

625.7
Л-47

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ РСФСР

ЛЕНИНГРАДСКАЯ ОРДЕНА ЛЕНИНА ЛЕСОТЕХНИЧЕСКАЯ
АКАДЕМИЯ им. С. М. КИРОВА

На правах рукописи

И. И. ЛЕОНОВИЧ

**ИССЛЕДОВАНИЕ
ПАРАМЕТРОВ И ПРОЧНОСТИ
АВТОМОБИЛЬНЫХ ЛЕСОВОЗНЫХ ДОРОГ**

Специальность 05.450. Промышленный транспорт

(РАБОТЫ НАПИСАНЫ НА РУССКОМ ЯЗЫКЕ)

**Доклад по опубликованным работам, представленным на
соискание ученой степени доктора технических наук**

ЛЕНИНГРАД 1972

625.7

1-477

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ РСФСР

ЛЕНИНГРАДСКАЯ ОРДЕНА ЛЕНИНА ЛЕСОТЕХНИЧЕСКАЯ
АКАДЕМИЯ им. С. М. КИРОВА

На правах рукописи

И. И. ЛЕОНОВИЧ

ИССЛЕДОВАНИЕ
ПАРАМЕТРОВ И ПРОЧНОСТИ
АВТОМОБИЛЬНЫХ ЛЕСОВОЗНЫХ ДОРОГ

Специальность 05.450. Промышленный транспорт

(РАБОТЫ НАПИСАНЫ НА РУССКОМ ЯЗЫКЕ)

2760 ар.



Доклад по опубликованным работам, представленным на
соискание ученой степени доктора технических наук

БИБЛИОТЕКА БТИ
ИМЕНИ С. М. КИРОВА

ЛЕНИНГРАД 1972

Работы выполнены в Белорусском технологическом институте им. С. М. Кирова

ОФИЦИАЛЬНЫЕ ОППОНЕНТЫ:

доктор технических наук, профессор **Б. А. Ильин**,
доктор технических наук, профессор **М. И. Кишинский**,
доктор технических наук, профессор **В. И. Мельников**.

Ведущее предприятие — Центральный научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт механизации и энергетики лесной промышленности (ЦНИИМЭ).

Доклад разослан 20 апреля 1972 г.

Защита работ состоится в июне 1972 г. на заседании совета Ленинградской ордена Ленина лесотехнической академии им. С. М. Кирова по адресу: Ленинград, Институтский пер., 5.

С работами можно ознакомиться в библиотеке академии.

Ученый секретарь совета

(В. Онегин)

ВВЕДЕНИЕ

В соответствии с решениями XXIV съезда КПСС в девятой пятилетке запланировано дальнейшее развитие лесной промышленности. Развитие осуществляется путем реконструкции действующих лесозаготовительных предприятий, внедрения более совершенных машин и оборудования, строительства новых высокомеханизированных леспромхозов, улучшения труда и быта рабочих и служащих, занятых на лесозаготовках. Особое внимание уделяется развитию транспорта леса и улучшению состояния лесовозных дорог.

Для перевозки заготавливаемых в лесу материалов и продуктов в настоящее время используются автомобильный, железнодорожный и другие виды сухопутного транспорта.

Современный сухопутный транспорт леса является важной составной частью лесной промышленности и лесного хозяйства. Он объединяет сотни тысяч километров транспортных путей, десятки тысяч единиц тягового и прицепного подвижного состава, большой парк дорожно-строительных машин, специализированные строительные организации, предприятия и базы по производству материалов и конструкций, проектные и научно-исследовательские институты, лаборатории, ряд служб и подразделений.

Техническую основу современного сухопутного транспорта леса составляют мощные машины, научно обоснованная технология и организация производства, комплексная механизация и автоматизация транспортных и дорожно-строительных работ. Он базируется на производственном опыте и глубоких теоретических разработках.

Сухопутный транспорт леса имеет многовековую историю. Однако поистине всестороннее развитие он получил лишь за годы Советской власти. В настоящее время сухопутный транспорт механизирован на 100%. Объем перевозимых грузов превышает 600 млн. т, а грузооборот — 20 млрд. т км. На вывозке леса используются большегрузные автомобили, высокопроизводительные локомотивы, различные виды прицепного подвижного состава и другие транспортные средства. Работа

транспорта обеспечивается необходимым подъемно-транспортным оборудованием и средствами для пакетной погрузки и разгрузки хлыстов и сортиментов.

Большие заслуги в развитии сухопутного транспорта леса принадлежат науке. Научные основы сухопутного транспорта леса формировались, развивались и развиваются как особая ветвь классической дорожной науки. Вот почему, с одной стороны, они неразрывно связаны с общим уровнем развития транспорта и дорожного дела в стране, а с другой — с уровнем тех специальных исследований, которые проводятся в свежих задачах, выдвигаемых теорией и практикой лесозаготовительного производства, спецификой работы лесовозных дорог.

В настоящее время почти по всем теоретическим и практическим проблемам сухопутного транспорта имеются капитальные разработки, установившиеся положения и инструктивные материалы.

Общие вопросы сухопутного транспорта, связанные с проектированием земляного полотна, определением прочности конструктивных элементов дорог и организацией строительства лесовозных дорог, в большей степени решены профессорами Г. Д. Дубелиром, Д. А. Поповым, В. В. Бувертом, М. М. Корунным и изложены в опубликованных ими работах.

Теория проектирования дорожно-транспортной сети, вопросы выбора типа транспорта для различных условий эксплуатации разработаны профессором Б. А. Ильиным, доцентами Б. Д. Ионовым, Б. И. Кувалдиным, Б. А. Куклиновым, С. А. Сыромятниковым, В. В. Щелкуновым и др.

Исследованию водно-тепловых процессов, протекающих в земляном полотне лесовозных дорог, посвящены работы Н. П. Вырко, Т. А. Гурьева, Г. И. Шелопаева, В. В. Щелкунова и др.

Обширные исследования относятся к вопросам дорожных одежд автомобильных лесовозных дорог. Эти исследования принадлежат профессору Н. Г. Корчунову, доцентам Ф. Д. Годловневу, Б. Е. Елифанову, В. В. Жукову, Н. С. Колбасу, В. К. Курьянову, С. А. Морозову, С. Н. Некрасову, Г. М. Парфенову, Л. В. Петровскому и др.

Большой вклад в решение проблемы строительства лесовозных дорог внесли сотрудники ЦНИИМЭ — С. А. Абрамов, Р. И. Волосова, И. И. Гаврилов, Т. З. Захаров, А. С. Иванкович, А. Е. Митрофанов, Б. А. Страшинский, Б. Н. Смирнов, Х. Х. Сюндюков и др., транспортный отдел Гипролестранса (О. С. Блинов, С. А. Муртузалиев, Я. И. Чиков и др.), а также В. Н. Крылов, П. Г. Сергеев, М. Н. Таргонский и др.

Благодаря большому вниманию к вопросам строительства дорог со стороны ученых и инженеров в настоящее время дорожно-строительные организации обеспечены типовыми пра-

вилами и картами производства строительных работ, разработаны многие вопросы технологии и организации дорожно-строительного производства.

Основоположителем теории хлыстовой вывозки леса и динамики подвижного состава лесовозных дорог является профессор Б. Г. Гастев. Вопросы динамики железнодорожных вагонов и автомобильных лесовозных поездов глубоко исследованы в работах профессора В. И. Мельникова, доцентов Н. И. Библиюка, Б. В. Билыка, Н. А. Гайдара, канд. техн. наук Л. С. Матвеевко, З. С. Цофина и др.

Многочисленные исследования конструкции подвижного состава лесовозных дорог проведены С. А. Абрамовым, В. А. Горбачевским, Л. Д. Дараган, Б. И. Кувалдиным, Я. Г. Меншуткиным, В. А. Трубецким, В. В. Щелкуновым и др.

Значительные работы по зимним дорогам и научные основы их проектирования, строительства и эксплуатации принадлежат профессорам М. И. Кишинскому, М. М. Корунову, канд. техн. наук Д. Д. Ерахтину, А. П. Калашникову, Е. И. Лопухову, Л. Н. Плакса, Н. Ф. Савко и др. В области горного сухопутного лесотранспорта известны работы профессора Н. М. Белой, канд. техн. наук С. М. Дмитриевского, В. Д. Мартынихина, В. В. Скобея.

Проблеме обоснования параметров, разработке и внедрению наиболее рациональных типов и конструкций лесовозных дорог, их теоретическому и экспериментальному исследованию посвящены почти все научные работы автора. В числе их около 100 работ опубликовано в виде отдельных книг, брошюр и статей в различных научных журналах и сборниках.

Настоящий доклад обобщает 84 опубликованные работы, относящиеся к исследованию параметров и прочности автомобильных лесовозных дорог.

Раздел 1. ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ЛЕСОВОЗНЫХ ДОРОГ

1.1. Проектирование продольного профиля лесовозных дорог

Дороги относятся к капиталоемким инженерным сооружениям. При их проектировании и строительстве обычно стремятся принимать такие решения, которые обеспечивали бы минимум затрат. Но минимальные строительные затраты могут привести к чрезмерным эксплуатационным расходам. Правильное решение этого вопроса может быть получено в том случае, если будет найден минимум строительных и эксплуатационных затрат. Поиски этого минимума ведутся путем технико-эконо-

мических расчетов и заканчиваются выбором оптимальных решений.

Аналогичный подход должен быть и при проектировании продольного профиля дорог.

Основной и главной характеристикой, определяющей продольный профиль лесовозной автомобильной дороги, является руководящий уклон. Им руководствуются при проектировании дороги, а также и при выполнении других важнейших строительных и тягово-эксплуатационных расчетов.

Для определения наивыгоднейшего руководящего уклона нами предложен метод [15], в основе которого лежит уравнение стоимости

$$C = C_{\text{стр}} + C_{\text{экс}}, \quad (1.1)$$

где $C_{\text{стр}}$ — дорожная составляющая стоимости вывозки 1 м³ древесины;

$C_{\text{экс}}$ — транспортная составляющая стоимости 1 м³ древесины.

Значение дорожной составляющей стоимости вывозки определяется из выражения

$$C_{\text{стр}} = \frac{R_{\text{п}}L}{Q_{\text{общ}}} + \frac{R_{\text{и.с}}}{Q_{\text{общ}}} + \frac{R_{\text{р.с}}L}{Q_{\text{общ}}} + \frac{v\Sigma V}{Q_{\text{общ}}}, \quad (1.2)$$

где $R_{\text{п}}$ — стоимость 1 км дорожной одежды, руб.;

L — длина дороги, км;

$R_{\text{и.с}}$ — стоимость искусственных сооружений, руб.;

$R_{\text{р.с}}$ — стоимость ремонта и содержания 1 км дороги, руб.;

ΣV — объем земляных работ, м³;

v — стоимость производства 1 м³ земляных работ, руб.;

$Q_{\text{общ}}$ — ликвидный запас лесосырьевой базы, тяготеющей к проектируемой дороге, м³.

Транспортная составляющая в то же время может быть определена по формуле

$$C_{\text{экс}} = \frac{DN_{\text{м.с}}n}{TQ_{\text{общ}}} \left(t_1 + t_2 + \frac{2l}{v_{\text{ср.тех}}} \right), \quad (1.3)$$

где D — стоимость машино-смены, руб.;

$N_{\text{м.с}}$ — количество машино-смен, которое необходимо затратить для вывозки древесины в объеме $Q_{\text{общ}}$;

n — число рейсов в смену;

T — продолжительность рабочей смены, час;

t_1, t_2 — время стоянок поезда под погрузкой и разгрузкой, час;

l — расстояние вывозки, км;

$v_{\text{ср.тех}}$ — среднетехническая скорость движения, км/ч.

Анализируя формулы (1.2) и (1.3) нетрудно убедиться, что объем земляных работ ΣV и число машино-смен $N_{м.с.}$, при прочих постоянных величинах, являются функцией руководящего уклона. Следовательно, дорожную и транспортную составляющие можно выразить в виде функции руководящего уклона, т. е. $C_{стр} = f(i_p)$ и $C_{экс} = f(i_p)$. Зависимости $C_{стр} = f(i_p)$ и $C_{экс} = f(i_p)$ можно представить графически (рис. 1.1), а вслед за тем найти общую стоимость. Оптимальное значение руководящего уклона будет при минимальном значении функции $C = f(i_p)$.

Рассмотренный метод был предложен в 1956 г. Он учитывался многими проектными организациями и включен проф. В. И. Гарузовым в книгу «Экономические основы транспорта леса».

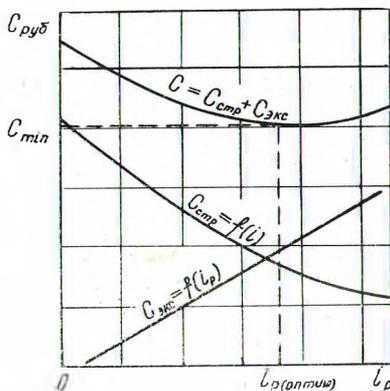


Рис. 1.1. График для определения оптимального руководящего уклона.

Ряд практических вопросов, связанных с проектированием продольного профиля, нами был рассмотрен позже [5, 9]. Для определения величины продольных уклонов нами был предложен нивелир-автомат [67] и универсальный дорожный уклономер [32].

Следует, однако, отметить, что в последние годы работниками проектных и научно-исследовательских организаций предложены новые методы определения руководящего уклона и проектирования продольного профиля в целом. Большинство из этих методов основано на выборе оптимальных решений, но выбор производится с помощью электрошно-вычислительных машин и новых положений о проектировании сети лесных дорог [60].

1.2. Определение оптимальных параметров автомобильных лесовозных дорог в плане

Проектирование автомобильных лесовозных дорог связано с расчетом трассы, определением ширины дороги, проверкой видимости, решением многих других вопросов геометрии плана дороги.

Для определения параметров в плане лесовозные автомобильные дороги целесообразно разбить на дороги первого, второго и третьего порядка [46, 60, 68]. Дороги первого порядка (магистраль) создают опорную постоянно действующую сеть. Они, как правило, должны быть увязаны с генеральной схемой развития дорог и направлением грузопотоков. Дороги второго порядка в каждом квартале могут размещаться по квартальным просекам, если позволяет рельеф местности, или другими наиболее рациональными способами в условиях переесеченного рельефа. Дороги третьего порядка являются внутриквартальными. К ним можно отнести естественные проезды и волоки, а также специально построенные внутриквартальные пути.

В зависимости от грузооборота дороги распределяются на категории.

К дорогам различного порядка, а также к различным категориям автомобильных дорог одного и того же порядка, предъявляются не одинаковые требования. Исходным же во всех случаях является безопасное движение машин с заданными скоростями и нагрузками, интенсивность движения, габарит подвижного состава и др.

В ряде наших работ рассмотрены вопросы определения оптимальных параметров и проектирования дорог в плане. В частности, разработана методика расчета плана колеиных автомобильных дорог [5, 28, 29], дан анализ ширины проезжей части дорог с одной и двумя полосами движения [35], предложена формула длины трапецидального разъезда, разработан графический метод определения пути следования роспуска при статическом вписывании автомобиля в кривые [51], доказана целесообразность проектирования разъездов овальной формы, уточнены некоторые положения, связанные с проектированием кривых [5, 9, 12].

1.3. Выбор числа полос движения при проектировании автомобильных лесовозных дорог

Число полос движения играет решающую роль в обеспечении пропускной способности дорог. Дороги с двухполосной проезжей частью имеют достаточно высокую пропускную способность, встречные автомобили на них могут разъезжаться в любом месте, а автомобили, имеющие большую скорость, могут совершать обгон автомобилей, движущихся с меньшей скоростью. Дороги с однополосной проезжей частью не имеют этих возможностей. Для пропуска встречного транспорта на них необходимо строить разъезды.

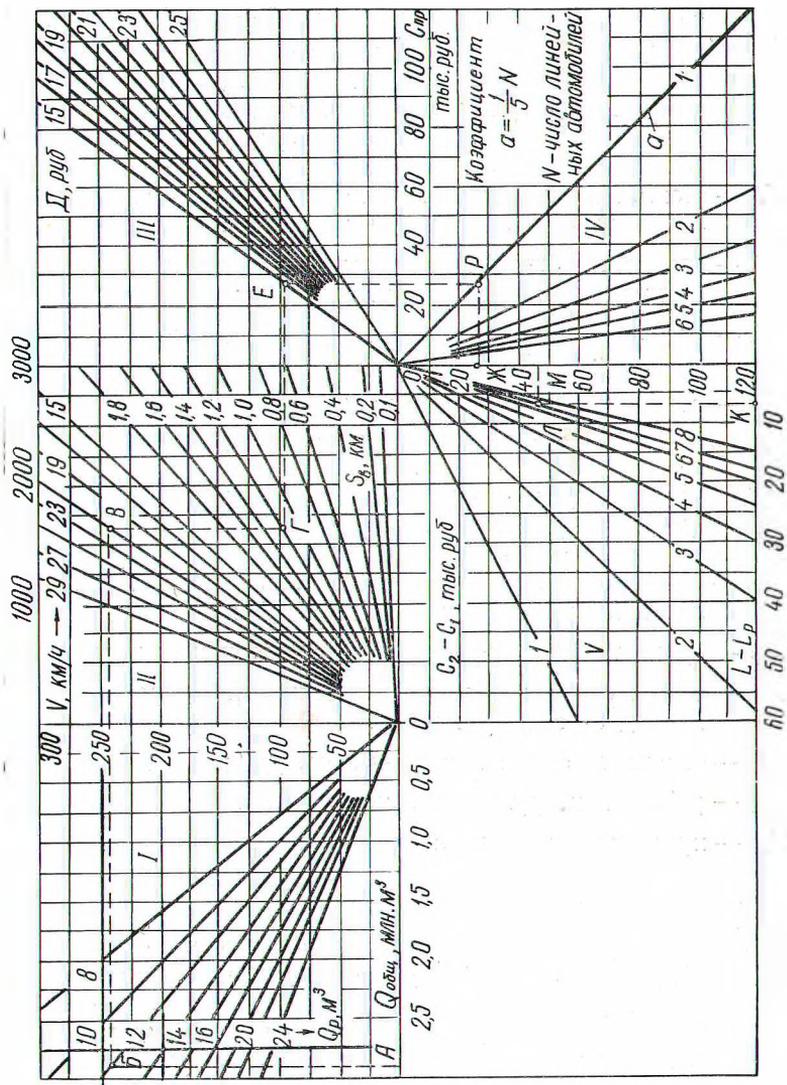


Рис. 1.2. Номограмма для определения числа полос движения.

Применение дорог с одной и двумя полосами движения обусловлено рядом факторов: интенсивностью движения, типом одежды, сроком службы, рельефом местности и др.

