

После чего имеется возможность определить динамический коэффициент:

$$K_{\partial} = \frac{P_{ст} + F_{\max}}{P_{ст}} \quad (3.85)$$

Исследования величины коэффициента динамического воздействия подвижного состава на лежневое покрытие показывают, что максимальное значение он имеет от импульсной возмущающей силы, возникающей при прохождении колесами пороговых неровностей.

Наименование	Свободные колебания	Вынужденные
		импульса
1	2	3
Уравнение колебаний	$M \frac{d^2 z}{dt^2} + cz = 0$	$M \frac{d^2 z}{dt^2} + cz = \int_0^T f(t) dt$
Ускорение $\ddot{z}$	$A\omega^2 \sin(\omega t + \varphi)$	$\frac{M_{\text{нп}}}{M} \omega v t g \alpha \sin \omega t$
Максимальное ускорение $\ddot{z}_{\text{max}}$	$A\omega^2$	$\frac{M_{\text{нп}}}{M} \omega v t g \alpha$
Максимальная динамическая нагрузка $F_{\text{max}}$	$MA\omega^2 = Ac$	$M_{\text{нп}}\omega v \sqrt{\frac{R^2 - (R_k - h_0)^2}{(R_k - h_0)^2}}$

Обозначения в таблице 2:

- $A$  — амплитуда колебаний в см;
- $\varphi$  — начальная фаза колебаний;
- $\omega$  — частота собственных колебаний;  
ровная  $\omega = \sqrt{c/M}$  сек<sup>-1</sup>;
- $h$  — амплитуда неровностей в см;
- $s$  — длина неровностей в см;
- $\nu$  — частота возмущающей силы в сек<sup>-1</sup>;

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

### А. Лабораторные работы

Для определения зависимости деформации лежневого покрытия от величины и характера внешних сил и несущей способности грунтового основания, необходимой для уточнения разработанной методики расчета, были проведены экспериментальные исследования в лабораторных и производственных условиях.

Лабораторные исследования проводились в дорожно-грунтовой лаборатории БЛТИ имени С. М. Кирова на грунтовой

колебания при характере возмущающей силы в виде:

единичной короткой неровности	параболы	синусоиды
4	5	6
$M \frac{d^2 z}{dt^2} + cz = cf(t)$	$M \frac{d^2 z}{dt^2} + cz =$ $= hc(1 - v^2 t^2)$	$M \frac{d^2 z}{dt^2} + cz =$ $= hc \left(1 - \cos \frac{2\pi x}{s}\right)$
—	$h\omega^2 \left(1 + \frac{2v^2}{\omega^2}\right) \cos \omega t -$ $- 2hv^2$	$\frac{h\omega^2 v^2}{v^2 - \omega^2} \cos vt$
—	$h(\omega^2 + 4v^2)$	$\frac{h\omega^2 v^2}{v^2 - \omega^2}$
$2hc \sin \frac{\omega \tau_0}{2}$	$Mh(\omega^2 + 4v^2)$	$\frac{Mh\omega^2 v^2}{\omega^2 - v^2}$

 $h_0$  — высота пороговой неровности в см; $R$  — радиус недеформированного колеса в см; $R_k$  — радиус качения колеса в см; $M_{\text{нп}}$  — неподрессоренная масса в кгсм<sup>-1</sup> сек.<sup>2</sup>; $v$  — скорость движения автомобиля см сек<sup>-1</sup>; $\tau_0$  — время действия неровности в сек.

площадке (5,5×1,2×1,0 м). Для опытов были взяты элементы колесопроводов длиной 3,00—3,75 м и сечением 15×19; 12,4×10,1 см и шпалы длиной 1,1 м и сечением 12,4×10,1 см. Вертикальная нагрузка создавалась пятитонным гидравлическим прессом с градацией 0,5 и 1,0 тонн. Просадки элементов замерялись индикаторами с точностью до 0,01 мм.

В лаборатории проведено свыше 150 различных опытов и получено около 1 тыс. замеров, в результате чего была установлена зависимость просадки отдельных шпал от положения внешней погрузки и количество шпал, участвующих в работе лежневого покрытия. Опытами была подтверждена возможность принятой расчетной схемы в виде трехпролет-

ной балки с единичной нагрузкой, установленной в средние второго пролета. Система сил оказывает влияние на работу покрытия. Однако при вывозке леса в хлыстах расстояние между осями подвижного состава сравнительно велико, а воздействие системы сил носит временный характер, который не следует принимать во внимание.