Исследования [35] показывают, что двухполосную проезжую часть на автомобильных лесовозных дорогах целесообразно применять тогда, когда соблюдается неравенство

$$(C_2 - C_1)(L - L_p) \leq \frac{S_b D Q_{\text{общ}} K_1 K_2}{T_{\text{см}} Q_{\text{рейс}} v_{\text{ср.тех}}}, \quad (1.4)$$

где C_1 — стоимость строительства одного километра дороги с однополосной проезжей частью, руб.;

C_2 — стоимость строительства одного километра дороги с двухполосной проезжей частью, руб.;

L — проектируемая длина автомобильной лесовозной дороги, км;

L_p — общая длина развязок на дороге, км;

S_b — расчетное расстояние видимости, км;

K_1 — коэффициент, учитывающий вероятность одновременного попадания двух встречных автомобилей на смежные развязки, равный 0,7—0,8;

K_2 — коэффициент, учитывающий потери времени при замедлении и разгоне, равный 1,05—1,15;

$v_{\text{ср.тех}}$ — среднетехническая скорость движения на дороге, км/ч;

$Q_{\text{общ}}$ — общий объем перевозок древесины по дороге за весь период ее эксплуатации, м³;

D — стоимость одной машино-смены, руб.;

$Q_{\text{рейс}}$ — рейсовая нагрузка на автопоезд, м³;

$T_{\text{см}}$ — продолжительность смены, час.

В противном случае необходимо строить дорогу с одной полосой движения.

Решение вопроса о выборе числа полос движения может быть достигнуто графическим путем, используя разработанную нами номограмму (рис. 1.2).

Дороги лесохозяйственного назначения, а также подъездные пути к магистралям лесовозных дорог целесообразно строить с одной полосой движения.

Если лесные дороги предназначены не только для вывозки леса, но и для движения транспорта общего пользования, то ширина ее должна устанавливаться на основании специальных технико-экономических расчетов.

Раздел 2. ПАРАМЕТРЫ И ПРОЧНОСТЬ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА

2.1. Предпосылки к определению параметров земляного полотна

Земляное полотно автомобильных лесовозных дорог должно обладать стабильной геометрической формой независимо от погодных условий и времени года, а также обеспечивать необходимую прочность и устойчивость дорожной одежды.

Кроме того, земляное полотно должно обеспечивать минимальные затраты капитальных средств и соизмеримые эксплуатационные расходы. Это возможно при условии, когда параметры земляного полотна приняты с учетом водно-теплового режима, качества грунтов, величины внешних нагрузок, технологии строительства, рельефа местности и технических требований.

К основным параметрам относится ширина земляного полотна, его высота, крутизна откосов, общая форма и некоторые другие.

Ширина земляного полотна неразрывно связана с шириной проезжей части. Последняя же зависит от числа полос движения и габаритов подвижного состава. Для определения числа полос движения выше приведены необходимые предпосылки и зависимости.

Влияние габарита подвижного состава на ширину проезжей части и земляного полотна рассмотрено в параграфе 2.5.

Высота земляного полотна является особо важным показателем дороги. Минимальное ее значение должно устанавливаться на основании исследований теплотехнических процессов и учета миграции влаги, которая происходит под воздействием этих процессов.

Оптимальная высота земляного полотна для данных условий устанавливается с учетом всей совокупности факторов, включая перемещение грунтовых масс, обеспечение требований проектирования продольного профиля, защиту дороги от снежных заносов и др. Если по каким-либо причинам не может быть обеспечена даже минимальная высота земляного полотна, то тогда принимаются меры к регулированию водно-теплового режима путем устройства дренажной системы, введения тепло- и водорегулирующих слоев [12].

Крутизна откосов определяет форму и размеры земляного полотна. Правильный выбор крутизны откосов обеспечивает устойчивость дороги, ее эстетические качества, способствует формированию снежных отложений и снего-ветровых потоков.

В дорожной практике крутизна откосов определяется под-

бором, а устойчивость вычисляется графо-аналитическим методом. Этот метод является довольно трудоемким и не обеспечивает необходимой точности. Нами разработан новый метод расчета устойчивости откосов с использованием номограмм [58]. Предпосылки, положенные в основу номограмм, и способ их применения будут освещены ниже.

2.2. Глубина промерзания грунтов и ее влияние на параметры земляного полотна

Глубина промерзания грунтов является важным фактором при расчете высоты земляного полотна и определении его прочностных характеристик.

В настоящее время существуют различные способы и методы вычисления глубины промерзания грунтов. Их можно разделить на две группы:

а) теоретические — базирующиеся на результатах исследования теплофизических процессов, протекающих в земляном полотне, и основных законах теплообмена. К этой группе можно отнести методы, разработанные М. Н. Гольдштейном, В. С. Лукьяновым, Н. А. Пузаковым, В. М. Сиденко, Г. М. Шахунянцом и др.;

б) эмпирические — основанные на результатах обработки экспериментальных данных, полученных для различных географических и гидрогеологических условий Н. А. Пузаковым, А. Н. Будниковым, Г. И. Лапкиным и многими другими исследователями.

Разработанные методы позволяют решать задачи, связанные с промерзанием грунта. Но применение большинства из них требует предварительного определения теплофизических характеристик грунта, а некоторые имеют частное решение, носят ограниченный характер. И в том и другом случае возникают значительные затруднения при расчете глубины промерзания грунтов по трассе дороги.

Для определения глубины промерзания грунта по трассе нами предложены статистические методы [8, 41, 45, 83]. Эти методы базируются на многолетних данных наблюдений за глубиной промерзания, отличаются простотой и исключают недостатки, присущие другим методам.

При наличии данных наблюдений глубина промерзания грунта определяется в следующем порядке.

1. Составляется статистический ряд ежегодных максимальных глубин промерзания.

2. Вычисляются:

а) среднеарифметическая глубина промерзания

$$Z_{\text{ср}} = \frac{\sum Z}{n}, \quad (2.1)$$

где $\sum Z$ — сумма промерзаний за n лет;
 n — число лет наблюдений;

б) модульные коэффициенты

$$K = \frac{Z_i}{Z_{\text{ср}}}, \quad (2.2)$$

где Z_i — глубина промерзания i -го года;

в) коэффициент вариации

$$C_v = \sqrt{\frac{\sum (K - 1)^2}{n - 1}}; \quad (2.3)$$

г) коэффициент асимметрии

$$C_s = \frac{\sum (K - 1)^3}{(n - 1) C_v^3}. \quad (2.4)$$

3. По соответствующим таблицам (напр., С. И. Рыбкина) в зависимости от коэффициента вариации C_v и заданного процента обеспеченности подбирается модульный коэффициент K_s .

4. Вычисляется искомая величина глубины промерзания грунта заданной обеспеченности

$$Z = K_n K_s \cdot Z_{\text{ср}}, \quad (2.5)$$

где K_n — коэффициент, учитывающий тип грунта, величину снежного покрова и особенности рельефа местности. Значение его колеблется в пределах 1,7—2,0.

При отсутствии данных о глубине промерзания грунтов в рассматриваемом районе местности искомая глубина промерзания может быть определена с помощью карт изолиний (рис. 2.1 и 2.2), которые составлены для европейской части СССР. Причем определение глубины промерзания грунта целесообразно производить в следующем порядке.

1. По карте изолиний (рис. 2.1) устанавливается средняя глубина промерзания грунта, а по карте изолиний, представленной на рис. 2.2, — коэффициент вариации.

2. По найденному коэффициенту вариации и заданному проценту обеспеченности подбирается соответствующий модульный коэффициент.

3. Зная модульный коэффициент и среднюю глубину промерзания, по формуле (2.5) вычисляется глубина промерзания грунтов заданной обеспеченности.

Как показывают исследования, промерзание грунтов оказывает большое влияние на водно-тепловой режим земляного полотна.

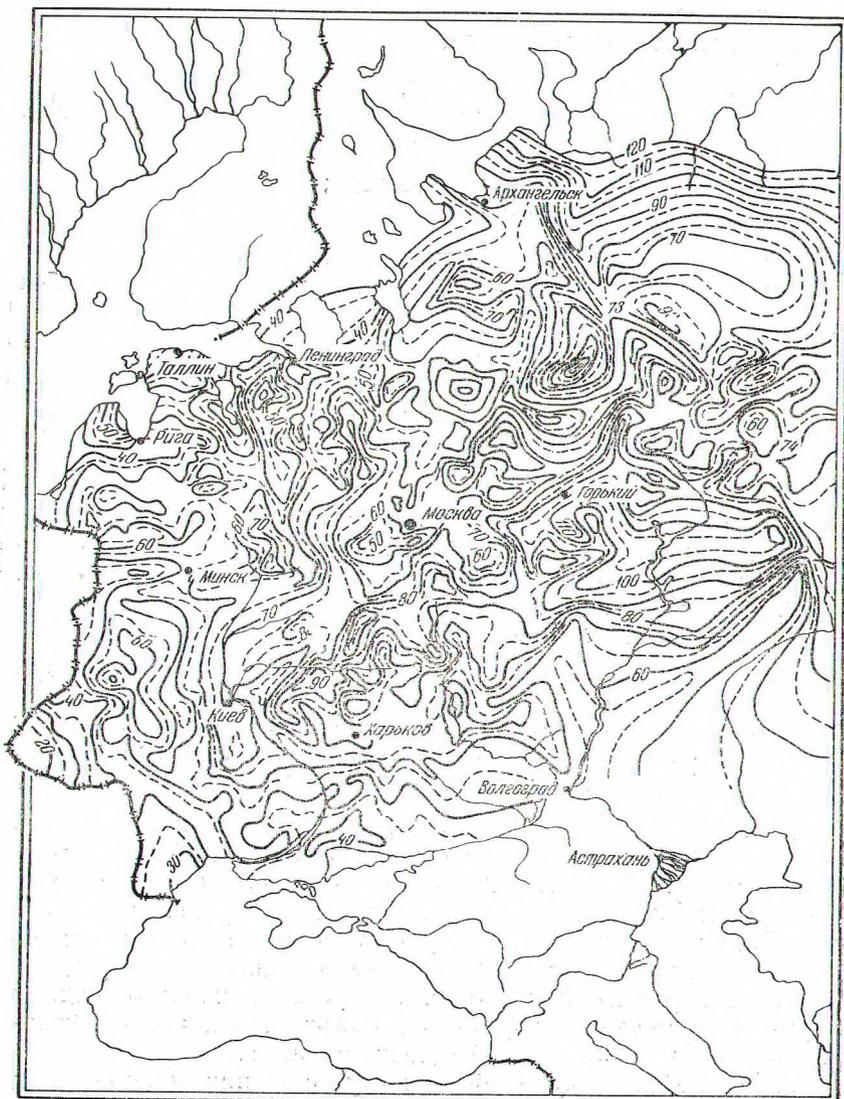


Рис. 2.1. Карта изолиний средних максимальных глубин промерзания грунта.

влаги большое влияние оказывает тип грунта, степень его уплотнения и гидрологические условия.

Миграция влаги приводит к влагонакоплению, а следовательно, и к изменению прочностных характеристик земляного полотна.

Миграция и влагонакопление в свою очередь приводят к пучинообразованию, пагубные последствия которого всем известны.

Обобщая сказанное, можно сделать вывод, что проектирование земляного полотна должно базироваться на объективных данных о водно-тепловом режиме местности и в первую очередь на данных о глубине промерзания грунтов.

2.3. Расчет высоты земляного полотна

Параметры земляного полотна и особенно его высота могут изменяться по мере изменения рельефа местности, почвенно-грунтовых и гидрологических условий [8, 12].

Для определения минимально допустимой высоты земляного полотна или возвышения бровки земляного полотна над уровнем грунтовых вод целесообразно выделить ряд характерных случаев (рис. 2.3):

а) грунтовые воды расположены на большой глубине, в процессе промерзания грунта их влияние не имеет практического значения;

б) уровень грунтовых вод расположен на такой глубине, что приток влаги существенно влияет на глубину промерзания;

в) глубина промерзания грунта больше глубины залегания грунтовых вод;

г) промерзание грунта отсутствует;

д) земляное полотно расположено на болоте, а уровень грунтовых вод совпадает с поверхностью земли.

Каждый из этих случаев требует особого подхода при решении вопроса о минимальной высоте земляного полотна.

В *первом случае* на решение вопроса о высоте земляного полотна уровень грунтовых вод и глубина промерзания грунта влияния не оказывают, а следовательно, высоту земляного полотна необходимо назначать исходя из других условий — минимального объема земляных работ, обеспечения поверхностного стока воды, предотвращения снеготаносимости и т. д.

Для *второго случая* минимальная высота земляного полотна определяется как сумма расчетной глубины промерзания грунта и минимального расстояния между границей промерзания и уровнем грунтовых вод

$$H = Z + l, \quad (2.6)$$

где Z — расчетная глубина промерзания грунта, см;

l — минимальное расстояние между границей промерзания и уровнем грунтовых вод, см.

Значение l можно определить по формуле

$$l = \frac{2KST}{Z\Omega_{зад}}, \quad (2.7)$$

где K — коэффициент фильтрации грунта, см/сутки;
 S — всасывающая сила грунта, см;

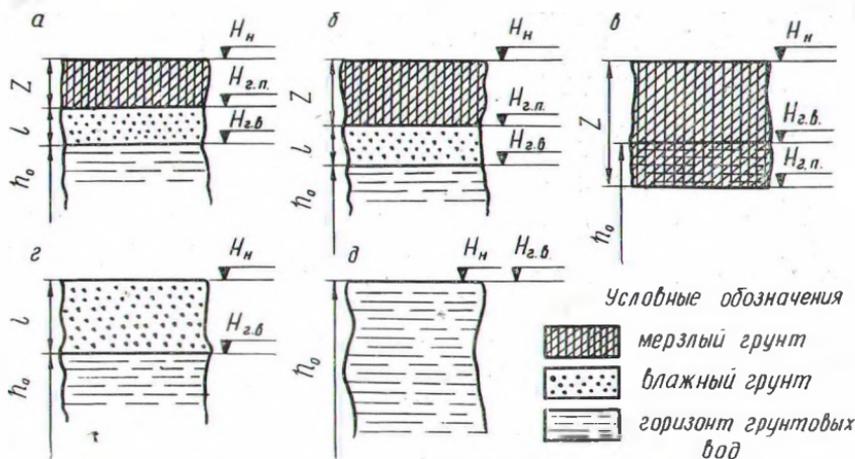


Рис. 2.3. Схемы для расчета минимально допустимой высоты земляного полотна.

T — продолжительность зимы для данного района, сутки;

Z — расчетная глубина промерзания грунта, см;

$\Omega_{зад}$ — заданный допустимый приток влаги.

Минимальное возвышение бровки земляного полотна над уровнем грунтовых вод для *третьего случая* можно определить из выражения

$$H = 2Z - H_{г.в.} + \frac{2KST}{Z\Omega_{зад}}, \quad (2.8)$$

где $H_{г.в.}$ — глубина залегания грунтовых вод, см.

По *четвертой расчетной схеме* минимальная высота земляного полотна над уровнем грунтовых вод определяется исходя из следующих предпосылок. При возведении земляного полотна на местности с высоким уровнем грунтовых вод возникает градиент влажности, который изменяется с изменением уровня грунтовых вод. Наличие градиента влажности обуславливает перемещение жидко- и парообразной влаги в вышележащие горизонты.

С учетом этих предпосылок и исследований проф. В. М. Сиденко получена формула для определения высоты насыпи

$$H = \frac{3a'_ж}{K} \left\{ \sqrt{(W_p - 0,5W_T)^2 + \frac{0,67K}{a'_ж} \left(0,4W_T + KT_p + \frac{K}{6a'_ж} \right)} - (W_p - 0,5W_T) \right\}, \quad (2.9)$$

где $a'_ж$ — коэффициент миграции двухфазовой влаги, изменяющейся в пределах $2,9 \cdot 10^{-5}$ — $8 \cdot 10^{-5}$ м/ч;

K — коэффициент фильтрации, м/ч;

W_p — расчетная влажность земляного полотна (0,55—0,70);

W_T — предел текучести;

T_p — длительность периода влагонакопления, принимаемая равной 4—5 месяцам.

Высота насыпи на болотах должна устанавливаться с учетом данных геологических обследований, типа болот, его глубины, водного режима торфяной залежи, типа дороги и наличия местных грунтов.

Для определения высоты насыпи на болотах П. А. Дроздом рекомендована формула

$$H = \frac{P\Delta}{E}, \quad (2.10)$$

где P — удельное давление, кг/см²;

Δ — осадка насыпи, см;

E — модуль деформации, кг/см².

Таким образом высота земляного полотна должна назначаться дифференцированно в зависимости от конкретных условий проектирования.

При решении задачи о выборе минимальной высоты земляного полотна необходимо правильно выбирать расчетную схему и использовать выведенные для этих расчетных схем соответствующие формулы.

2.4. Прогнозирование пучинообразования на дорогах

В земляном полотне автомобильных лесовозных дорог протекают сложные водно-тепловые процессы. В результате их в различных точках грунтового массива меняется количество влаги и состояние воды.

Одним из наиболее ощутимых проявлений водно-тепловых процессов можно считать пучины. Пучины являются следстви-

ем промерзания грунта и миграции влаги из нижних слоев в зону активного охлаждения.

Для определения величины пучения грунтов профессором Н. А. Пузаковым в зависимости от мощности и источника увлажнения выделены три расчетные схемы.

Первая расчетная схема соответствует сухой местности с обеспеченным стоком поверхностных вод.

Вторая — районам с достаточным количеством осадков или местам, где затруднен сток поверхностных вод.

Третья — местам, где имеется постоянный источник увлажнения, уровень грунтовых вод близок от поверхности, длительное стояние воды в канавах или резервах.

Для каждой расчетной схемы выведены формулы:

а) первая расчетная схема

$$H = 3,08K_2 \frac{\omega_0 - \omega_1}{\alpha_0} T; \quad (2.11)$$

б) вторая расчетная схема

$$H = 1,26 (\omega_{oc} - \omega_0) \sqrt{K_k T}; \quad (2.12)$$

в) третья расчетная схема

$$H = \frac{2,2K_k}{\alpha_0} (\omega_k - \omega_0) \left(2,3h \lg \frac{h}{h-Z} - Z \right), \quad (2.13)$$

где ω_0 — максимальная молекулярная влагоемкость грунта, в долях единицы;

ω_1 — влажность грунта, неспособная к передвижению, в долях единицы;

ω_k — капиллярная влагоемкость грунта, в долях единицы;

ω_{oc} — осенняя влажность грунта, в долях единицы;

K_2 — средний коэффициент влагопроводности, $см^2/сутки$;

K_k — коэффициент капиллярной влагопроводности, $см^2/сутки$;

$\alpha_0 = \frac{Z^2}{2T}$ — параметр, зависящий от физических свойств грунта и

климатических особенностей района, $см^2/сутки$;

T — время промерзания грунта, $сутки$;

h — глубина залегания грунтовых вод от поверхности дороги, $см$;

Z — наибольшая глубина промерзания, $см$.

Анализ формул показывает, что основную роль играют пучины на участках дорог, отнесенных к третьей схеме по увлажнению. Эти участки и должны быть положены в основу прогнозирования пучинообразования на дорогах.

Из формулы (2.13) не трудно заметить, что величина пучения зависит главным образом от уровня грунтовых вод и

глубины промерзания грунта. Уровень грунтовых вод для данных условий местности можно считать величиной постоянной. Глубина же промерзания грунта колеблется в значительных пределах. Для ее определения целесообразно использовать приведенный выше статистический метод [83].

Общая схема прогнозирования пучинообразования сводится к следующему [73]:

а) для дороги или отдельного ее участка устанавливается допускаемая величина пучения H_d ;

б) по соответствующей формуле (2.11—2.13) определяется значение глубины промерзания грунта Z , при которой может иметь место величина пучения H_d ;

в) зная глубину промерзания грунта и принимая по карте изолиний среднее ее значение $Z_{ср}$, вычисляется модульный коэффициент;

г) для рассматриваемого района по карте изолиний устанавливается значение коэффициента вариации C_v ;

д) по коэффициенту вариации и модульному коэффициенту определяется вероятность появления пучин заданной величины.

Предложенная методика позволяет определять величину пучения различной вероятности, т. е. прогнозировать пучинообразование, предвидеть эксплуатационные качества проектируемых дорог.

2.5. Определение ширины земляного полотна

Ширина земляного полотна является одним из главных параметров автомобильных лесовозных дорог. При ее расчете возникает необходимость устанавливать число полос движения, размеры проезжей части и обочин.

В первой главе были приведены данные, необходимые для решения вопроса о числе полос движения. Эти данные являются исходными и для определения ширины проезжей части, а также ширины земляного полотна.

Нами исследовались вопросы ширины проезжей части и земляного полотна автомобильных лесовозных дорог. В результате этого были определены ширина колесопроводов и расстояние между ними [28, 29], оптимальные размеры в плане дорог различного назначения [35], максимальная величина и форма уширения проезжей части при переходе автомобильного поезда с прямого участка на закругление или на разъезд [51] и некоторые другие величины [5].

Анализ параметров лесовозных дорог Финляндии приведен автором в работе [6], а ПНР — в работе [82].

2.6. Расчеты устойчивости откосов земляного полотна

Проектирование и строительство дорог связаны с определением устойчивости откосов. Имеется несколько методов расчета устойчивости откосов, однако они являются довольно громоздкими, требуют больших затрат времени, сложных графических построений и многочисленных вычислений. С целью упрощения практического метода расчета коэффициента устойчивости откосов нами разработан графический метод [58, 74]. В основу его положены следующие предпосылки:

а) предельное напряженное состояние характеризуется уравнением

$$\tau = C + \sigma \operatorname{tg} \varphi, \quad (2.14)$$

где τ — касательное напряжение, $\kappa\Gamma/\text{см}^2$;

C — удельная сила сцепления, $\kappa\Gamma/\text{см}^2$;

σ — нормальное напряжение, $\kappa\Gamma/\text{см}^2$;

φ — угол внутреннего трения;

б) сдвиг происходит по круглоцилиндрической поверхности скольжения.

В качестве дополнительных условий при разработке графического метода принято, что:

а) основание имеет угол внутреннего трения φ не ниже, чем грунт рассматриваемого откоса;

б) хорда, стягивающая кривую скольжения, расположена по отношению к откосу (рис. 2.4) под углом ψ , который определяется из выражения

$$\psi = \alpha - \varphi - \varepsilon, \quad (2.15)$$

где α — угол наклона откоса;

φ — угол внутреннего трения;

ε — угол, определяемый по формуле

$$\varepsilon = 0,5 \left(\alpha - 0,5\pi - \varphi + \operatorname{arcsin} \frac{\sin \alpha}{\sin \varphi} \right). \quad (2.16)$$

Используя указанные предпосылки и аналитические зависимости, были составлены номограммы. Одна из них приведена на рис. 2.5.

В первом квадранте номограммы показана зависимость длины кривой скольжения от высоты насыпи, коэффициента откоса и угла внутреннего трения $l=f(H, \varphi, m)$, во втором — зависимость центра тяжести призмы грунта сомнительной устойчивости от ряда параметров $y_A=f(l, \varphi, m)$ и в четвертом — зависимость $Q=f(\gamma, H, \varphi)$ (где Q — вес призмы грунта сомнительной устойчивости).

Определение коэффициента устойчивости откосов с помощью номограммы производится в следующем порядке.

По данным сдвиговых испытаний устанавливается угол внутреннего трения и коэффициент сцепления грунта. Затем переходят к определению других расчетных величин. По оси абсцисс откладывают высоту насыпи (например, рис. 2.5,

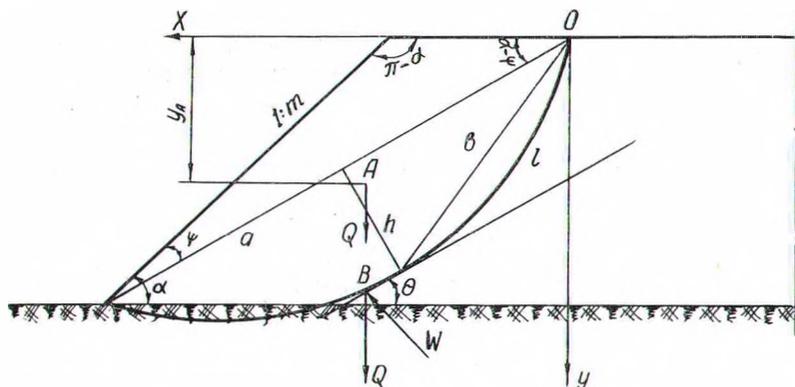


Рис. 2.4. Расчетная схема сечения склона для оценки коэффициента устойчивости откоса.

точка A) и проводят вертикаль до пересечения с наклонной линией, соответствующей принятому расчетному углу внутреннего трения. Проекция точки пересечения (B) на ось ординат даст значение длины l кривой скольжения (C). Далее проводится горизонталь во второй квадрант до пересечения с линией φ (точка D), проектируется D на ось абсцисс, определяется ордината центра тяжести (E). После этого необходимо возвратиться на ось абсцисс первого квадранта (A) и путем ортогонального проектирования на оси ординат четвертого квадранта найти вес грунта призмы сомнительной устойчивости (K).

Имея все исходные данные, вычисления производятся по формулам. Сопротивление грунта сдвигу

$$S = \frac{H}{2} \gamma \operatorname{tg} \varphi + C. \quad (2.17)$$

Полная сила сцепления грунта

$$C_{\max} = Cl. \quad (2.18)$$

Угол наклона касательной, проведенной через точку приложения равнодействующей сдвигающих сил

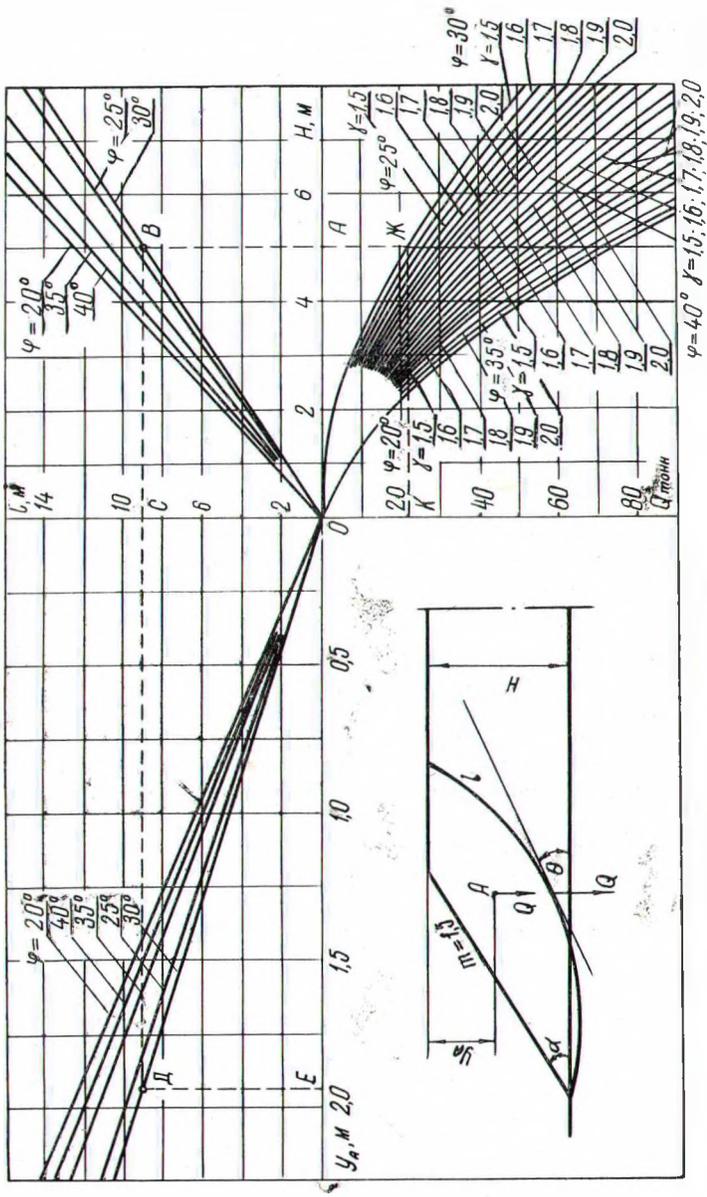


Рис. 2.5. Номограмма для определения коэффициента устойчивости откосов насыпи при $m=1,5$.

$$\operatorname{tg} \theta = \frac{Sl}{\gamma(l - 0,5Hm)y_A} \quad (2.19)$$

Коэффициент устойчивости откоса

$$K = 1 + \frac{\Phi}{\theta} + \frac{C_{\max}}{Q \sin \theta} \quad (2.20)$$

Данный способ определения коэффициента устойчивости приемлем для сухих откосов, т. е. при глубоком залегании уровня грунтовых вод.

При неглубоком залегании уровня грунтовых вод помимо веса грунта и сил бокового давления на грунт действуют гидродинамические силы.

С учетом гидродинамических сил коэффициент устойчивости откоса можно определить по следующей формуле:

$$K = \frac{\Phi}{\theta} + \frac{Cl + \gamma hl \operatorname{tg} \phi}{Q \sin \theta}, \quad (2.21)$$

где γ — объемный вес воды, $\kappa\Gamma/\text{м}^3$;
 h — пьезометрическая высота, м ;
 ϕ, θ, Q, C, l — то же, что и в вышеприведенных формулах данного параграфа.

Для определения Q, l, θ используются те же номограммы. Следовательно, предложенные номограммы являются универсальными. С их помощью можно определить устойчивость как нефилтрующих, так и филтрующих откосов.

2.7. Определение объема земляного полотна

При проектировании и строительстве лесовозных дорог важное значение отводится вопросам расчета объема земляного полотна, от которого во многом зависят объемы работ, технология строительства, трудозатраты и другие технико-экономические показатели.

Вычисление объема земляного полотна может производиться аналитически, по графикам и номограммам, по таблицам и при помощи счетно-решающих машин.

При вариантном проектировании и для оперативного контроля за ходом строительства наиболее удобно определять объем земляного полотна при помощи номограмм [9]. На рис. 2.6 представлена номограмма, которая позволяет производить вычисления объемов в широком диапазоне параметров земляного полотна. Порядок пользования номограммой состоит в следующем.

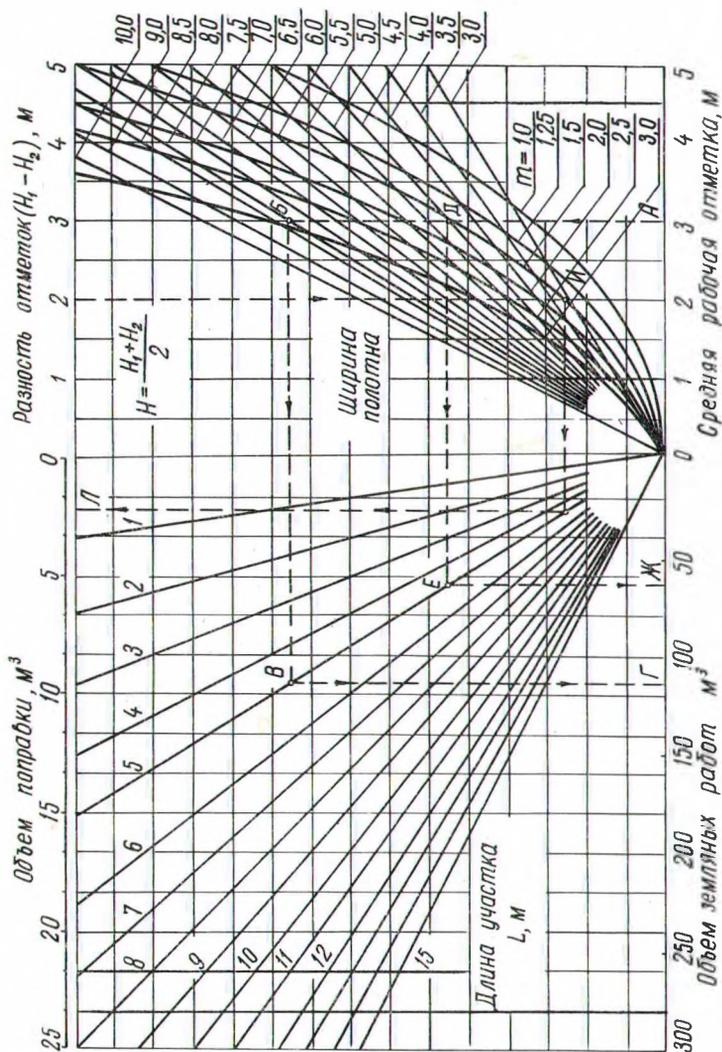


Рис. 2.6. Номограмма для определения объема земляного полотна.

По оси абсцисс первого квадранта откладывается рабочая отметка. Через нее проводится вертикаль, которая пересекает ряд прямых и кривых линий, характеризующих ширину земляного полотна и коэффициенты откосов. Через точки пересечения прямой с линиями, соответствующими расчетной ширине земляного полотна и коэффициенту откоса, проводятся горизонтали до встречи с прямой, соответствующей длине участка.

Полученные точки проектируются на горизонтальную ось. Здесь можно определить составные части объема.

Для определения поправки на оси абсцисс (вверху) откладывается разность отметок. Из полученной точки опускается вертикаль до встречи с кривой, характеризующей коэффициент откоса. Далее проводится горизонталь до пересечения с прямой. Точка пересечения проектируется вверх, и по горизонтальной оси определяется численное значение поправки.

Общий объем земляного полотна определится как сумма составных его частей

$$V = V_1 + V_2 + V_3. \quad (2.22)$$

Номограмма не учитывает водосливной призмы. Однако последняя на всем протяжении участка проектируемой дороги, как правило, имеет одинаковые размеры, и поэтому определение ее известными способами трудностей не представляет.

Раздел 3. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД

3.1. Особенности работы одежд автомобильных лесовозных дорог

Основным элементом автомобильной лесовозной дороги является дорожная одежда. Она в большей степени определяет качество проезжей части и работоспособность дороги, оказывает существенное влияние на стоимость строительства и эксплуатацию дорог. В зависимости от наличия строительных материалов, местных условий и конструктивных требований дорожная одежда может быть различных типов — однослойная и многослойная, жесткая и нежесткая, гравийная, щебеночная и др.

Условия работы одежд автомобильных лесовозных дорог во многом отличаются от условий работы одежд на дорогах общего пользования. Отличия и особенности работы дорожных одежд на лесовозных дорогах обусловлены технологией и организацией лесозаготовок, характером сил воздействия автомо-

бильных лесовозных поездов на дорогу, влажностным режимом и принципами конструирования дорог.

Известно, что многие лесовозные дороги имеют ограниченный период эксплуатации, а поэтому дорожные одежды должны быть запроектированы наиболее рационально, без всяких излишеств. Характерной для лесовозных автомобильных дорог является небольшая грузонапряженность, а следовательно, и интенсивность движения автомобилей. Однако это обстоятельство не дает возможности проектировать облегченные дорожные одежды. Лесовозные автомобильные поезда, имеющие значительный общий вес, при транспортировке лесных грузов, особенно хлыстов и деревьев с кронами, оказывают большое динамическое и истирающее воздействие на дорогу и требуют наличия прочной и износостойкой дорожной одежды.

Автомобильные лесовозные дороги выполняют, по существу, собирательные функции. Погрузочные пункты распределены по всей лесной площади, а поток грузов увеличивается по мере приближения дороги к пункту примыкания. Это обстоятельство позволяет на разных участках дорожной сети проектировать дорожные одежды различной толщины и ширины. А именно на магистралях устраивать более мощную дорожную одежду по толщине и при значительной интенсивности движения с шириною, равной ширине двухполосной проезжей части. На подъездных же путях дорожная одежда может быть облегченной конструкции и устраиваться в пределах одной полосы движения.

Работа автомобильного транспорта, обслуживающего лесозаготовительное предприятие, поддается четкой организации. Движение автомобильных поездов и автомобилей по дороге происходит в соответствии с оперативным планом организации производства. Между водителями и диспетчером легко может быть налажена постоянная двусторонняя радиосвязь. Организованность движения лесовозных автомобилей дает возможность применять в лесной промышленности дороги с однополосной проезжей частью, а скрещение и обгон автомобилей производить на разъездах, размещение которых и их число зависят от рельефа местности и интенсивности движения.

Работа лесозаготовительных предприятий чаще всего организуется на базе однотипных машин и механизмов. Однотипность подвижного состава, используемого для вывозки леса, в противоположность смешанному движению на дорогах общего пользования, дает возможность наряду со сплошными одеждami (покрытиями) автомобильных дорог принять колеиные покрытия, которые по сравнению со сплошными являются более экономичными и менее трудоемкими как в период строительства, так и в период их эксплуатации.

Односторонность грузопотока дает возможность использовать различные по конструкции и прочности полосы движения для грузового и порожнякового направления. Так, целый ряд автомобильных лесовозных дорог с железобетонным или цементным покрытием на полосе грузового движения имеет грунтовое покрытие на полосе, предназначенной для порожнякового движения.

Лесозаготовительные предприятия в большом количестве используют на различных фазах лесозаготовительного производства гусеничные машины — тракторы, экскаваторы, бульдозеры и др. Эти машины приходится часто пропускать по автомобильной дороге. Для большинства дорожных одежд и особенно для усовершенствованных гусеничный транспорт наносит большой вред. Одежды разрушаются, ломаются и т. д. Все это приводит к необходимости применять специальные методы защиты дорожных одежд от разрушения, предусматривать мероприятия, предотвращающие попадание гусеничных машин на проезжую часть автомобильной лесовозной дороги.

При расчете дорожных одежд особое внимание приходится уделять их водно-тепловому режиму, так как от величины влажности и температуры всецело зависит прочность и деформируемость дорожной одежды. Автомобильные лесовозные дороги, как правило, работают в условиях повышенной влажности, при высоких уровнях грунтовых вод и это обстоятельство не может не сказываться на их надежности и долговечности.

К конструктивным особенностям одежд автомобильных лесовозных дорог можно отнести колеиность, сборность, разборность, дифференцированность запаса прочности и некоторые другие.

Особенности работы одежд автомобильных лесовозных дорог нами были детально изучены и проанализированы. Результаты изучения были обобщены в различных изданиях [3, 5, 10, 12] и использованы при выполнении теоретических и экспериментальных исследований.