### Б. Производственные испытания

Производственные испытания проводились в Оленинском леспромхозе ЦНИИМЭ. Опытный участок был построен на 21 км. Мостовской лесовозной дороги. Подвергавшаяся испытаниям конструкция состояла из колесопроводов и шпал. Колесопроводы—из брусев длиной 6,4 м и сечением  $17 \times 14$  см. Шпалы: длина—3,25; толщина—14 см и опорная площадь  $0,325 \text{ м}^2$ .

Работа приборов, применявшихся при испытаниях, базировалась на использовании реохордных и проволочных датчиков, а регистрация их показаний осуществлялась с помощью двух тензометрических установок ОТ-24-51.

Источником питания были аккумуляторные батареи и электростанция ПЭС-750 с выпрямителем ВСА-5.

Определение просадок производилось реохордными датчиками, которые устанавливались под каждым брусом колесопровода в сечениях 0,06; 65,5; 174 и 320 см от начала щита.

Датчики давления устанавливались под шпалами, уложенными от конца щита на расстоянии 28, 174 и 320 см. Под каждую шпалу укладывалось 3 датчика, из них один—на конце шпалы, второй—под серединой колесопровода и третий—на середине шпалы.

Датчики напряжения крепились к лежням на расстояниях 64,5, 174 и 320 см от конца балки.

В качестве подвижного состава использовался автомобиль МАЗ-501 с прицепом-ропуском 1-Р-8. На подвижном составе были установлены 4 вибрографа для записи колебаний подрессоренных масс и подключено «пятое колесо» для измерения пути.

Кроме того на автомобиле был установлен щиток управления приборами и радиопередаточная станция, при помощи которой сигналы зумера, передающие обороты «пятого колеса» записывались на ленту осциллографа.

Взвешивание подвижного состава производилось на электрических весах. Влажность грунтов определялась прибором Ковалева. Модуль деформации грунтов—с помощью штампа диаметром 15,4 см и опытной балкой. Физические свойства грунтов определялись лабораторными методами. До начала испытаний участок подвергался длительной обкатке маршрутными лесовозными автомобилями.

В период экспериментов скорость движения автомобиля принималось равной 0; 2; 7; 17 и 21 км/час.

Заезды повторялись по 4 раза.

Приборы подвергались тарировке до начала испытания и после них, и делались соответствующие вычисления. Полученные результаты наблюдений были обработаны методом математической статистики.

В результате экспериментальных исследований получены осциллограммы просадок, напряжений и давлений, а также виброграммы колебаний подрессоренных масс.

Анализ полученных данных показывает, что просадки лежней достигают максимума в момент прохода колесом рассматриваемого сечения.

По длине лежня просадки неодинаковые. Максимального значения (до 18 мм) они достигают на стыке, а по мере продвижения к середине уменьшаются в 1,5—2 раза.

По ширине колесопровода просадки неодинаковые. Максимальная величина имеет место под центральным лежнем,

Под передним колесом МАЗ-501 средняя просадка лежня под ее серединой равна 5 мм, под задним колесом—10,5 мм, а под колесом 1-Р-8—11 мм. Эти данные свидетельствуют о пропорциональной зависимости нагрузки и просадки.

Изменение шпальной эпюры при применении 9, 5 и 3 шпал под лежнем соответственно увеличивают просадки и напряжения в лежне на 20—30%.

Подвижная нагрузка на лежневом покрытии вызывает знакопеременные просадки, отрицательно сказывающиеся на скреплении. Подъемная сила, действующая на крепление лежня к шпале, достигает 300 кг.

Максимальное давление на грунт шпалы передается при прохождении наиболее тяжелой оси автомобильного поезда над шпалой.

Распределение удельного давления видно из таблицы 3.