3.2. Напряжения и деформации дорожных одежд нежесткого типа

Под воздействием колес подвижного состава в дорожной одежде возникают различные по характеру и величине напряжения и деформации. Чтобы правильно проектировать дорожную одежду, необходимо знать законы распределения напряжений и деформаций, уметь определять численное их значение. Вопросы определения напряжений и деформаций относятся к теории прочности дорожных одежд.

Теории прочности нежестких дорожных одежд и метод расчета, применяемый в настоящее время в СССР, разработаны в СоюзДОРНИИ в 1943 г. под руководством Н. Н. Иванова.

В основу этой теории прочности и метода расчета положены следующие принципы:

1. Прочность одежд определяется предельной допустимой деформацией (осадкой), возникающей в результате воздействия на них повторных подвижных нагрузок.

2. Прочность отдельных слоев и одежды в целом характеризуется модулями деформации, исчисляемыми по экспериментальным кривым.

3. Для определения напряжений и деформаций (осадок) многослойная дорожная одежда приводится к эквивалентному ей по распределению однородному изотропному массиву. Распределение напряжений в таком однородном массиве принимается по формуле, подобной формуле Буссинеска для упругого полупространства с введением опытных коэффициентов

$$\sigma_z = \frac{\alpha p}{1 + a \left(\frac{z}{D} \right)^2}, \quad (3.1)$$

где α — коэффициент, характеризующий форму контактной поверхности: для круга $\alpha = 1$, для спаренных колес автомобиля $\alpha = 0,85$;

a — коэффициент, характеризующий свойства материала и зависящий от концентрации напряжений под штампом: для изотропной среды $a = 2,5$; для слоистых систем $a = 0,7-1,2$; для грунтов вследствие нелинейной зависимости между нагрузкой и деформацией $a = 1,5-2,0$;

p — удельное давление на контактной поверхности;

D — диаметр штампа;

z — координата.

4. В качестве расчетных формул принимаются:

а) для определения требуемого модуля деформации

$$E_{тр} = \frac{\mu \lambda p}{2\lambda} (0,5 + 0,65 \lg \gamma N_p), \quad (3.2)$$

где μ — коэффициент условий работы дорожной одежды;

λ — допустимая относительная деформация;

D — диаметр круга, равновеликого по площади отпечатку колеса;

γ — коэффициент, учитывающий повторяемость нагружения;

б) для определения эквивалентного модуля деформации

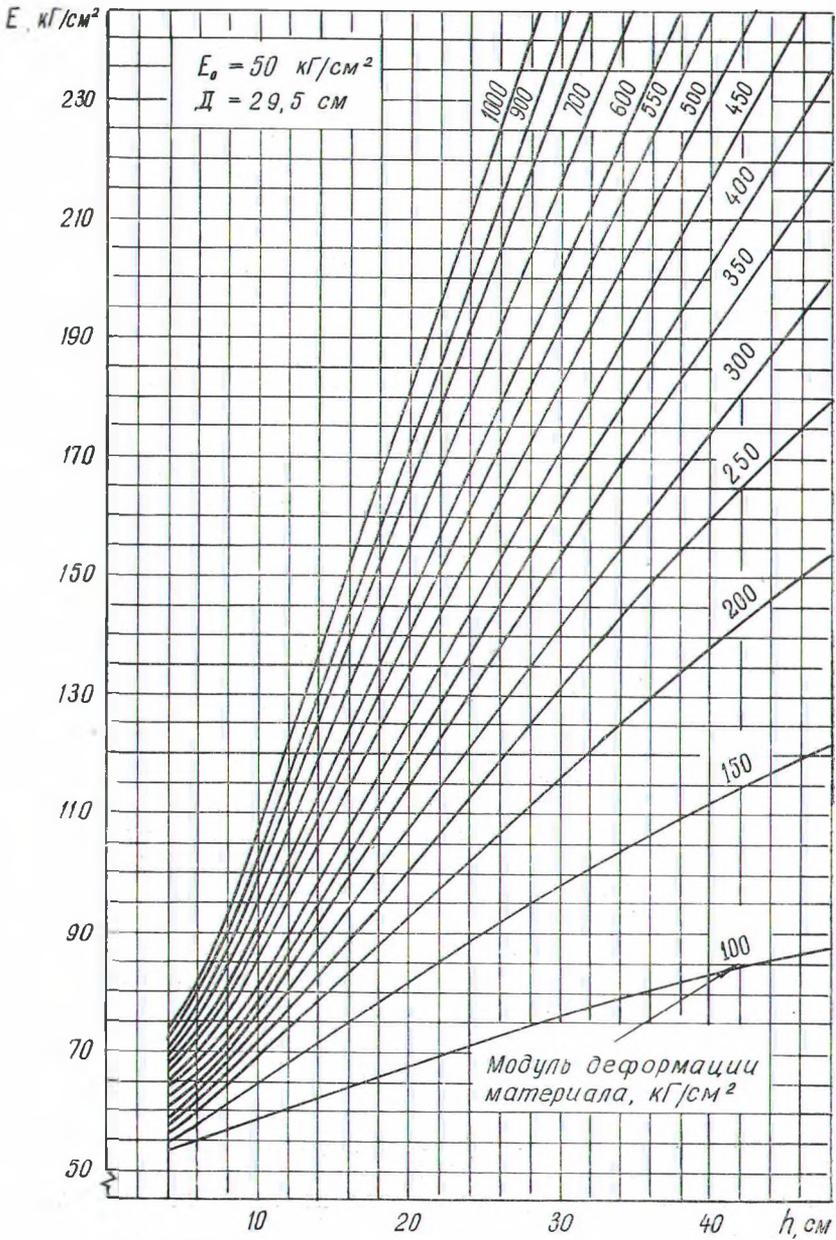


Рис. 3.1. Один из графиков для расчета дорожной одежды.

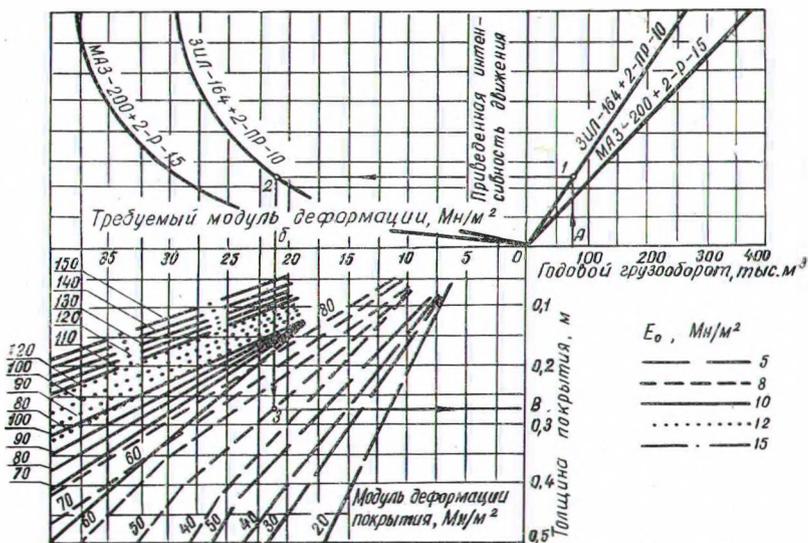


Рис. 3.2. Номограмма для расчета однослойной дорожной одежды.

$$E_{\text{экрв}} = \frac{E_0}{1 - \frac{\pi}{2} (1 - n^{-3.5}) \arctg \frac{h}{D} n}, \quad (3.3)$$

где E_0 — эквивалентный модуль деформации нижележащих слоев или модуль деформации грунта полотна дороги;

h — толщина рассматриваемого слоя дорожной одежды;

$n = \sqrt{E_1 E_0^{-1}}$ — коэффициент приведения;

E_1 — модуль деформации материала слоя.

Этот метод расчета дорожных одежд подвергался анализу и уточнению. Применительно к местным условиям нами уточнены расчетные значения модулей деформации, произведены вычисления 100 тыс. вариантов различных типов дорожных одежд, составлены расчетные графики [7, 12] (рис. 3.1) и номограмма (рис. 3.2 и 3.3).

В процессе анализа теории и метода СоюзДОРНИИ и дальнейших исследований работы нежестких дорожных одежд выяснилось, что в существующем методе расчета имеется ряд недостатков. В нем не учитывается динамическое воздействие автомобилей, влияние схемы колесных нагрузок, сдвиговые и

растягивающие напряжения, накопляемость деформаций и некоторые другие факторы.

В расчетах очень важно учитывать действие всех сил, которые приводят к разрушению дорожных одежд. Поэтому необходимы новые более совершенные методы расчета. Работы по созданию новых методов расчета дорожных одежд проводятся как в СССР, так и в других странах.

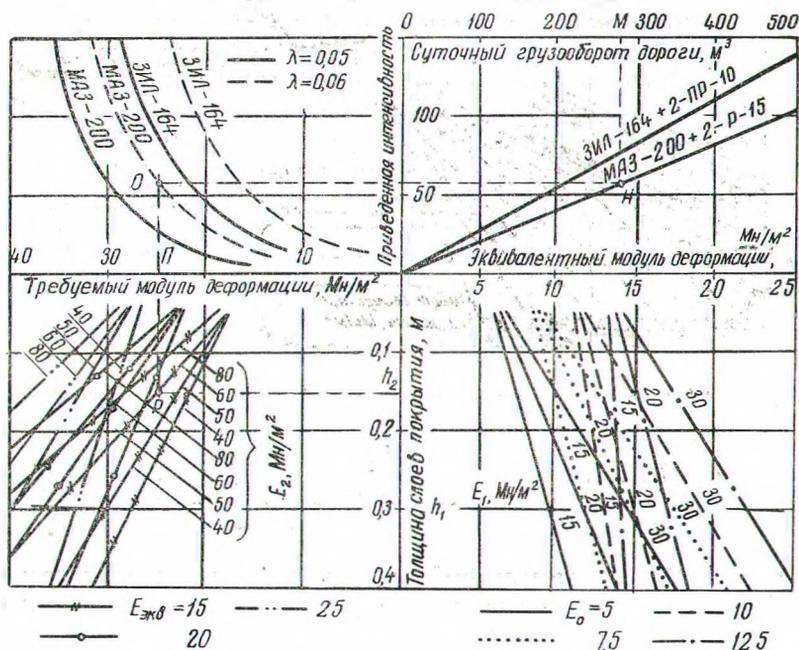


Рис. 3.3. Номограмма для расчета двухслойной дорожной одежды.

Сейчас уже не вызывает сомнений, что одежда с капитальными типами покрытий, к которым предъявляются повышенные требования в отношении ровности и долговечности, должна рассчитываться по теории упругости. Работа ее должна протекать в стадии обратимых деформаций в течение всего года. В качестве практических методов, приемлемых для расчета этих типов дорожных одежд, могут быть использованы метод М. Б. Корсунского, А. М. Кривисского, разработки А. К. Бируля, Б. И. Когана, В. М. Сиденко и др.

Дорожные одежды на лесовозных автомобильных дорогах могут иметь облегченную конструкцию. Под воздействием тяжелых автомобильных поездов в них могут накапливаться некоторые деформации, которые с течением времени способны

восстанавливаться. Исследованию напряженного состояния автомобильных лесовозных дорог, работающих в упруго-вязкой стадии, был посвящен ряд наших работ [13, 76, 80]. Основные результаты, полученные при этом, рассмотрены в параграфе 3.5.

3.3. Воздействие тяжелых и сверхтяжелых автомобилей на дорогу

Автомобили большой грузоподъемности по отношению к некоторым дорожным одеждам нежесткого типа следует рассматривать как тяжелые и сверхтяжелые. Современные тяжелые и сверхтяжелые автомобили имеют ряд конструктивных особенностей: большие осевые нагрузки, значительные параметры пневматических колес, многоосность, небольшие межосевые расстояния и др.

Эти особенности необходимо исследовать и учитывать при расчете дорожных одежд.

О степени влияния основных параметров тяжелых и сверхтяжелых автомобилей можно судить по следующим данным. Так, с изменением диаметра круга D , равновеликого отпечатку колеса, при постоянном значении удельного давления изменяется прогиб дорожной одежды W_0 , радиус кривизны прогиба ρ и относительная деформация ε_{\max} .

От величины D зависит также и допустимый относительный прогиб покрытия λ . При увеличении диаметра в 1,8 раза прогиб увеличивается в 5,5 раза, относительная деформация в 1,8 раза, а радиус кривизны уменьшается в 1,7 раза. При этом если фактический относительный прогиб $W_0 : D$ увеличивается в 2 раза, то допустимый прогиб уменьшается в 1,4 раза.

Величина диаметра отпечатка колеса оказывает влияние и на характер распределения напряжений в дорожной конструкции. С увеличением диаметра активная зона увеличивается.

Таким образом, для пропуска автомобилей с диаметром отпечатка колеса 60 см необходимо проектировать дорожную одежду почти в два раза большей толщины, чем под расчетный автомобиль Н-13, у которого D равен 34 см.

На напряженно-деформативное состояние дорожной одежды оказывает влияние расстояние между осями автомобиля или автомобильного поезда. Причем это влияние тем больше, чем больше осевая нагрузка, меньше расстояние между осями и большая жесткость покрытия.

Для определения реактивного давления под колесом с учетом влияния других колес автопоезда была выведена формула

$$P_0^n = P_0 \left(1 + \sum_{i=1}^n \frac{1}{1 + ar_i^2} \right), \quad (3.4)$$

где

$$P_0 = \frac{q}{1 + 1,85 \left(\frac{h_3}{D} \right)^2}; \quad a = \frac{4\pi}{D^2} \operatorname{arctg}^2 \frac{D}{h_3};$$

q — давление колеса на покрытие;

h_3 — эквивалентная толщина дорожной одежды;

r_i — расстояние от каждого колеса до точки, в которой определяется реактивное давление.

При выводе формулы использованы теоретические разработки и практический метод расчета дорожных одежд М. Б. Корсунского. Аналогичным способом была получена формула для определения прогиба покрытия с учетом влияния системы колес

$$W_0^n = W_0 \left(1 + \sum_{i=1}^n \frac{1}{1 + Kr_i^2} \right), \quad (3.5)$$

где

$$W_0 = \frac{1,43qD}{E_0} \left(1 - \frac{2}{\pi} \operatorname{arctg}^2 \frac{h_3}{D} \right);$$

$$K = \frac{0,67}{R^2} \operatorname{arctg} \frac{D}{h_3};$$

R — радиус отпечатка колеса.

Прогиб под колесом, полученный с учетом влияния соседних колес, можно представить как результат действия новых параметров колес q^n и D^n , т. е.

$$W_0^n = \frac{1,43q^n D^n}{E_0^n} \left(1 - \frac{2}{\pi} \operatorname{arctg} \frac{h_3^n}{D^n} \right), \quad (3.6)$$

а давление колес на покрытие в виде

$$q^n = \left[1 + 1,85 \left(\frac{h_3^n}{D^n} \right)^2 \right] \left[P_0 \left(1 + \sum_{i=1}^n \frac{1}{1 + ar_i^2} \right) \right]. \quad (3.7)$$

По данным уравнениям (3.6) и (3.7) в прямоугольных координатах строятся кривые. Точка пересечения кривых дает значения q^n и D^n .

Для нахождения максимальных напряжений в любой точке покрытия при действии нескольких колес нами совместно с Л. А. Федоровым и другими получена формула

$$\sigma_{\max} = \frac{\varepsilon_{\max} E_1}{1 - \mu_1} \left\{ \frac{1 - Kr^2}{(1 + Kr^2)^3} + \frac{1 - Kr_1^2}{(1 + Kr_1^2)^3} \right\} + \frac{2K\varepsilon_{\max} E_1}{1 + \mu_1} \times \quad (3.8)$$

$$\times \sqrt{\left\{ \frac{r^2 \cos 2\theta}{(1 + Kr^2)^3} + \frac{r_1^2 \cos 2\theta_1}{(1 + Kr_1^2)^3} \right\}^2 + \left\{ \frac{r^2 \sin 2\theta}{(1 + Kr^2)^3} + \frac{r_1^2 \sin 2\theta_1}{(1 + Kr_1^2)^3} \right\}^2}.$$

Анализ формулы показывает, что под воздействием системы колес напряжение в дорожном покрытии значительно превосходит напряжения, возникающие в результате действия обособленного колеса.

Отмеченные выше конструктивные особенности тяжелых и сверхтяжелых автомобилей приводят к значительному увеличению времени воздействия автомобиля на дорожную одежду при одном и том же времени контакта колеса с дорогой. Это происходит в результате того, что напряжения и деформации распространяются в зоне, которая значительно превышает зону контакта колеса с дорогой.

Время воздействия автомобилей на дорогу можно определить теоретически, если известна зона распространения напряжений (и деформации) и скорость их распространения. Эту задачу можно решить и на основании экспериментальных исследований, по осциллограммам.

Для исследования работы дорожных одежд под воздействием тяжелых и сверхтяжелых автомобилей сотрудниками Белорусского технологического института им. С. М. Кирова на протяжении ряда лет проводятся экспериментальные исследования. В этих целях используется грунтовый канал, построена опытная дорога, создан комплекс необходимых приборов и приспособлений. Для определения напряжений и относительных деформаций используются тензодатчики. Давление измеряется месдозами конструкции Д. С. Баранова.

Анализ осциллограмм показывает, что под воздействием тяжелых и сверхтяжелых автомобилей покрытие между приложениями осевых нагрузок работает почти без «отдыха».

С увеличением времени воздействия и частоты приложения нагрузок деформации накапливаются и могут привести к образованию трещин и разрушению покрытия.

Спецификой большегрузных автомобилей являются их предельные габариты. Поток малогабаритных автомобилей обычно рассеивается. По исследованиям проф. В. Ф. Бабкова только пятая часть всех автомобилей движется по полосе наката. Сверхтяжелые же автомобили, имеющие значительные габариты, движутся, как правило, по одному следу и тем самым увеличивается агрессивность воздействия на дорожную одежду.

Не меньшее значение для исследования работы дорожных одежд под воздействием тяжелых и сверхтяжелых автомобилей имеют вопросы динамики. Большие массы, особенности развесовки, специальные типы подвески часто приводят к росту коэффициента динамичности.

Исследования показывают, что значения коэффициента динамичности для тяжелых и сверхтяжелых автомобилей варьируют в широких пределах и достигают двух.

Таким образом, особенности тяжелых и сверхтяжелых автомобилей, которые все в большей степени появляются на лесовозных дорогах страны, приводят к более сложным условиям работы дорожных одежд и это необходимо учитывать при проектировании новых дорог и реконструкции существующих.

3.4. Напряжения и деформации жестких дорожных покрытий

К жестким относятся покрытия автомобильных лесовозных дорог, у которых жесткость отдельных конструктивных слоев и подстилающего грунта отличается друг от друга более чем в 30 раз. Этим требованиям удовлетворяют деревянно-лежневые, железобетонные и некоторые другие используемые в лесной промышленности покрытия.