Таблица 3

Нагрузка	Количество шпал под щитом	Удельное давление на грунт в кг/см <sup>2</sup> для сечений		
		конец шпалы	середина шпалы	середина колесопровода
Передняя ось МАЗ-501	5	1,8	2,6	1,2
	3	2,9	3,8	0,7
Задняя ось МАЗ-501	9	1,9	2,6	2,0
	5	3,5	5,1	2,1
	3	4,5	6,3	2,3
Ось роспуска 1-Р-8	9	2,4	2,9	2,0
	5	4,5	6,2	2,0
	3	6,2	7,3	1,4

Напряжение в лежнях изменяется в зависимости от положения рассматриваемого сечения и величины внешней нагрузки.

Максимальное напряжение в лежнях достигало около  $100 \text{ кг/см}^2$  при 9 опорах и значительно возрастало с уменьшением числа опор.

Скорость движения автомобиля оказывала заметное влияние на работу покрытия. Просадки на стыке в зависимости от скорости привела к следующему выражению:

$$y = 8,82 + 0,715 v - 0,0291 v^2 \quad (6.1)$$

где:  $v$ —скорость движения автомобиля в км/час.

Аналогичная зависимость имеет место для просадок в других сечениях.

Исследование уравнения (6.1) показывает, что максимальное значение просадки достигают при скорости  $v=12,3$  км/час. Для других сечений эта скорость колеблется в пределах 11—13 км/час.

Записи колебаний частей автомобиля при движении по лежневому покрытию показывают, что максимальная амплитуда возникает при прохождении колесом стыка, в последующем быстро затухает. Логарифмический декремент затухания имеет значение в пределах 0,4—0,6. Амплитуда колебаний для порожнего автомобиля достигает 40—50 мм и для груженого до 20 мм. Частота колебаний составляет 4—6 сек<sup>-1</sup>, Коэффициент динамичности—1,29.

## СОПОСТАВЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ И ТЕОРЕТИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ

После обработки экспериментальных исследований, были пересчитаны элементы лежневого покрытия с учетом фактических нагрузок, прочности грунтов, и жесткости конструкции— и сравнительные результаты экспериментальных наблюдений теоретических расчетов в небольшой части приведены в таблице 4.

Опытные наблюдения показаны в числителе, теоретические—в знаменателе.

Из таблицы видно, что просадки, полученные теоретическим путем, по величине и характеру сходственны с просадками, полученными экспериментально. Положительные просадки дают хорошую сходимость.

Сравнения данных, полученных экспериментальным путем с расчетными показывают, что предпосылки, положенные в основу теоретических разработок, подтверждаются. Расчетные характеристики хорошо согласуются с опытными наблюдениями.

Нагрузка в кг	Посадки в мм на шпалах номер:					
	1	2	3	4	5	6
1000	-3,42	-1,12	+1,85	+1,79	-1,21	-3,60
	—	-0,082	+1,23	+1,23	-0,082	—
2000	-9,19	-3,70	+2,71	+2,67	-3,82	-9,24
	—	-0,164	+2,46	+2,46	-0,164	—
2500	-11,14	-4,53	+2,93	+3,13	-4,72	-11,23
	—	-0,246	+2,95	+2,95	-0,246	—

### МЕТОД РАСЧЕТА ЛЕЖНЕВОГО ПОКРЫТИЯ С ПОМОЩЬЮ НОМОГРАММ

Хорошая сходимость результатов теоретического расчета лежневого покрытия и экспериментальных наблюдений дали возможность составить номограммы, пользуясь которыми можно чрезвычайно просто и быстро определять размеры элементов лежневого покрытия.

Производственные задачи расчета лежневого покрытия на прочность с помощью номограмм могут быть выполнены достаточно точно следующим образом:

1. Устанавливаем исходные данные для расчета—модуль деформации грунта, расчетную осевую нагрузку и конструкцию покрытия.

2. По номограмме рис. 1. определяем опорную площадь шпалы. При этом на оси абсцисс откладываем допустимое удельное давление на грунт, вычисленное на основании модуля деформации, затем проектируем его на расчетную осевую нагрузку и по оси ординат находим искомую площадь. По опорной площади шпалы устанавливаем ее длину и ширину.

3. Для определения напряжения в шпале составлена номограмма (рис. 2). Исходными для пользования ею являются расчетная нагрузка на ось и упругая характеристика шпалы, учитывающая относительную жесткость шпалы и грунтового основания. Напряжение в шпале определяется следующим образом. По оси абсцисс откладываем упругую характеристику шпалы и далее опускаем вертикаль (IV квадрант) до пересечения с шириной шпалы и находим приведенную полуширину  $\beta$ . Затем возвращаемся на ось абсцисс и последовательно используя известные исходные данные методом проекций в третьем квадранте находим искомую величину.