Для проектирования жестких дорожных покрытий необходимы обоснованные критерии прочности и устойчивости конструкции, надежные методы их расчета. В целях выбора критериев прочности и разработки методов расчета жестких дорожных покрытий нами проведен ряд теоретических исследований [5, 21, 25]. В частности, была исследована работа лежневого покрытия, уложенного на сплошном упругом основании [16] и на отдельных упругих опорах [21].

Для расчета колесопроводов, уложенных на грунт, были выведены формулы просадок

$$y_x = y_0 A_x + \frac{\theta_0}{K} B_x + \frac{4K}{cb} \Sigma P D_{x-a_i}; \quad (3.9)$$

изгибающих моментов

$$M_x = -\frac{1}{K} \Sigma P B_{c-a_i} + \frac{cby_0}{K^2} C_x + \frac{cb\theta_0}{K^3} D_x; \quad (3.10)$$

поперечных сил

$$Q_x = -\Sigma P A_{x-a_i} + \frac{cby_0}{K} B_x + \frac{cb\theta_0}{K^2} C_x, \quad (3.11)$$

где a_i — расстояние от начала координат до места приложения силы P_i ;
 y_0 — просадка колесопровода в начале координат;
 θ_0 — угол поворота в начале координат;
 K — коэффициент относительной жесткости покрытия и основания, $см^{-1}$;
 C — коэффициент пропорциональности, $кг/см^3$;
 b — ширина покрытия, $см$;
 A_x, B_x, C_x, D_x — фундаментальные функции акад. А. Н. Крылова.

Для расчета колесопроводов, уложенных на шпалы, были обоснованы расчетные схемы и выведены необходимые уравнения для их решения. Уравнения линий влияния изгибающего момента для случая трехпролетной балки получены в виде: первый пролет

$$\begin{aligned} x < \varepsilon & \quad M(x, \varepsilon) = R_0(\varepsilon) x, \\ x > \varepsilon & \quad M(x, \varepsilon) = R_0(\varepsilon) x - (x - \varepsilon); \end{aligned} \quad (3.12)$$

второй пролет

$$\begin{aligned} x < \varepsilon & \quad M(x, \varepsilon) = R_0(\varepsilon) x + R_1(\varepsilon)(x - l), \\ x > \varepsilon & \quad M(x, \varepsilon) = R_0(\varepsilon) x + R_1(\varepsilon)(x - l) - (x - \varepsilon); \end{aligned} \quad (3.13)$$

третий пролет

$$\begin{aligned} x < \varepsilon & \quad M(x, \varepsilon) = R_0(\varepsilon) x + R_1(\varepsilon)(x - l) + R_2(\varepsilon)(x - 2l), \\ x > \varepsilon & \quad M(x, \varepsilon) = R_0(\varepsilon) x + R_1(\varepsilon)(x - l) + R_2(\varepsilon)(x - 2l) - (x - \varepsilon), \end{aligned} \quad (3.14)$$

где R_0, R_1, R_2 — реакция опор;
 l — величина пролета;
 x — текущая координата;
 ε — отношение $\frac{x}{l}$.

Аналогичные уравнения были получены для других расчетных характеристик.

Теоретические исследования напряжений и деформаций лежневых покрытий позволили разработать методику расчета, установить значение коэффициента динамического воздействия автомобилей на дорогу, составить ряд вспомогательных графиков и номограмм.

Особое внимание было уделено нами исследованию железобетонных колеиных покрытий. Исследования ставили своей целью выбрать наиболее правильные расчетные схемы, доказать границы применимости основных положений теорий рас-

чета балок и плит на упругом основании, содержащихся в работах Б. Г. Коренева, А. Н. Крылова, М. И. Горбунова-Посадова, Б. Н. Жемочкина, В. И. Кузнецова, А. И. Симвулиди, О. Я. Шехтер и других ученых, дать рекомендации по назначению оптимальных параметров дорожных плит.

В результате выполненных работ было установлено, что для расчета железобетонных плит наиболее целесообразно использовать метод М. И. Горбунова-Посадова, но при этом потребовались дополнительные исследования, которые и были нами выполнены [5].

Исследования позволили разработать ряд конструкций как с обычным способом армирования, так и с предварительно напряженной арматурой [25], доказать возможность и экономическую целесообразность применения аглопорита в качестве крупного заполнителя бетона для производства дорожных плит. Кроме того, были даны некоторые рекомендации по проектированию стыков [10] и поперечного сечения дороги с железобетонным покрытием [12].

3.5. Применение теории упруго-вязкого основания к расчету дорожных одежд

В зависимости от вида материала, влажности, температуры и других физических свойств дорожные конструкции под воздействием внешней нагрузки ведут себя по-разному. В одних случаях их работа протекает в пределах упругих деформаций. Это имеет место тогда, когда дорожная конструкция обладает достаточным запасом прочности, а нагрузка имеет сравнительно небольшую величину. В других — дорога находится в таком состоянии, что под воздействием колес подвижного состава она деформируется не мгновенно, а постепенно, деформации растут во времени и зависят не только от величины внешней нагрузки, но и от продолжительности ее приложения. Можно сказать, что в этом случае в дорожной конструкции протекают упруго-вязкие деформации.

Бывает и такое состояние проезжей части, когда под действием колес подвижного состава в покрытии возникают и накапливаются пластические необратимые деформации.

Работа конструкций в упругой стадии исследована достаточно полно. На основании исследований разработана стройная теория упругости, которая широко применяется для решения многих практических задач, включая задачи расчета прочности капитальных и усовершенствованных одежд автомобильных дорог.

Пластические деформации могут иметь место при движении автомобилей по целине, естественным грунтам, а также

по временным автомобильным дорогам. С точки зрения дорожной практики этот случай является предельным и не может быть положен в основу расчета дорог на прочность.

Упруго-вязкие деформации являются наиболее распространенными в дорожных конструкциях, построенных с применением различных упруго-вязких материалов. Нами установлено [76], что упруго-вязкие деформации удовлетворяют решению линеализированной системы уравнений Навье-Стокса-Ламе, описывающей смещение точек упруго-вязкого тела при малых деформациях и имеющей вид

$$\begin{aligned} B \frac{\partial v}{\partial x} + D \frac{\partial^2 v}{\partial x \partial t} + \eta \Delta u + \gamma \Delta \left(\frac{\partial u}{\partial t} \right) + \rho F_x &= \rho \frac{\partial^2 u}{\partial t^2}, \\ B \frac{\partial v}{\partial y} + D \frac{\partial^2 v}{\partial y \partial t} + \eta \Delta v + \gamma \Delta \left(\frac{\partial v}{\partial t} \right) + \rho F_y &= \rho \frac{\partial^2 v}{\partial t^2}, \\ B \frac{\partial v}{\partial z} + D \frac{\partial^2 v}{\partial z \partial t} + \eta \Delta w + \gamma \Delta \left(\frac{\partial w}{\partial t} \right) + \rho F_z &= \rho \frac{\partial^2 w}{\partial t^2}, \end{aligned} \quad (3.15)$$

где B — коэффициент, характеризующий упругие свойства материала в направлении действия главных напряжений;

D — коэффициент, характеризующий вязкие свойства материала в направлении действия главных напряжений;

η, γ — коэффициенты вязкости;

ρ — плотность материала;

u, v, w — проекция вектора перемещения (просадки) на координатные оси соответственно;

$v = \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z}$ — дивергенция перемещения;

$\Delta = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}$ — оператор Лапласа.

Система (3.15) охватывает довольно общий случай, когда имеют место перемещения вдоль всех координатных осей, а нагрузка представлена в виде функции $P(x, y, t) = A \sin \frac{\pi}{2T} t$ (A —const).

Решение системы получено в виде формулы

$$\begin{aligned} \omega(x, y, z, t) = \frac{32}{\rho \pi^2} \sum_{k=0}^{\infty} \sum_{m=0}^{\infty} \sum_{n=0}^{\infty} \left[\frac{A}{H} I_{kmn}(t) + \right. \\ \left. + (-1)^n \frac{2K_z}{(2n+1)\pi} J_{kmn}(t) \right] \times \end{aligned}$$

$$\times \frac{\sin \frac{(2k+1)}{2l} \pi (l+x) \sin \frac{(2m+1)}{2l} \pi (l+y) \cos \frac{(2n+1)}{2H} \pi z}{(2k+1)(2m+1)},$$

где

$$I_{kmn}(t) = \frac{4T^2 \left\{ [4T^2 (\bar{P}_{kmn}^2 + \bar{q}_{kmn}^2) - \pi^2] \sin \frac{\pi}{2T} t + 4\pi T \bar{P}_{kmn} \cos \frac{\pi}{2T} t \right\}}{16T^4 \bar{P}_{kmn}^4 + 8T^2 (\pi^2 + 4T^2 \bar{q}_{kmn}^2) \bar{P}_{kmn}^2 + (\pi^2 - 4T^2 \bar{q}_{kmn}^2)^2} +$$

$$+ \left\{ 2\pi T \{ [\bar{P}_{kmn}^2 - \bar{q}_{kmn}^2] 4T^2 + \pi^2 \} \sin \bar{q}_{kmn} t + \right.$$

$$\left. + 8T^2 \bar{P}_{kmn} \bar{q}_{kmn} \cos \bar{q}_{kmn} t \right\} e^{-\bar{P}_{kmn} t} \times$$

$$\times \left\{ \bar{q}_{kmn} [16T^4 \bar{P}_{kmn}^2 + 8T^2 (\pi^2 + 4T^2 \bar{q}_{kmn}^2) \bar{P}_{kmn}^2 + (\pi^2 - 4T^2 \bar{q}_{kmn}^2)^2] \right\}^{-1},$$

если $\Delta_{kmn} < 0$;

$$I_{kmn}(t) = \frac{4T^2 \left\{ [4T^2 (\bar{P}_{kmn}^2 - \bar{S}_{kmn}^2) - \pi^2] \sin \frac{\pi}{2T} t - 4\pi T \cos \frac{\pi}{2T} t \right\}}{\pi^4 + 8\pi^2 T^2 (\bar{P}_{kmn}^2 + \bar{S}_{kmn}^2) + 16T^4 (\bar{P}_{kmn}^2 - \bar{S}_{kmn}^2)^2} +$$

$$+ \left\{ 2\pi T \{ [\pi^2 + 4T^2 (\bar{P}_{kmn}^2 + \bar{S}_{kmn}^2)] \operatorname{sh} \bar{S}_{kmn} t + \right.$$

$$\left. + 8T^2 \bar{P}_{kmn} \bar{S}_{kmn} \operatorname{ch} \bar{S}_{kmn} t \right\} e^{-\bar{P}_{kmn} t} \times$$

$$\times \left\{ \bar{S}_{kmn} [\pi^4 + 8\pi^2 T^2 (\bar{P}_{kmn}^2 + \bar{S}_{kmn}^2) + 16T^4 (\bar{P}_{kmn}^2 - \bar{S}_{kmn}^2)^2] \right\}^{-1},$$

если $\Delta_{kmn} > 0$;

$$J_{kmn}(t) = \frac{1}{q_{kmn} (\bar{P}_{kmn}^2 + \bar{q}_{kmn}^2)} [\bar{q}_{kmn} - e^{-\bar{P}_{kmn} t} (\bar{P}_{kmn} \sin \bar{q}_{kmn} t +$$

$$+ \bar{q}_{kmn} \cos \bar{q}_{kmn} t)], \quad \text{если } \Delta_{kmn} < 0;$$

$$J_{kmn}(t) = \frac{1}{\bar{S}_{kmn} (\bar{P}_{kmn}^2 - \bar{S}_{kmn}^2)} [\bar{S}_{kmn} - e^{-\bar{P}_{kmn} t} (\bar{P}_{kmn} \operatorname{sh} \bar{S}_{kmn} t +$$

$$+ \bar{S}_{kmn} \operatorname{ch} \bar{S}_{kmn} t)], \quad \text{если } \Delta_{kmn} > 0.$$

Причем значения отдельных параметров определяются по формулам:

$$\bar{P}_{kmn} = \frac{\gamma\pi^2}{8\rho} \bar{R}_{kmn};$$

$$\bar{S}_{kmn} = \frac{\pi}{8\rho} \sqrt{(\pi^2\gamma^2\bar{R}_{kmn} - 16B\rho) \bar{R}_{kmn}};$$

$$\bar{q}_{kmn} = \frac{\pi}{8\rho} \sqrt{(16B\rho - \pi^2\gamma^2\bar{R}_{kmn}) \bar{R}_{kmn}};$$

$$\bar{R}_{kmn} = \left(\frac{2k+1}{l}\right)^2 + \left(\frac{2m+1}{l}\right)^2 + \left(\frac{2n+1}{l}\right)^2;$$

$$\Delta_{kmn} = \pi^2\gamma^2\bar{R}_{kmn} - 16B\rho;$$

$$k = 0, 1, 2, \dots; \quad m = 0, 1, 2, \dots; \quad n = 0, 1, 2, \dots$$

Используя формулу (3.16), можно определить просадки (перемещения) в любой точке рассматриваемой упруго-вязкой среды.

В качестве механической модели упруго-вязкого слоя дорожной одежды может быть принята также модель типичного тела. Исходя из этой модели, закон деформирования имеет вид

$$\gamma \frac{\partial^2 u}{\partial z \partial t} = -a \frac{\partial u}{\partial z} + b \frac{\partial v}{\partial t} + v. \quad (3.17)$$

Для разрешимости уравнения (3.17) мы прибавили уравнения перемещения частиц. В итоге получили систему

$$\gamma \frac{\partial^2 u}{\partial z \partial t} = -a \frac{\partial u}{\partial z} + b \frac{\partial v}{\partial t} + v, \quad (3.18)$$

$$\rho \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = \frac{\partial v}{\partial z},$$

где $\frac{\partial u}{\partial z}$ — деформация;

$v(z, t)$ — напряжение;

E — мгновенный модуль упругости;

H — длительный модуль упругости;

n — время релаксации.

Далее было предположено, что дорожная одежда аппроксимирована в виде однородного слоя ограниченных размеров, который загружается нормальным давлением $v(z, t)$, изменяющимся во времени.

Начальные условия при сделанных предположениях имеют вид

$$u(z, t)|_{t=0} = 0; \quad v(z, t)|_{t=0} = 0; \quad \frac{\partial u}{\partial t} \Big|_{t=0} = 0, \quad (3.19)$$

граничные условия

$$v(z, t)|_{z=0} = \frac{4A}{T} t \left(1 - \frac{t}{T} \right) = \alpha(t);$$

$$v(z, t)|_{z=H} = \frac{4B}{T} \left(1 - \frac{t}{T} \right) t = \beta(t). \quad (3.20)$$

Для решения системы (3.18) в частных производных с начальными условиями (3.19) и граничными (3.20) применяли преобразование Лапласа. В результате получили систему уравнений в полных производных с граничными условиями. Решив эти обычные дифференциальные уравнения и произведя обратное преобразование Лапласа, получили формулы для расчета деформации и напряжения в виде

$$\begin{aligned} \varepsilon = \frac{\partial u(z, t)}{\partial z} = & \frac{4B}{\rho T} \sum_{j=1}^3 \sum_{k=0}^{\infty} \frac{\omega_{jk}^2 e^{\lambda j k t} sh \omega_{jk} z}{4\lambda_{jk}^3 sh \omega_{jk} H - iH \omega_{jk} \lambda^4 ch \omega_{jk} H} - \\ & - \frac{8B}{\rho T^2} \sum_{j=1}^3 \sum_{k=0}^{\infty} \frac{\omega_{jk}^2 e^{\lambda j k t} sh \omega_{jk} z}{5\lambda_{jk}^4 sh \omega_{jk} H - iH \omega_{jk} \lambda^5 ch \omega_{jk} H} + \\ & + \frac{4A}{\rho T} \sum_{j=1}^3 \sum_{k=0}^{\infty} \frac{\omega_{jk}^2 e^{\lambda j k t} sh \omega_{jk} (H - z)}{4\lambda_{jk}^3 sh \omega_{jk} H - iH \omega_{jk} \lambda^4 ch \omega_{jk} H} - \\ & - \frac{8A}{\rho T^2} \sum_{j=1}^3 \sum_{k=0}^{\infty} \frac{\omega_{jk}^2 e^{\lambda j k t} sh \omega_{jk} (H - z)}{5\lambda_{jk}^4 sh \omega_{jk} H - iH \omega_{jk} \lambda^5 ch \omega_{jk} H}; \quad (3.21) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma = & \frac{4Btz}{HT} + \frac{4At(H-z)}{HT} - \frac{4Bt^2z}{HT^2} - \frac{4At^2(H-z)}{HT^2} + \\ & + \left(\frac{4B}{T} - \frac{8B}{T^2} \right) \sum_{j=1}^3 \sum_{k=0}^{\infty} \frac{e^{\lambda j k t} sh \omega_{jk} z}{2\lambda_{jk} sh \omega_{jk} H - iH \omega_{jk} \lambda^2 ch \omega_{jk} H} - \\ & - \left(\frac{4A}{T} - \frac{8A}{T^2} \right) \sum_{j=1}^3 \sum_{k=0}^{\infty} \frac{e^{\lambda j k t} sh \omega_{jk} (H - z)}{2\lambda_{jk} sh \omega_{jk} H - \omega_{jk} \lambda^2 iH ch \omega_{jk} H}. \quad (3.22) \end{aligned}$$

Для расчета деформации упруго-вязкого полупространства, аппроксимированного в виде модели типичного тела, была

применена задача Буссинеска. Эта задача решена двумя методами:

- а) путем последовательных математических действий;
- б) путем вязко-упругой аналогии.

В обоих случаях получены сходственные результаты.

Максимальное значение просадок на поверхности упруго-вязкого полупространства имеет вид:

$$W_{\max} = \frac{(1 - \mu^2) q_0 R}{E} \left[(1 - \cos \omega t) + \frac{E - H}{H} (1 - e^{-\frac{Ht}{En}}) + \right. \\ \left. + \frac{E - H}{H^2 + E^2 n^2 \omega^2} (H e^{-\frac{Ht}{En}} - H \cos \omega t - E \omega n \sin \omega t) \right], \quad (3.23)$$

где E , H — мгновенный и длительный модули упругости;

n — время релаксации;

q_0 — удельное давление на площадке;

R — радиус круга, равновеликого по площади отпечатку колеса.

С помощью ЭВМ произведены вычисления просадок при широком диапазоне входящих в формулу (3.23) величин. Эти вычисления показывают, что с увеличением площади воздействия внешней нагрузки деформации увеличиваются. При увеличении мгновенного и длительного модулей упругости вязкие деформации накапливаются во времени значительно медленнее. И наоборот, если мгновенный и длительный модули упругости материала небольшие, то вязкие деформации нарастают более интенсивно.

Мгновенный модуль упругости E в значительной степени влияет на накопление вязких деформаций. Причем если E имеет большое значение, то изменение его величины мало сказывается на величину накопления вязких деформаций. При малых же модулях E , которые характерны для слабых грунтов, незначительное изменение модуля упругости очень сильно влияет на накопление вязких деформаций. Эта же закономерность наблюдается и при изменении длительного модуля упругости.