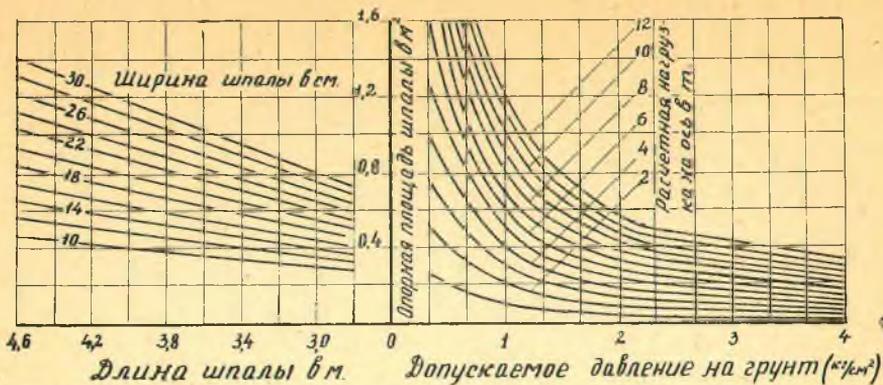


Рис. 1. Номограмма для определения опорной площади шпалы

4. Ширина колесопроводов и расстояние между ними зависит от габаритов подвижного состава и скорости движения. Графически эта зависимость представлена на рис. 3, где сплошной линией указана ширина колесопровода и пунктирной—расстояния между колесопроводами.

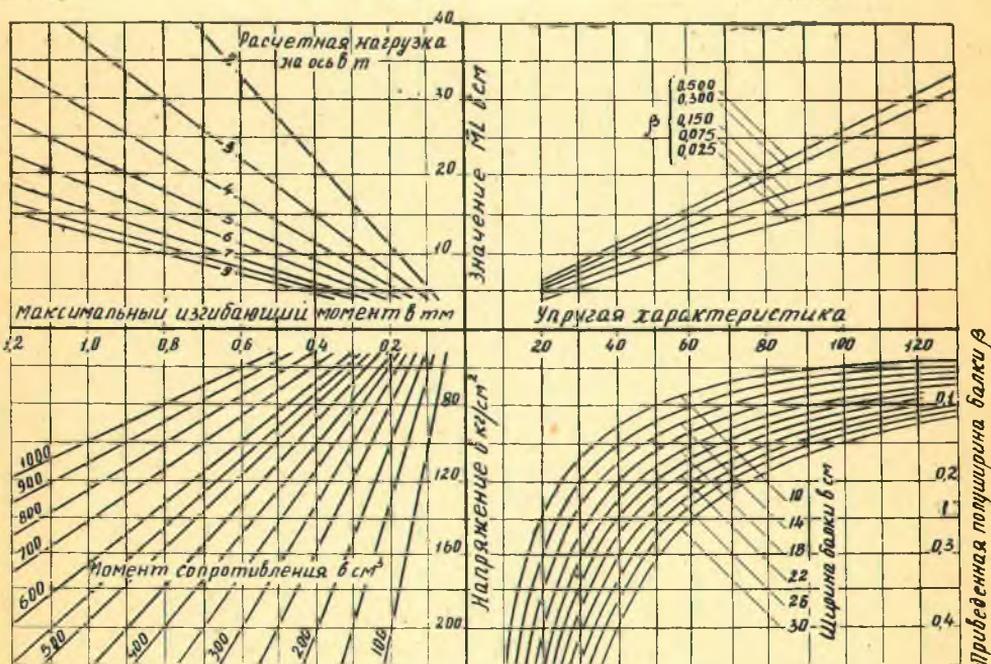


Рис. 2. Номограмма для расчета шпал на прочность.

5. Наиболее рациональное расстояние между шпалами может быть установлено, исходя из минимальных затрат древесины на устройство покрытия, по номограмме рис. 4. После расчета шпалы, определяем ее средний объем, который откладываем вверху по ось абсцисс, затем опускаем перпендикуляр до пересечения с кривой, характеризующей принятую ширину колесопровода. Через точку пересечения проводим горизонталь до встречи с кривой, обозначающей расчетную нагрузку на ось. Полученную точку проектируем на горизонтальную ось и читаем искомое расстояние между шпалами.