Если же положить мгновенный модуль упругости постоянным и рассматривать накопления суммарных деформаций в зависимости от изменения длительного модуля упругости, то в начальный момент времени суммарные деформации накапливаются более интенсивно. С увеличением времени они асимптотически стремятся к своему предельному значению

$$W|_{t \rightarrow \infty} = \frac{(1 - \mu^2) q_0 R}{E} \left[2 + \frac{E - H}{H} + \frac{(E - H) H}{H^2 + E^2 n^2 \omega^2} \right]. \quad (3.24)$$

Время релаксации также влияет на величину деформации. С увеличением времени релаксации упруго-вязкие деформации значительно уменьшаются. Вот почему для материалов с большим временем релаксации накопление вязких деформаций происходит очень медленно.

Кроме указанных нами [13], были исследованы зависимости деформаций от соотношения H/E , времени воздействия нагрузки и других факторов. Все это позволило определить степень влияния различных реологических характеристик материала и сформулировать требования к тем или другим конструкциям дорожных одежд.

Раздел 4. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД

4.1. Задачи экспериментальных исследований

Развитие дорожного дела в СССР, характеризующееся внедрением новых материалов, усовершенствованием методов проектирования и улучшением технологии строительства, выдвигает необходимость расширения экспериментальных исследований и повышения эффективности этих исследований при разработке прочных и устойчивых конструкций дорожных одежд, наиболее полно отвечающих местным условиям и эксплуатационным требованиям.

Задачи экспериментальных исследований дорожных одежд очень большие и разнообразны. Они охватывают вопросы:

- определения физико-механических свойств дорожно-строительных материалов;
- измерения деформации и напряжения в отдельных конструктивных слоях одежды и в ее основании;
- выяснения характера и величины нагрузок, передаваемых колесами подвижного состава на покрытие;
- определения прочности и износостойкости дорожных одежд в различных условиях эксплуатации;
- измерения эксплуатационных качеств дорожных одежд и т. д.

В ряде институтов страны (СоюзДОРНИИ, ЦНИИМЭ, МАДИ, ХАДИ и др.) уже многие годы ведутся экспериментальные исследования дорожных одежд. Они позволили накопить богатый опытный материал, получить ценные результаты, уточняющие теоретические предпосылки и позволяющие осуществлять проектирование и строительство современных автомобильных дорог.

Проведенные исследования, однако, не исчерпывают указанной проблемы. Увеличение автомобильных перевозок, еже-

годный рост интенсивности движения и существующая тенденция выпуска большегрузных автомобилей выдвигают более высокие требования к дорогам, к их прочностным и эксплуатационным качествам.

С учетом этих требований нами и были сформулированы задачи экспериментальных исследований одежд автомобильных лесовозных дорог [42, 43]. Суть их сводилась к определению:

а) прочностных характеристик дорожных конструкций, построенных на канале и в полевых условиях;

б) величины напряжений и просадок в однородном грунтовом массиве в зависимости от величины внешней нагрузки и скорости ее приложения;

в) характера и величины напряжений и деформаций различных типов и конструкций дорожных одежд;

г) деформаций и напряжений дорожных одежд под воздействием движущихся автомобилей.

Для постановки экспериментов потребовалась специальная лабораторная база. Эта лабораторная база нами была создана. Применительно к лабораторной базе была разработана методика экспериментов, в основу которой положены новейшие способы измерения деформаций и напряжений, современные требования метрологии.

4. 2. Стендовые испытания дорожных одежд

Организация испытаний действующих автомобильных лесовозных дорог является весьма сложной и трудоемкой. Кроме того, при испытании одежд на действующих дорогах очень трудно учесть влияние множества различных факторов. Все это приводит к необходимости расширить исследования дорожных конструкций на стендовых установках, опытных полигонах и моделях.

Для проведения стендовых испытаний дорожных одежд в лаборатории кафедры сухопутного транспорта леса и дорожных машин Белорусского технологического института им. С. М. Кирова построена экспериментальная установка [55, 64, 69]. Эта установка (рис. 4.1) включает грунтовый канал, автоматизированную самоходную тележку, аппаратуру для измерений и регистрации напряжений и деформаций, серию контрольно-измерительных приборов (рис. 4.2).

Грунтовый канал выполнен из железобетона. Длина его 20 м, ширина 2,8 м, глубина 1,5 м. Для подачи воды в канал проложена гидросистема, а для регулирования уровня воды в канале — дренажная система. Тележка может работать в трех режимах движения — автоматическом, полуавтоматическом и

наладочном. Движение тележки реверсивное. Бесступенчатое регулирование скорости может осуществляться в пределах 0,2—5,0 м/сек. Нагрузка на покрытие может изменяться в пределах от 0 до 4 т. Изменение достигается с помощью гидросистемы.

Для измерения характерных параметров дорожных конструкций разработана и изготовлена необходимая измеритель-

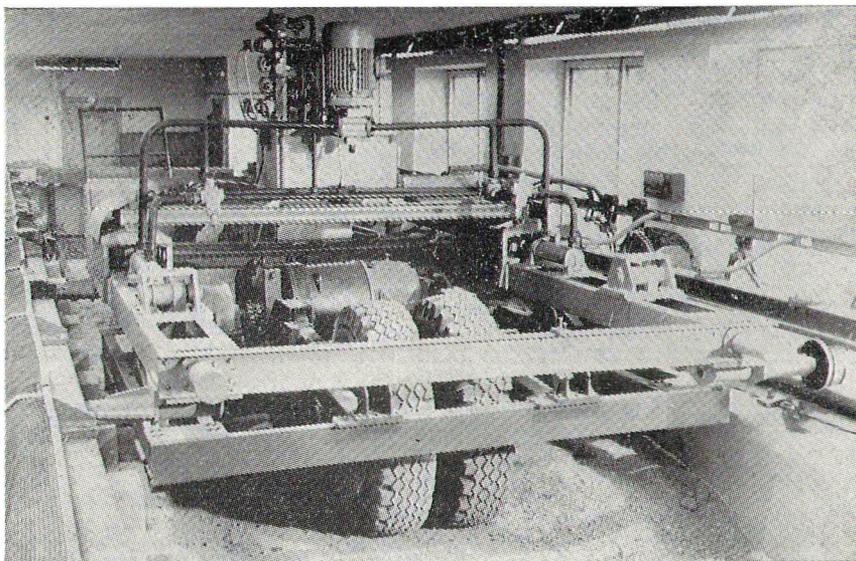


Рис. 4.1. Общий вид универсальной стендовой установки.

ная аппаратура — датчики напряжений, деформации, времени приложения нагрузки и др.

Используя экспериментальную установку, нами с участием сотрудников кафедры и научно-исследовательской лаборатории «Механизации лесоразработок» произведены стендовые испытания некоторых конструкций гравийных, щебеночных, грунтобитумных, грунтоцементных и железобетонных одежд [66]. Эти испытания позволили установить, что:

напряжения в дорожном покрытии и подстилающих грунтах с увеличением глубины убывают, а характер убывания зависит от конструкции покрытия и величины внешней нагрузки;

изоляция вертикальных напряжений в основании двухслойной конструкции при нагрузке на колесо более 4 т имеют ярко выраженный асимметричный характер;

покрытия различной жесткости имеют различную распределяющую способность. Например, грунтоцементные покрытия

обладают большей распределяющей способностью, чем гравийные;

распределяющая способность нефтесмологрунтового покрытия близка к распределяющей способности грунтоцементного покрытия;

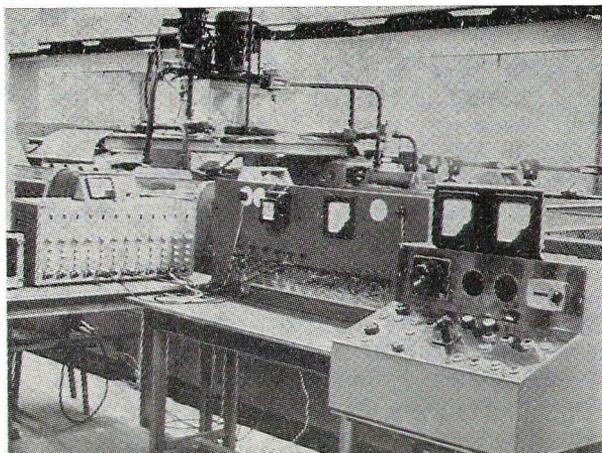


Рис. 4.2. Контрольно-измерительные приборы для измерения напряжений и деформаций дорожных одежд.

скорость передвижения тележки (в пределах до 5 м/сек) не оказывает заметного влияния на величину напряжений и деформаций покрытия.

Испытания покрытия в лабораторных условиях позволили определить численное значение прочностных характеристик, установить зависимость этих характеристик от величины внешней нагрузки и свойств, использованных строительных материалов.

Проведенные стендовые испытания дорожных одежд, однако, не полностью раскрыли указанную проблему. Необходимо продолжать работы по испытанию дорожных одежд как в лабораторных, так и в производственных условиях, определять физико-механические свойства различных строительных материалов, накапливать данные о прочности и износостойкости материалов, экономически обосновывать условия применения тех или иных дорожных конструкций.

4.3. Полевые исследования дорожных одежд

Кроме стендовых, нами проводились разносторонние исследования дорожных одежд в полевых условиях. Проведен-

ные исследования можно разделить на следующие характерные группы:

а) исследования прочностных свойств дорожных одежд, построенных из различных строительных материалов [43, 71];

б) исследования работоспособности дорожных одежд [29, 38];

в) исследования водно-теплового режима дорожной конструкции [65, 73];

г) исследования технологии строительства дорог с применением новых материалов [31, 70, 81].

Для исследования прочности и работоспособности дорожных одежд были заложены опытные участки на автомобильных лесовозных дорогах в Бобруйском, Верхнедвинском и Витебском леспрохозах. Участки имели различные конструкции дорожных одежд. Они были построены в разных грунтовых и гидрологических условиях, на дорогах с различной суточной интенсивностью движения лесовозных автомобилей. Состояние дорожных одежд устанавливалось путем визуальных наблюдений и экспериментальных исследований. При визуальных наблюдениях производились обследования всех опытных участков с замером изменений форм и величины неровностей; выявлялись остаточные деформации и разрушения дорожных одежд; выявлялись причины возникновения деформаций. При экспериментальных исследованиях определялись несущая способность дороги, физико-механические свойства материалов, плотность отдельных конструктивных слоев и др.

В результате исследований прочностных свойств дорожных одежд было установлено, что на гравийные дороги более заметное влияние оказывают метеорологические условия, чем на дороги с грунтобитумной или нефтесмологрунтовой одеждой. Несущая способность их колеблется в значительных пределах. При переувлажнении она приближается к нулю. Большой несущей способностью обладают гравийные одежды, которые построены из оптимальных гравийных смесей и которые в процессе строительства были достаточно уплотнены.

В 1961 г. на действующей грунтовой дороге Бобруйского леспрохоза был построен опытный участок покрытия длиной 3 км с применением жидкого битума. В грунт вводилось 5—6% битума. Толщина слоя принята 10—12 см. Модуль деформации грунта в сухое время года был равен 200—400 кг/см², а после введения вяжущего 1000—1300 кг/см². Проведенные многолетние наблюдения показали, что грунтобитумные дорожные одежды обладают необходимыми прочностными данными. Они достаточно водостойчивы и надежны в эксплуатации. Грунтобитумные дорожные одежды целесообразно более широко применять на автомобильных лесовозных дорогах.

Количество вяжущего необходимо устанавливать с учетом физико-механических свойств грунта. В песчаные грунты требуется 7—8% битума от веса грунта; в супесчаные 6—7%; легкие суглинистые 9—10%. Тяжелые суглинистые грунты плохо обрабатываются органическими вяжущими материалами. Без введения карьерных добавок обрабатывать их битумом нецелесообразно.

В Гомельском леспромхозе были построены опытные участки дорожных одежд из нефтесмологрунта. Испытания этих участков показали, что через 14 суток после постройки модуль деформации дороги достиг 1815 кг/см^2 , а через 28 суток — 1845 кг/см^2 . Дорожные одежды из нефтесмологрунта обладают достаточной гидрофобностью и износостойкостью. В определенных условиях (при отсутствии каменных материалов, наличии амбарной нефти и т. п.) этот тип дорожной одежды может быть наиболее экономичным.

Наряду с исследованием прочностных и деформативных свойств дорожных одежд в полевых условиях проводились исследования водно-теплового режима дорожных конструкций. Опытные участки были заложены на автомобильных дорогах г. Городок — д. Веречье; г. п. Колодище — г. п. Заславль; г. Минск — д. Паперня. Для измерения влажности использовался влагомер АМ-II, а температуры — термосопротивление с неуравновешенным мостом. Датчики влажности и температуры были установлены в различных точках как по ширине, так и по глубине земляного полотна. В результате измерений установлено, что влажность грунта земляного полотна в летнее время колеблется в интервале 0,42—0,55, а в осеннее достигает 0,8 от предела текучести. Во всех случаях влажность грунта под покрытием меньше, чем на обочине. Водонепроницаемые дорожные одежды защищают земляное полотно от атмосферной влаги. Увлажнение подстилающего грунта в этом случае может происходить за счет миграции влаги из нижних слоев, боковых канав или гравитационной влаги, поступающей в тело насыпи через обочины.

Исследования водно-теплового режима дорожных конструкций позволили установить вероятность появления пучин на дорогах, рекомендовать методику их прогнозирования [73].

При проведении полевых исследований большое внимание уделялось вопросам технологии строительства дорожных одежд. Были испытаны различные способы введения в грунт битума, битумной эмульсии, карбомидной смолы, нефти и других вяжущих материалов, исследованы режимы смешивания и уплотнения при использовании различных дорожных машин. Исследования технологии строительства дорог позволили разработать ряд технологических правил и карт по строительству грунтобитумных и нефтесмологрунтовых дорожных одежд,

определить технико-экономические показатели строительства. Результаты этих исследований рекомендованы для практического использования на производстве. Они вошли в нормативную, методическую и учебную литературу.

Раздел 5. ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБОВ УКРЕПЛЕНИЯ ГРУНТОВ, ПРЕДНАЗНАЧЕННЫХ ДЛЯ ДОРОЖНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

5.1. Укрепление грунтов битумными материалами

На современном этапе развития дорожного строительства укрепление грунтов становится одним из основных способов постройки дорожных покрытий и оснований. Это прогрессивное направление в дорожном деле резко выражено по линии дорог общего пользования. Такая тенденция понятна: покрытия из укрепленного местного материала в 2—2,5 раза дешевле равнопрочных каменных материалов и в первую очередь за счет экономии на транспортных расходах по перевозке дорожно-строительных материалов на большие расстояния. В качестве вяжущих материалов для укрепления грунтов применяются различные вещества. Среди них особое место занимают битумы. Как показывают исследования [30, 31, 34, 38], эффективность применения битумов обусловлена гидрогеологическими, климатическими и экономическими факторами. Количество битума, необходимое для постройки дорожной одежды, зависит от физико-механических свойств грунта. Наиболее прочные дорожные одежды могут быть построены с применением супесчаных грунтов, близких по своему составу к оптимальным смесям. На основании произведенных опытов были, как уже указывалось выше [10], рекомендованы нормы введения жидкого битума в песчаные, супесчаные и легкие суглинистые грунты. Тяжелые суглинистые и глинистые грунты плохо поддаются обработке битумом, а поэтому их применять не следует. На участках дорог, где встречаются такие грунты, необходимо подвозить карьерный грунт и создавать оптимальную смесь. Наряду с исследованием укрепления грунтов жидкими битумами были проведены эксперименты по укреплению грунтов вязкими битумами [31]. В итоге установлено потребное количество битума для грунтов различного гранулометрического состава, выбраны оптимальные температурные режимы производства работ.

Для лучшего обволакивания битумом грунтовых частиц рекомендованы активные добавки — известь, хлористый кальций, фенолы, органические кислоты, смолы и др. С помощью

этих добавок можно повысить прочность смеси в несколько раз, обеспечить хорошее качество работ при более низких температурах, уменьшить расход битума.

Однако обработка грунта битумом в условиях II климатической зоны встречает ряд трудностей технологического характера. Эти трудности могут быть преодолены путем применения вместо битума битумных эмульсий. С эмульсиями можно работать при любой влажности грунта и при любых положительных температурах воздуха.

Для подбора наиболее выгодных исходных материалов и определения рационального состава эмульсии были проведены исследования. В качестве эмульгатора применялись сульфитно-спиртовая барда, сульфитное мыло, древесная смола, выскопластичная глина и другие вещества.

Битумы различного химического состава и генезиса требуют различных эмульгаторов. С другой стороны, различные эмульгаторы позволяют получить разные эмульсии, в т. ч. щелочные и кислые, быстро и медленно распадающиеся и др. Щелочные эмульсии хорошо воздействуют с основными грунтами, кислые взаимодействуют как с кислыми, так и с основными.

Для получения щелочных эмульсий в качестве эмульгаторов могут быть использованы сланцевые, древесные и торфяные смолы. Порядок приготовления эмульсии при этом состоит в следующем. Битум нагревается до температуры 80—90 °С. В нагретый битум вводится смола при температуре около 20 °С в количестве до 5% и тщательно перемешивается. Затем полученная масса смешивается с водным раствором щелочи (30—50%). Количество щелочи зависит от применяемого эмульгатора. При применении сланцевых смол добавляется 0,20—1,60% щелочи; древесных смол 0,25—0,75% и торфяных смол 0,10—0,70%.

Кислые эмульсии получают аналогичным способом, только в качестве эмульгатора применяются выравниватели, сульфитно-спиртовая барда и др.

Для обработки грунтов в дорожных целях рекомендованы следующие составы кислых эмульсий:

а) битум 50—70%; выравниватель 1—1,5%; вода 49—29,5%;

б) битум 50—70%; сульфитно-спиртовая барда 1,5—2,1%; вода 48,5—27,9%.

Испытания образцов грунта, укрепленного битумной эмульсией, и опытных участков позволили сделать следующие выводы:

1. Битумные эмульсии следует считать основным вяжущим материалом для укрепления грунтов на проезжей части автомобильных лесовозных дорог.

2. Обработку грунта щелочными эмульсиями следует производить при минимальной влажности, так как с увеличением влажности грунта в период обработки прочность и гидростойкость дорожной одежды уменьшается.

3. При строительстве дорожной одежды в грунт необходимо вводить 5—6% эмульсии от веса грунта. Для гидрофобизации грунта процентное содержание эмульсии может быть уменьшено до 1—2%.

4. Песчаный грунт, обработанный битумной эмульсией в количестве 2%, практически водонепроницаем, водонеразмоккаем и выдерживает нагрузку более 2 кг/см^2 . Грунт, укрепленный эмульсией в количестве 5%, выдерживает нагрузку при центральном осевом сжатии около 6 кг/см^2 .

5. Применение битумных эмульсий позволяет получить дорожные одежды более прочные и более гидрофобные, чем при обработке грунта непосредственно битумом в количестве, равном количеству эмульсии.

6. Для обработки 1 м^2 поверхности дороги в среднем необходимо 34 кг эмульсии или 1,7 кг битума, 80 г смолы и 17 г едкого натрия.