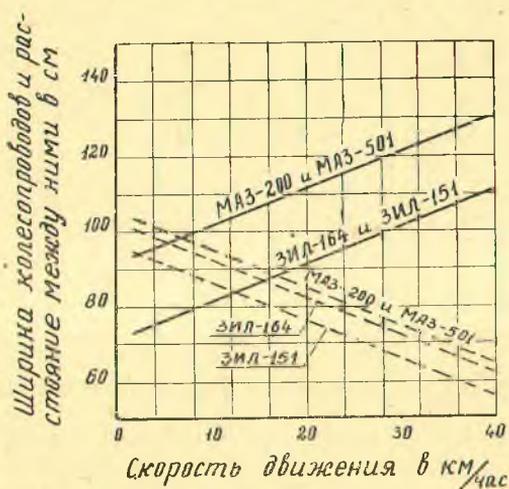
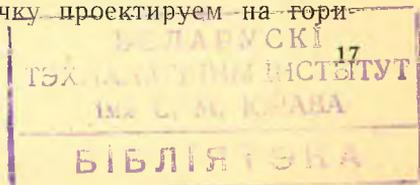


Рис. 3. График для определения ширины колесопроводов и расстояния между ними.

6. Наиболее ответственными элементами покрытия автолежневой дороги являются продольные брусья—лежни, из которых собираются колесопроводы. Крепление брусьев между собой обычно не обеспечивает жесткости конструкции, и поэтому при расчете лежней влияние скреплений не учитывалось.

В основу расчета лежней как балки на отдельных упругих опорах положен коэффициент упругости опор или коэффициент пропорциональности, характеризующий зависимость между силой, приложенной к шпале и вызванной ею осадкой. Определение коэффициента пропорциональности производится по номограмме (рис. 5), откладывая на оси абсцисс упругую характеристику шпалы, проводим вертикаль до пересечения с приведенной полушириной. Из точки пересечения ведем горизонталь до линии, характеризующей модуль деформации грунта. Полученную точку проектируем на гори-



горизонтальную ось, где прочитываем коэффициент пропорциональности осадки шпалы.

На основании полученных решений, пользуясь номограммой (рис. 6) можно быстро без сложных вычислений произвести расчет лежней колесопровода. Порядок пользования

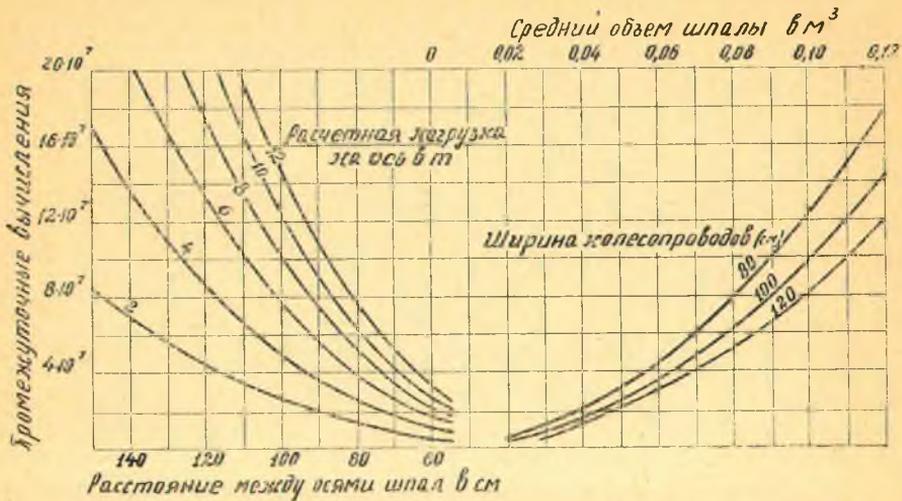


Рис. 4. Номограмма для определения расстояния между шпалами.