Работы по укреплению грунтов битумными материалами в настоящее время выполняются механизированным способом. Технология и организация этих работ нами были исследованы при выполнении ряда плановых научно-исследовательских тем. Результаты исследований изложены в опубликованных работах [10, 34, 37].

5.2. Укрепление грунтов цементом

Промышленность строительных материалов выпускает различные виды и сорта цемента. Цемент находит широкое применение в строительстве. Применяется он и для укрепления грунтов. Физико-химическая сущность укрепления грунтов глубоко исследована В. М. Безруком, М. Т. Кострико, С. С. Морозовым и другими советскими учеными. На основании этих исследований разработаны практические методы строительства дорог, даны рекомендации по технологии и условиям применения цемента. Однако общих рекомендаций для строительства автомобильных лесовозных дорог оказалось недостаточным. Потребовались специальные исследования способов укрепления грунтов, которые бы учитывали как особенности лесовозных дорог, так и гидрогеологические особенности района. Такие исследования были нами проведены [10, 34, 38].

Исследования показали, что укрепление грунтов цементом при строительстве автомобильных лесовозных дорог является эффективным, а в ряде случаев и наиболее дешевым способом

укрепления грунтов весьма разнообразных составов и свойств. Однако грунты, обработанные цементом при примерно одинаковых модулях деформации с грунтобитумом, характеризуются большей жесткостью и хрупкостью. Поэтому их целесообразно использовать для устройства нижних слоев дорожных одежд, где в меньшей степени проявляют себя касательные силы и менее ощутимы ударные нагрузки.

Было установлено также, что укрепление грунтов цементом в условиях БССР обязательно должно сопровождаться гидроизоляцией путем устройства специальных водозащитных слоев. Такая необходимость вызвана переменной влажностью и частым чередованием положительных и отрицательных температур. При отсутствии таких слоев в дорожной одежде появляются трещины, число которых интенсивно нарастает и может привести к разрушению всей поверхности проезжей части.

Для обработки цементом целесообразно выбирать грунты оптимального гранулометрического состава. Крупнозернистые пески с целью экономии вяжущего необходимо предварительно смешивать с мелкозернистыми грунтами. Гумусированные, дерново-подзолистые и болотные грунты укреплять цементом не рекомендуется.

Ускорение процесса твердения и улучшение качества цементно-грунтовых смесей может быть достигнуто введением поверхностно-активных добавок. В качестве добавок используются известь, каустическая сода, хлористый кальций, жидкое стекло и другие вещества. Из добавок наибольший эффект оказывает известь, которая изменяет состав обменных катионов грунта, насыщая ионами кальция его тонкодисперсную часть, создает щелочную среду ($\text{pH} = 10-12$), уменьшает влияние гумусовых веществ, вступая с ними в адсорбционный обмен. При укреплении цементом кислых грунтов (pH менее 5) рекомендуется предварительное введение извести. При укреплении цементом глин, суглинков и пылеватых грунтов она качественно улучшает структуру обрабатываемого грунта, облегчает его перемешивание с вяжущими материалами, способствует лучшему уплотнению.

При комплексном методе укрепления грунтов желательно применять негашеную известь. Гашеную известь можно использовать только при укреплении сухих грунтов.

Технологический процесс строительства дорожных одежд из цементогрунта разработан достаточно подробно. Основные его положения включены в строительные нормы и правила и широко используются на практике. В нашу задачу входила разработка технологии для конкретных условий строительства автомобильной дороги в Белорусской ССР. В опубликованных нами работах изложены основные результаты, полученные при решении данной задачи.

5.3. Комплексные методы укрепления грунтов

Быстрое развитие химической промышленности создает благоприятные условия для широкого применения в народном хозяйстве полимерных материалов. Эти материалы успешно могут быть использованы и при создании дорожных конструкций.

Нами произведены исследования возможности и целесообразности стабилизации грунтов карбомидными смолами. Исследования показали, что отверждение этих смол с введением хлористого аммония может протекать во влажной среде и сравнительно низких температурах, а взаимодействие вяжущего с минеральной фазой имеет прочные и устойчивые связи. Путем лабораторных испытаний выявлены зависи-

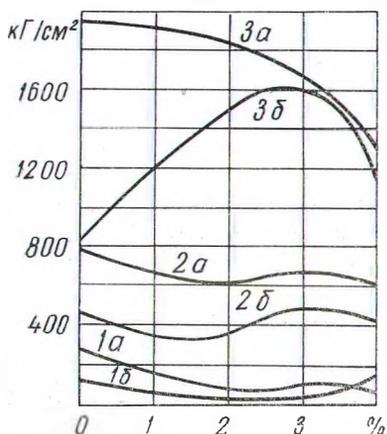


Рис. 5.1. Значение модуля деформации нефтесмологрунта в зависимости от содержания нефти и карбомидной смолы. (Грунт — супесь тяжелая): а — воздушно-сухие образцы; б — после водонасыщения; 1а, 1б — 2% карбомидной смолы М-70; 2а, 2б — 3% карбомидной смолы М-70; 3а, 3б — 4% карбомидной смолы М-70.

мости предела прочности при сжатии сухих и водонасыщенных образцов от количества добавок смолы и значения модуля деформации. Для обеспечения необходимой прочности, которая предьявляется к конструктивным слоям дорожной одежды, в грунт необходимо вводить 4—5% карбомидных смол типа М-70. Хорошие результаты могут быть также достигнуты при комплексном укреплении грунтов, т. е. введении полимерных материалов с добавками пластифицирующих или гидрофобизирующих веществ [54, 56, 59, 70].

Применение полимерных материалов для стабилизации грунтов пока остается дорогостоящим. Однако в ряде случаев уже сейчас такое решение может быть целесообразным. Возрастающий объем производства полимерных материалов приведет к безусловному снижению их стоимости и это позволит расширить сферу их использования.

Комплексные же методы укрепления грунтов с использованием полимерных материалов успешно могут применяться уже в настоящее время. В результате проведенных нами исследований установлена техническая возможность и экономи-

ческая целесообразность [49] укрепления грунтов карбомидной смолы (57%) в сочетании с сырой нефтью (43%). Определены нормы введения вяжущего: для среднезернистого песка и легкой супеси — 5%; для тяжелой супеси — 7%; для легкого суглинка — 8—9% и для тяжелого суглинка — не менее 10%. При этих нормах нефтесмологрунт обладает необходимыми прочностными свойствами [71, 72], он достаточно водо- и морозоустойчив [77, 81]. При исследованиях установлено: с повышением влажности грунта прочностные свойства нефтесмологрунта снижаются; у грунтов с большей влажностью процессы структурообразования идут медленно [63]; грунты, обладающие щелочной реакцией, не поддаются укреплению карбомидной смолой и нефтью, а кислые грунты хорошо взаимодействуют с комплексным вяжущим. О прочностных свойствах нефтесмологрунта можно судить по данным рис. 5.1.

Опытно-производственные испытания дорожной одежды из укрепленных грунтов подтвердили лабораторные показатели и позволили дать ряд рекомендаций по технологии и организации строительства дорог из грунтов, укрепленных комплексным вяжущим.

Раздел 6. РАЦИОНАЛЬНЫЕ ТИПЫ ОДЕЖД АВТОМОБИЛЬНЫХ ЛЕСОВОЗНЫХ ДОРОГ

6.1. Основные типы нежестких дорожных одежд

В зависимости от несущей способности основания, используемых материалов и требуемой прочности дорожные одежды могут иметь различную конструкцию.

Грунтовые дорожные одежды сооружаются из местного грунта, перемещенного грейдером или автогрейдером из боковых канав или резервов. Этот тип дорожной одежды может применяться на подъездных путях, а также на магистралях как первая стадия строительства. В дальнейшем качество их может быть повышено путем введения тех или иных добавок.

Грунтовые дорожные одежды, улучшенные скелетными добавками, образуются путем смешения местного грунта со щебнем, котельным и доменным шлаком, горелыми породами, гравием, крупнозернистым песком и другими материалами. По сравнению с грунтовыми они имеют большую прочность, а следовательно, и более широкое применение.

Гравийные дорожные одежды устраиваются из гравийных карьерных или фракционных материалов. По форме поперечного сечения они бывают серповидные, корытные и полукорытные, а по числу слоев — одно-, двух- и многослойные.

Гравийные одежды находят применение на дорогах различных категорий.

Одежды из грунтов, укрепленных битумом, рекомендуется строить в районах, где отсутствуют необходимые каменные материалы, а транспортировка их из других мест экономически себя не оправдывает. Наиболее пригодными грунтами для укрепления жидким битумом являются супесчаные с числом пластичности 3—7 и легкие суглинистые с числом пластичности не более 12. При наличии в районе строительства достаточного количества песка тяжелые грунты также могут быть укреплены битумом, если в местный грунт предварительно ввести 20—30% скелетных добавок. Аналогичные требования предъявляются к грунтам при укреплении их битумными эмульсиями.

Дорожные одежды из грунтов, укрепленных цементом, чаще всего приходится устраивать в два или три слоя. Толщина слоев, а также количество вяжущего устанавливается с учетом физико-механических свойств грунта, марки цемента и требуемой прочности дороги. Применение грунтоцементных дорожных одежд зависит от ряда факторов и определяется путем технико-экономических расчетов.

Дорожные одежды из грунтов, укрепленных известью, по конструкции мало отличаются от грунтоцементных дорожных одежд. Толщина их в зависимости от категории дороги, интенсивности движения и типа автомобильных поездов колеблется в пределах от 12 до 30 см. Для укрепления грунтов может применяться гидравлическая или воздушная известь. Однако применение гидравлической извести обеспечивает более высокое качество смеси, ускоренный процесс ее твердения. При укреплении грунтов известью часто применяются различные активные добавки, которые способствуют взаимодействию вяжущего с минеральной фазой.

Дорожные одежды из грунтов, укрепленных карбомидной смолой и нефтью, наиболее целесообразно проектировать двухслойными корытного профиля. Количество вяжущих материалов необходимо устанавливать с учетом свойств местных грунтов (см. § 5.3).

Для условий лесной промышленности БССР нами разработаны варианты наиболее рациональных типов и конструкций дорожных одежд [8, 12]. Определены необходимые материалы и трудовые затраты на их строительство.

Варианты конструкции одежд автомобильных лесовозных дорог, рекомендованные для условий Белорусской ССР, приведены в табл. 6.1—6.3.

Таблица 6.1
Лесовозные дороги I категории (требуемый модуль деформации
 $E_{тр} = 350 \text{ кг/см}^2$)

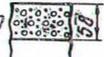
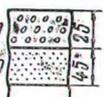
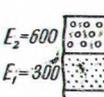
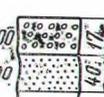
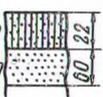
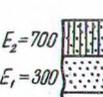
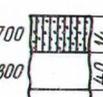
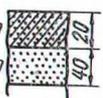
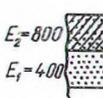
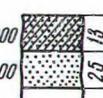
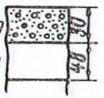
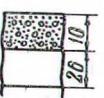
Тип дорожной одежды	Конструкция дорожной одежды при модуле деформации земляного полотна, кг/см^2		
	50	100	150
Грунто-гравийная (однослойная)		$E_1 = 500$ 	$E_1 = 500$ 
Гравийная (двухслойная)	$E_2 = 600$ 	$E_2 = 600$ 	$E_2 = 600$ 
Грунто-битумная (однослойная)			$E_1 = 700$ 
Грунто-битумная (двухслойная) на песчаной основе	$E_2 = 700$ 	$E_2 = 700$ 	$E_2 = 700$ 
Грунто-цементная (однослойная)			$E_1 = 800$ 
Грунто-цементная (двухслойная)	$E_2 = 800$ 	$E_2 = 800$ 	$E_2 = 800$ 
Грунто-щебеночная (однослойная)			$E_2 = 800$ 
Грунто-щебеночная (двухслойная)	$E_2 = 800$ 	$E_2 = 800$ 	$E_2 = 800$ 

Таблица 6.2

Лесовозные дороги II категории (требуемый модуль деформации
 $E_{тр} = 300 \text{ кг/см}^2$)

Тип дорожной одежды	Конструкция дорожной одежды при модуле деформаций земляного полотна, кг/см^2		
	50	100	150
Грунто-гравийная (однослойная)		$E_1 = 500$	$E_1 = 500$
Гравийная (двухслойная)	$E_2 = 600$	$E_2 = 600$	$E_2 = 600$
Грунто-битумная (однослойная)		$E_1 = 700$	$E_1 = 700$
Грунто-битумная (двухслойная) на песчаной основе	$E_2 = 700$	$E_2 = 700$	$E_2 = 700$
Грунто-цементная (однослойная)		$E_1 = 800$	$E_1 = 800$
Грунто-цементная (двухслойная)	$E_2 = 800$	$E_2 = 800$	$E_2 = 800$
Грунто-щебеночная (однослойная)		$E_1 = 800$	$E_1 = 800$
Грунто-щебеночная (двухслойная)	$E_2 = 800$	$E_2 = 800$	$E_2 = 800$

Таблица 6.3

Лесовозные дороги III категории (требуемый модуль деформации $E_{TP} = 250 \text{ кг/см}^2$)

Тип дорожной одежды	Конструкция дорожной одежды при модуле деформации "земляного" полотна, кг/см^2		
	50	100	150
Грунто-гравийная (однослойная)	$E_1 = 500$ 	$E_2 = 500$ 	$E_1 = 500$ 
Гравийная (двухслойная)	$E_2 = 600$ $E_1 = 300$ 	$E_2 = 600$ $E_1 = 300$ 	$E_2 = 600$ $E_1 = 300$ 
Грунто-битумная (однослойная)	$E_1 = 700$ 	$E_1 = 700$ 	$E_1 = 700$ 
Грунто-битумная (двухслойная) на песчаной основе	$E_2 = 700$ $E_1 = 300$ 	$E_2 = 700$ $E_1 = 300$ 	$E_2 = 700$ $E_1 = 300$ 
Грунто-цементная (однослойная)	$E_1 = 800$ 	$E_1 = 800$ 	$E_1 = 800$ 
Грунто-цементная (двухслойная)	$E_2 = 800$ $E_1 = 400$ 	$E_2 = 800$ $E_1 = 400$ 	$E_2 = 800$ $E_1 = 400$ 
Грунто-щебеночная (однослойная)	$E_1 = 800$ 	$E_1 = 800$ 	$E_1 = 800$ 
Грунто-щебеночная (двухслойная)	$E_2 = 800$ $E_1 = 500$ 	$E_2 = 800$ $E_1 = 500$ 	$E_2 = 800$ $E_1 = 500$ 

6.2. Жесткие типы дорожных одежд

Наряду с исследованием и разработкой рациональных типов нежестких дорожных одежд нами проводились исследования ряда конструкций железобетонных [33, 42] и лежневых дорожных одежд [17, 18, 29], которые относятся к жестким. В результате этих исследований была предложена новая конструкция плиты [25] с предварительно напряженной арматурой (размеры $600 \times 100 \times 11$ см; вес 1150 кг и т. д.); доказана возможность и целесообразность использования при производстве дорожных плит из легких бетонов, полученных на основе аглопорита [12, 84]; даны рекомендации по расчету и проектированию деревянно-лежневых покрытий, составлены вспомогательные расчетные номограммы.

Работа жестких дорожных покрытий неразрывно связана с основанием, на которое эти покрытия укладываются. Вот почему основание должно всегда иметь прочность не менее расчетной. Для доведения прочности основания до расчетной величины необходимо производить подсыпку песка, гравия, щебня и других материалов. Толщина подстилающего песчаного слоя должна устанавливаться расчетным путем. Нами предложен метод расчета с использованием специального графика [12]. Среднее значение толщины песчаного слоя для магистральных лесовозных дорог равно:

- а) на насыпях из мелких песков и легких суглинков — 15—20 см;
- б) на насыпях из тяжелых супесей и пылеватых песков — 20—25 см;
- в) на насыпях из легких и тяжелых суглинков, пылеватых супесей и суглинков — 25—30 см;
- г) в нулевых местах и выемках при песчаных и легких супесчаных грунтах — 25—30 см;
- д) в нулевых местах и выемках при суглинистых и пылеватых супесчаных грунтах — 30—35 см.

Большее значение толщины песчаного слоя относится к тому случаю, когда песок имеет среднюю зернистость и меньшее — когда песок крупный.

На подъездных путях песчаный слой не требуется, если земляное полотно возведено из дренирующих грунтов. Плиты укладываются на хорошо уплотненное земляное полотно. Если же земляное полотно возведено из недренирующего грунта, то необходимо предусмотреть отсыпку песчаного слоя толщиной 15—20 см. В нулевых местах и выемках в этих условиях необходимо отсыпать слой толщиной 20—25 см. Заболоченное основание может быть укреплено хворостом.

6.3. Выбор оптимальных типов и конструкций дорожных одежд

На автомобильных лесовозных дорогах в зависимости от местных условий строительства и эксплуатационных требований могут применяться различные типы и конструкции дорожных одежд. Правильный выбор дорожной одежды связан с научно обоснованными решениями, с прочностными и технико-экономическими расчетами.

Для выполнения прочностных расчетов одежд нежесткого типа нами построены специальные графики [7]. Графики построены по результатам вычислений 100 тыс. различных вариантов на электронно-счетной машине Минск-22. При составлении программы использована теория профессора Н. Н. Иванова. С помощью этих графиков можно производить расчеты нежестких одежд однослойной, двухслойной и многослойной конструкции.

Определение толщины однослойной дорожной одежды производится в следующем порядке:

а) выясняются условия эксплуатации дороги: тип автомобиля и прицепа, подвижного состава, рейсовая нагрузка, величина грузопотока и т. д. На основании их вычисляется требуемый модуль деформации, т. е. требуемая прочность;

б) исходя из конструктивных, гидрологических и грунтовых условий дорога (трасса) разбивается на участки. Для каждого участка устанавливается фактический модуль деформации земляного полотна;

в) выбираются дорожно-строительные материалы, которые могут быть использованы для строительства одежды на данном участке дороги, уточняются значения их модулей деформаций;

г) отыскивается график, который соответствует исходному значению модуля деформации земляного полотна E_0 и типу автомобиля (диаметру круга D , площадь которого равновелика отпечатку колеса);

д) на оси ординат откладывается значение требуемого модуля деформации дороги; проводится горизонталь до пересечения с наклонной линией, цифра на которой соответствует модулю деформации принятого для устройства одежды материала; точка пересечения проектируется на ось абсцисс и получается искомая толщина слоя;

е) если имеются разные материалы, которые можно использовать для устройства одежды, то необходимо определить требуемую толщину слоя каждого из них и путем сравнения вариантов выбрать оптимальное решение.