номограммой можно проследить по цифрам, обозначающим точки пересечения вертикальных и горизонтальных проекционных линий с исходными и промежуточными данными вы-

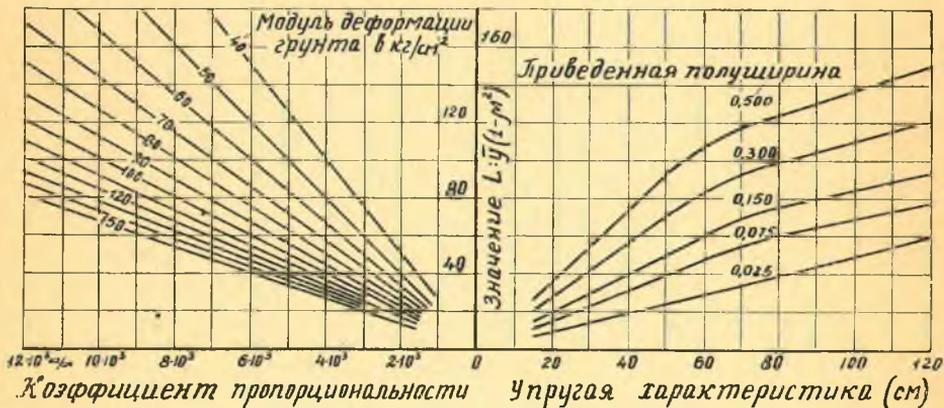


Рис. 5. Номограмма для определения коэффициента пропорциональности осадки шпалы.

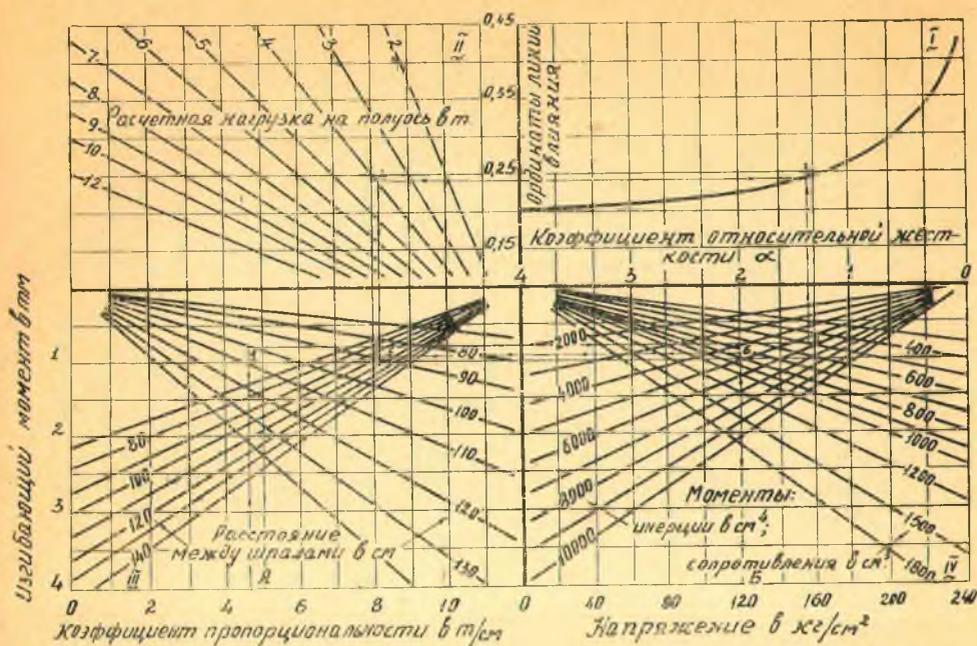


Рис. 6. Номограмма для расчета лежней колесопроводов.

числений. Отложив на горизонтали III четвертого квадранта найденный коэффициент пропорциональности (точка А) восстанавливаем перпендикуляр до пересечения с пучком кривых, рассеивающихся слева направо, обозначающих расстояние между шпалами. Из полученной точки (1) проводим горизонталь в IV квадрант до пересечения с пучком кривых, определяющих моменты инерции лежней (точка 2), от нее проводим вертикаль до пересечения с кривой в I квадранте (точка 3). Из точки 3 проводим горизонталь до пересечения с кривыми расчетной нагрузки во II квадранте. Точку 4 проектируем до пересечения с пучком прямых, рассеивающихся справа налево в III квадранте. После чего проводим горизонталь до пересечения с пучком прямых в IV квадранте, обозначающих момент сопротивления лежня. Пересечение (точка 6) проектируем на ось абсцисс и находим искомое напряжение в лежне.

Если полученное напряжение будет сильно отклоняться от допустимого, необходимо изменить размеры лежня и произвести повторный расчет.

При составлении номограммы принято самое невыгодное положение подвижной нагрузки на лежневом покрытии—наиболее тяжелая ось расположена в середине второго пролета.

## ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. На автомобильных лесовозных дорогах наряду с применением грунтовых, гравийных и покрытий, укрепленных минеральными или органическими вяжущими, применяются деревянно-лежневые, колеиные покрытия. Применение лежневых дорог вытекает из технико-экономических расчетов в тех районах, где преобладают слабые и заболоченные грунты, а другие строительные материалы отсутствуют.

2. Анализ различных теорий расчёта конструкций на упругом основании (нами были произведены расчёты по методу коэффициентов пропорциональности, по уравнениям степенного ряда проф. М. И. Горбунова-Посадова, по решению проф. И. А. Симвулиди, по методу отдельных упругих опор) и сравнивая результаты с опытными наблюдениями были получены величины изгибающих моментов в лежне в следующем соотношении:

по проф. М. И. Горбунов-Посадову 70 %<sup>1</sup>

по коэффициенту постели 111 %<sup>1</sup>

по проф. И. А. Симвулиди 123 %<sup>1</sup>

как трехпролетная балка

на отдельных упругих опорах 96 %<sup>1</sup>

экспериментально 100 %<sup>1</sup>

Реактивные давления и просадки дали меньшее расхождение, особенно в середине балки.

3. В основу предложений методики расчета лежневого покрытия, положено решение пространственной задачи теории упругости и использованы теоретические зависимости, выведенные для регулярной трехпролетной неразрезной балки на упругооседающих опорах. Эта методика позволяет учесть модуль деформации грунта, величину внешней нагрузки и жесткость элементов и на этой основе определяет все элементы лежневого покрытия.

4. Опытные наблюдения и лабораторные исследования определили, что:

а) нагрузка колесопровода распределяется на 5—6 шпал. Опоры, удаленные от нагрузки, оказывают незначительное влияние на работу лежня. Ограничение числа опор до четырех (трехпролетная балка) может вызвать погрешность напряжения в лежне в пределах 2 %<sup>1</sup>;

б) давление шпал на грунтовое основание распределяется неравномерно. Максимальное значение оно достигает по середине колесопровода. С увеличением расстояния между шпалами давление на грунт растет. Максимальный изгибающий момент в шпале имеет место также в сечении под серединой колесопровода;

в) при расстоянии между шпалами 0,73 м напряжение в лежнях на опорах и в пролетах между шпалами имеет оди-

наковую величину и составляет около  $100 \text{ кг/см}^2$ . С увеличением расстояния между шпалами (146, 292 см) напряжение в пролетах растет и становится больше, чем напряжение на опорах. Расчетной схемой для лежней следует считать положение, когда наиболее тяжелая ось подвижного состава находится в середине второго шпального пролета.

5. Исследования динамического воздействия подвижного состава на лежневое покрытие показали, что:

а) основным видом неровностей, оказывающих влияние на характер колебания подвижного состава на лежневом покрытии, являются пороги, возникающие вследствие просадки стыков;

б) возмущающая сила от пороговых неровностей может быть аппроксимирована в виде импульса;

в) импульсное воздействие на подвижной состав вызывает высокочастотные колебания.

г) расчетным уравнением для определения динамического воздействия автомобиля на лежневое покрытие является уравнение (см. таб. 2 графа 3), позволяющее учитывать высоту пороговых неровностей, скорость движения и тип подвижного состава;

д) при определении динамического воздействия расчетной скоростью следует считать такую скорость, при которой деформация лежневого покрытия имеет максимальное значение. Наблюдениями установлена  $V=11-13 \text{ км/час.}$

е) для лежневых покрытий, имеющих пороги до 4 см высотой, коэффициент динамического воздействия подвижного состава с рессорным подвешиванием колеблется в пределах 1,2—1,7, для подвижного состава с безрессорным подвешиванием (2-Р-15) коэффициент динамичности достигает 2,5 и более.

6. Произведенные испытания и расчеты определили тип и конструкцию лежневого покрытия. При модуле деформации грунта от  $50$  до  $120 \text{ кг/см}^2$  рационально применять колесопроводы, уложенные на шпалы. При модуле деформации грунта  $> 120 \text{ кг/см}^2$  колесопроводы можно укладывать непосредственно на грунт и шпалы применять только в стыках. При модуле деформации грунта  $< 50 \text{ кг/см}^2$  до укладки лежневого покрытия основание необходимо укрепить продольными лагами, хворостяной выстилкой или другими способами.

7. Для практического использования предложенной методики при проектировании лежневых покрытий нами составлены графики и номограммы, позволяющие проектировщикам, избегая утомительных выкладок и подсчетов, находить быстрые решения и правильный выбор рациональных конструкций.

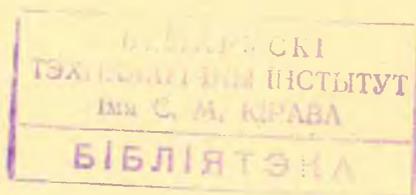
## Перечень

опубликованных работ, в которых отражено основное содержание диссертации

1. Пути повышения производительности лесовозного автомобильного транспорта. НТО лесной промышленности БССР, Минск, 1957.
  2. К вопросу расчета верхнего строения автолежневых дорог. Сборник научных трудов БЛТИ им. С. М. Кирова, выпуск X, 1957.
  3. Строительство и испытание опытных участков автолесовозных дорог с деревянным покрытием. Трубы ЦНИИМЭ, выпуск IX, 1958.
  4. О двух методах расчета автомобильных лесовозных дорог. Научные доклады высшей школы «Лесоинженерное дело» 3, 1958.
  5. Применение теории упругого основания к расчету лежневого покрытия автомобильных лесовозных дорог. Сборник научных трудов БЛТИ им. С. М. Кирова, выпуск XI, 1958.
  6. К расчету лежневого покрытия автомобильных лесовозных дорог, уложенного на шпалах. Сборник научных трудов БЛТИ им. С. М. Кирова, выпуск XI, 1958.
  7. Учет динамического воздействия автомобилей на лежневое покрытие. Известия высших учебных заведений «Лесной журнал» № 3, 1959.
  8. Выбор рациональных типов покрытий автомобильных лесовозных дорог в условиях БССР. Сборник научных работ БЛТИ им. С. М. Кирова, выпуск XII. (серия «Лесная промышленность»). Минск, 1959.
  9. Определение динамического воздействия автомобиля при движении его по лежневой дороге. Известия высших учебных заведений «Лесной журнал», № 2, 1960.
  10. Да пытання працягавання і разліку калейных пакрыццяў аўтамабільных дарог. Весці Акадэміі навук Беларускай ССР № 2, 1960. (Серія фізіка-тэхнічных навук).
  11. Определение коэффициента динамического воздействия подвижного состава на лежневое покрытие автомобильных лесовозных дорог. Груды ЦНИИМЭ XV. Дорожно-строительные работы на лесозаготовках. Выпуск 1. 1960.
-

## ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр.
Введение . . . . .	3
Современное состояние вопроса и задачи исследования . . . . .	4
Теоретические исследования работы лежневого покрытия . . . . .	6
Учет динамического воздействия подвижного состава на лежневое покрытие . . . . .	7
Экспериментальные работы . . . . .	10
А. Лабораторные работы . . . . .	10
Б. Производственные испытания . . . . .	12
Сопоставление результатов экспериментальных наблюдений и теоретических расчетов . . . . .	14
Метод расчета лежневого покрытия с помощью номограмм . . . . .	15
Основные выводы . . . . .	20



ЛТ 02226.

20.1X-1960 г.

Заказ 140.

Тираж 150.

---

Типография издательства БГУ им. В. И. Ленина,  
Минск, Кирова, 24.

### О П Е Ч А Т К И

Стр.	Строка	Напечатано	Должно быть
5	10 сверху	П. П. Барчугов	П. М. Барчугов
9	8 и 10 сверху	коликami	кониками
10	14 снизу	ровная	равная
13	9-10 снизу	середина шпалы	середина колесопро- вода
		середина колесопро- вода	середина шпалы
20	9 сверху	Анализ различных теорий	Анализируя различ- ные теории
20	15 снизу	определили	позволили устано- вить