Расчет двухслойной дорожной одежды производится по тем же графикам. При этом:

а) как и при однослойной одежде определяются местные условия (модуль деформации земляного полотна E_0) и эксплуатационные требования (требуемый модуль деформации дороги $E_{тр}$);

б) задается ряд значений модуля деформации на верхней границе первого конструктивного слоя и определяется необходимая толщина обоих слоев, при которой будет обеспечена требуемая прочность дороги. Причем общая прочность системы $E_{экв}$ должна удовлетворять условию $E_{экв} \geq E_{тр}$;

в) вычисляется стоимость постройки 1 м^2 каждого конструктивного слоя и стоимость, отнесенная к единице (1 см) толщины;

г) устанавливается ряд наиболее конкурентноспособных вариантов дорожной конструкции и путем технико-экономических сравнений выбирается наиболее оптимальный [5, 10].

Кроме определения толщины дорожной одежды, с помощью указанных графиков можно решать и другие задачи, связанные с выбором типа и конструкции дорог, — определять качество материалов, которое обеспечивало бы заданную прочность проезжей части при известной толщине конструктивного слоя; определять прочность, если известна толщина слоя; устанавливать модули деформации земляного полотна и материала.

ОБОБЩЕНИЯ И ВЫВОДЫ

Проведенные нами исследования относятся к проблеме проектирования и строительства автомобильных лесовозных дорог, теоретического и экспериментального обоснования оптимальных параметров земляного полотна и дорожных одежд, применяемых в лесной промышленности. Эти исследования позволили выяснить ряд теоретических вопросов, разработать практические методы решения многих дорожных задач, дать рекомендации по проектированию и строительству автомобильных лесовозных дорог.

На основании исследования климатических и гидрологических условий строительства и особенностей работы лесовозных дорог были достигнуты следующие результаты:

разработан метод определения глубины промерзания грунтов заданной обеспеченности. В основу метода положены данные метеорологических наблюдений, которые повсеместно ведутся гидрометслужбой СССР;

обобщены данные многолетних наблюдений 863 агрометеорологических станций, составлены карты изолиний средних максимальных глубин промерзания грунта и коэффициентов вариации для европейской части СССР;

предложены расчетные схемы и дана методика расчета минимально необходимой высоты земляного полотна при раз-

личных грунтовых, гидрологических и климатических условиях;

доказана возможность применения метода гидродинамического моделирования и предложен способ определения осадки насыпи, возведенной на водонасыщенном основании;

установлены закономерности влагонакопления в земляном полотне и миграции влаги, выведены формулы перемещения влаги в горизонтальном направлении, определена расчетная влажность грунта;

предложен новый метод расчета коэффициентов устойчивости откосов подтопляемых и неподтопляемых насыпей; составлены вспомогательные номограммы, значительно упрощающие вычислительные работы;

разработана методика прогнозирования пучинообразования на автомобильных дорогах; предложено разделение территории Белорусской ССР на зоны по условиям пучинообразования;

обоснованы оптимальные параметры земляного полотна для автомобильных лесовозных дорог в условиях БССР.

В процессе работы над проблемой нами был изучен опыт ряда проектных институтов и строительных организаций лесной промышленности по проектированию и строительству дорог, произведены анализ и исследования геометрических параметров автомобильных лесовозных дорог. В результате этого:

даны новые методы расчета величины руководящего уклона дороги;

выведены формулы для определения ширины земляного полотна и необходимого числа полос движения в различных условиях лесоэксплуатации;

разработан метод определения ширины проезжей части на прямых участках, прилегающих к круговым и переходным кривым;

установлено, что на автомобильных дорогах с однопольной проезжей частью наиболее рациональной является овальная форма разъезда;

рекомендованы коэффициенты откосов земляного полотна в выемках и насыпях для различных условий проектирования, уточнены формулы для расчета виража, видимости при обгоне, скоростей движения и некоторые другие.

Большое внимание нами уделялось теоретическим и экспериментальным исследованиям дорожных одежд. Эти исследования позволили:

экспериментальным путем получить зависимости напряжений и деформаций дорожных одежд различных конструкций от величины действующих на них внешних нагрузок;

установить влияние тяжелых и сверхтяжелых автомобилей на работу дорожных одежд, раскрыть сущность проте-

кающих при этом процессов и вывести ряд необходимых аналитических зависимостей;

поставить и решить задачи о деформации упруго-вязкой дорожной конструкции описанной реологическими моделями Фойгта и типичного тела; установить характер накопления и величину деформации при различных константах строительных материалов и различных способах нагружения;

произвести расчет 100 тысяч вариантов дорожных одежд на электронно-вычислительной машине, составить расчетные графики и предложить метод расчета толщины конструктивных слоев дорожных одежд для автомобилей ЗИЛ, МАЗ и условного расчетного автомобиля Н-13;

выяснить физико-механические и реологические свойства различных дорожно-строительных материалов, включая новые материалы, такие, как нефтесмологрунт, аглопоритобетон и др.;

разработать рациональные типы дорожных одежд, определить условия и технико-экономические показатели их применения;

заложить опытные участки дорожных одежд нежесткого типа на лесовозных дорогах в Бобруйском и Витебском леспромпхозах, установить систематическое наблюдение за их работой, накопить данные о прочности и работоспособности одежд на автомобильных лесовозных дорогах;

определить нормы введения в грунт вяжущих материалов (битума, цемента, нефти, карбомидной смолы и др.) для получения дорожной одежды заданной прочности; отработать технологию строительства дорог из укрепленных грунтов применительно к условиям лесозаготовительных предприятий Белоруссии;

запроектировать, изготовить и испытать малую серию опытных плит из легкого бетона, которые по сравнению с плитами из тяжелого бетона обладают рядом преимуществ;

разработать методические руководства и пособия по проектированию дорожных одежд; дать рекомендации по организации и технологии их строительства;

предложить и внедрить на производстве некоторые рациональные типы дорожных одежд.

При исследовании параметров и прочности автомобильных лесовозных дорог проводилась разносторонняя научно-методическая работа. Были освоены современные методы тензометрирования, физического, математического и электротехнического моделирования, номографии и др. Для проведения экспериментальных работ создана научно-лабораторная база. Некоторые оригинальные приборы и установки признаны изобретениями и на них получены авторские свидетельства.

Основное содержание теоретических и экспериментальных исследований опубликовано в приведенных ниже работах.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ АВТОРА, ИСПОЛЬЗОВАННЫХ В ДОКЛАДЕ

I. Книги и брошюры

1. Пути повышения производительности лесовозного автомобильного транспорта. Минск, 1957, п. л. 3,5 (совместно с Е. П. Злотниковым и А. М. Апановичем).
2. В борьбе за досрочное выполнение семилетнего плана. Минск, 1960, п. л. 2,0.
3. Транспорт леса. Минск, 1961, п. л. 2,7 (совместно с А. Г. Грицкевичем).
4. Передовые методы труда на лесозаготовках. 1962, п. л. 3,1 (совместно с А. Г. Грицкевичем и М. Д. Шраером).
5. Автомобильные лесовозные дороги. Минск, 1965, п. л. 25,0.
6. Лесное хозяйство и лесная промышленность Финляндии. Минск, 1966, п. л. 5,1.
7. Графики и таблицы для расчета дорожных одежд. Минск, 1968, п. л. 9,6.
8. Пособие по расчету земляного полотна и одежд автомобильных лесовозных дорог. Минск, 1968, п. л. 7,5 (совместно с Н. П. Вырко и Т. К. Богданович).
9. Формулы и зависимости для решения дорожных и транспортных задач. Минск, 1969, п. л. 13,8 (совместно с П. А. Лыщиком и Н. П. Вырко).
10. Строительство лесных дорог. Минск, 1970, п. л. 43,2.
11. Терминологический словарь по лесным дорогам. Минск, 1970, п. л. 9,4.
12. Методическое руководство по проектированию и расчету автомобильных лесовозных дорог в условиях Белорусской ССР. Минск, 1971, п. л. 9,8 (совместно с В. В. Жуковым и др.).
13. Применение реологических моделей к расчету дорожных одежд. Минск, 1970, п. л. 10,8 (совместно с С. С. Макаревичем и А. П. Лашенко).
14. Эксплуатация лесных дорог, п. л. 25,0 (совместно с А. Л. Оковитым, находится в печати).

II. Статьи в научных журналах и сборниках

15. К вопросу выбора руководящего уклона при проектировании лесотранспорта. Информационно-технический бюллетень НТО лесной промышленности БССР. Минск, 1956, п. л. 0,5 (совместно с В. В. Жуковым).
16. К вопросу расчета верхнего строения автолежневых дорог. Сб. научных трудов БЛТИ им. С. М. Кирова, выпуск X. Минск, 1957, п. л. 0,5.
17. Строительство и испытание опытных участков автолесовозных дорог с деревянным покрытием. Труды ЦНИИМЭ, выпуск IX. М., 1958, п. л. 0,1 (в соавторстве).

18. О двух методах расчета лежневого покрытия автомобильных лесовозных дорог. Научные доклады высшей школы «Лесотехническое дело» № 3, 1958, п. л. 0,3 (совместно с Б. Е. Епифановым).

19. Применение теории упругого основания к расчету лежневого покрытия автомобильных лесовозных дорог. Сб. научных трудов БЛТИ им. С. М. Кирова, выпуск I. Минск, 1958, п. л. 0,9 (совместно с В. В. Жуковым).

20. Изменить маркировку дорожных машин. «Автомобильные дороги» № 6, 1958, п. л. 0,1.

21. К расчету лежневого покрытия автомобильных лесовозных дорог, уложенного на шпалах. Сб. научных трудов БЛТИ им. С. М. Кирова, выпуск XI. Минск, 1958, п. л. 1,0 (совместно с В. Б. Немцовым).

22. Учет динамического воздействия автомобилей на лежневое покрытие. «Лесной журнал», № 3, 1959, п. л. 0,6.

23. Выбор рациональных типов покрытий автомобильных лесовозных дорог в условиях БССР. Научные труды БЛТИ им. С. М. Кирова, выпуск XII. Минск, 1959, п. л. 0,5 (совместно с В. В. Жуковым и др.).

24. Определение динамического воздействия автомобиля при движении его по лежневой дороге. «Лесной журнал» № 2, 1960, п. л. 0,5.

25. Да пытання праектавання і разліку калейных пакрыццяў аўтамабільных лесавозных дарог. Весці Акадэміі навук БССР. Серыя фізіка-тэхнічных навук, № 2, 1960, п. л. 0,9.

26. Определение коэффициента динамического воздействия подвижного состава на лежневое покрытие автомобильных лесовозных дорог. Труды ЦНИИМЭ, выпуск XV. «Дорожно-строительные работы на лесозаготовках». М., 1960, п. л. 1,5.

27. Крепить связь науки с производством. «Лесная промышленность», № 2, 1960, п. п. 0,2 (совместно с М. Д. Шраером).

28. Расчет лежневого покрытия автомобильных лесовозных дорог, колесопроводы которого уложены на шпалах. Труды ЦНИИМЭ, выпуск XV, «Дорожно-строительные работы на лесозаготовках». М., 1960, п. л. 1,5.

29. Исследования работы щитовых деревянных колеиных покрытий под тяжелыми автомобилями. Труды ЦНИИМЭ. М., 1960, п. л. 0,2 (совместно с группой авторов).

30. Стабилизация грунтовых покрытий лесовозных автомобильных дорог вяжущими. Научная информация БТИ им. С. М. Кирова, Минск, 1961, п. л. 0,6 (совместно с В. В. Жуковым).

31. Выбор оптимальных режимов укрепления грунтов вяжущими битумами. Научная информация БТИ им. С. М. Кирова. Минск, 1961, п. л. 0,6.

32. Универсальный дорожный уклономер. Государственный комитет Совета Министров РСФСР по координации научно-исследовательских работ. ГОСИНТИ «Лесозаготовки», сб. № 3, М., 1962, п. л. 1,0.

33. Применение железобетонных плит на автомобильных лесовозных дорогах. Материалы XV научной конференции Львовского лесотехнического института. Львов, 1963, п. л. 0,2.

34. Опыт применения вяжущих материалов для укрепления грунтового покрытия автомобильных лесовозных дорог. Сб. научных работ БТИ «Вопросы механизации лесозаготовок и транспорта леса». Минск, 1964, п. л. 0,9 (совместно с В. В. Жуковым и др.).

35. Определение ширины проезжей части автомобильных лесовозных дорог. Сб. научных работ БТИ «Вопросы механизации лесозаготовок и транспорта леса». Минск, 1964, п. л. 0,7.

36. Графический способ определения радиуса заклинивания. Сб. научных работ БТИ «Вопросы механизации лесозаготовок и транспорта леса». Минск, 1964, п. л. 0,4 (совместно с П. М. Калашниковым).

37. О строительстве лесовозных дорог. Материалы Всесоюзного совещания по строительству лесовозных дорог. М., 1965, п. л. 0,1.

38. Укрепление покрытий лесовозных дорог вяжущими материалами. «Лесная промышленность», № 10, 1965, п. л. 0,5 (совместно с В. В. Жуковым).

39. Типы и конструкции покрытий на автомобильных дорогах Финляндии. Сб. трудов БТИ «Вопросы механизации лесозаготовок и транспорта леса». Минск, 1967, п. л. 0,4 (совместно с Э. Е. Золотовской).

40. Повысить эффективность научных исследований. «Промышленность Белоруссии», № 2, 1967, п. л. 0,5 (совместно с В. Е. Вихровым).

41. Определение глубины промерзания грунтов заданной обеспеченности применительно к задачам проектирования дорог. Сб. научных работ БТИ «Вопросы механизации лесозаготовок и транспорта леса». Минск, 1967, п. л. 0,5 (совместно с Н. П. Вырко).

42. Задачи комплексного исследования покрытий автомобильных лесовозных дорог. Сб. работ «Совершенствование техники и технологии производства». Минск, 1967, п. л. 0,2.

43. Прочность и износостойкость гравийных покрытий автомобильных лесовозных дорог. Сб. работ «Совершенствование техники и технологии производства». Минск, 1967, п. л. 0,2 (совместно с С. А. Дятлович).

44. Некоторые проблемы лесотранспорта Белоруссии. Материалы Международной научной конференции, г. Зволлен, ЧССР, 1967, п. л. 0,5.

45. Глубина промерзания грунтов и учет ее при строительстве. Материалы научно-технической конференции Брестского инженерно-строительного института. Брест, 1967, п. л. 0,3 (совместно с Н. П. Вырко).

46. Вопросы лесного дорожного строительства в Белорусской ССР. Сб. научных работ БТИ «Вопросы лесного хозяйства и лесной промышленности». Минск, 1967, п. л. 1,0.

47. Научные исследования в БТИ. «Лесная промышленность», № 11, 1967, п. л. 0,6.

48. Рациональные конструкции покрытий подъездных путей. Сб. работ Министерства промышленного строительства БССР, № 4. Минск, 1967, п. л. 0,5 (совместно с В. П. Астрашевским).

49. Лесные дороги и экономика леспромпхоза. «Промышленность Белоруссии», № 1, 1968, п. л. 0,4 (совместно с В. А. Лебедевым и Б. И. Врублевским).

50. Универсальная стендовая установка. «Промышленность Белоруссии», № 6, 1968, п. л. 0,2 (совместно с П. И. Курдесовым и П. В. Ползником).

51. Графический метод определения пути следования роспуска при статическом вписывании автомобиля в кривые. «Лесной журнал», № 6, 1968, п. л. 0,5.

52. Работы Белорусского технологического института по исследованию автомобильных дорог. Издание Белорусского политехнического института. Минск, 1969, п. л. 0,2.

53. Подготовка кадров по сухопутному транспорту леса в Белорусском технологическом институте им. С. М. Кирова. Издание БТИ. Минск, 1969, п. л. 0,2.

54. Укрепление грунтов нефтью с добавкой карбомидной смолы. «Автомобильные дороги», № 5, 1969, п. л. 0,4 (совместно с В. М. Безруком и др.).

55. Применение автоматизированных стендов и вычислительной техники при исследовании прочности дорожных конструкций. Материалы 2-го Всесоюзного симпозиума «Экспериментальные исследования инженерных сооружений». Минск, 1969, п. л. 0,3 (совместно с П. В. Ползником).

56. Нефтьесмолагрунт. «Промышленность Белоруссии», № 7, 1969, п. л. 0,1 (совместно с Б. И. Врублевским и др.).

57. Задача по определению просадок вязко-упругого основания под воздействием внешних нагрузок. Вестник БГУ им. В. И. Ленина. Серия I (математика, физика, механика), № 2, 1969, п. л. 0,5 (совместно с С. И. Гайдуком и Л. А. Прокопчик).

58. Вспомогательные номограммы для определения коэффициента устойчивости откосов. Материалы Всесоюзного совещания «Устойчивость фильтрующих откосов». Минск, 1969, п. л. 0,5 (совместно с Н. П. Вырко).

59. Укрепление грунтов комплексным вяжущим. Издание ЦНИИТЭИлеспрома «Лесозэксплуатация и лесосплав», № 16, 1969, п. л. 0,1 (совместно с Б. И. Врублевским).

60. Комплексные лесные предприятия и проблемы дорожного строительства. Сб. «Проблемы комплексных лесных предприятий в Карпатах». Ужгород, 1969, п. л. 0,6.

61. Научные основы современного сухопутного транспорта леса. Материалы республиканской конференции «Сухопутный транспорт леса». Минск, 1969, п. л. 0,2.

62. Стендовые испытания дорожных одежд. Материалы республиканской конференции «Сухопутный транспорт леса». Минск, 1969, п. л. 0,1 (совместно с П. С. Бобарыко и др.).

63. Исследование влияния влажности грунта при укреплении его карбомидной смолой и нефтью. Материалы республиканской конференции «Сухопутный транспорт леса». Минск, 1969, п. л. 0,1 (совместно с Б. И. Врублевским).

64. Стенд для испытания дорожных покрытий и масштабных моделей рабочих органов дорожных машин. Издание ВНИПИЭИлеспрома «Лесозэксплуатация и лесосплав», № 36, 1969, п. л. 0,5.

65. Регулирование водно-теплого режима земляного полотна автомобильных дорог. Материалы научно-технической конференции Белорусского технологического института им. С. М. Кирова. Минск, 1970, п. л. 0,1 (совместно с Н. П. Вырко и П. А. Лыщик).

66. Исследование прочности дорожных покрытий в лабораторных условиях. Материалы научно-технической конференции Белорусского технологического института им. С. М. Кирова. Минск, 1970, п. л. 0,1 (совместно с группой авторов).

67. Нивелир-автомат, авторское свидетельство № 295974 от 3.12. 1970 г. (совместно с М. З. Скоком).

68. Тенденции развития лесного транспорта в Белорусской ССР. Тезисы доклада на Международном симпозиуме в Польше «Новые направления организации, техники и технологии добычи и переработки древесины в лесу и на складах». Познань, 1970, п. л. 0,1.

69. Автоматизированный стенд для испытания конструкций автомобильных дорог. Сб. «Механизация лесоразработок и транспорта леса». Выпуск I. Минск, 1970, п. л. 0,3.

70. Исследование возможности укрепления грунтов комплексным связующим. Сб. «Механизация лесоразработок и транспорта леса». Выпуск I. Минск, 1970, п. л. 0,3 (совместно с Б. И. Врублевским).

71. Исследование прочностных свойств нефтесмологрунта. Издание ВНИПИЭИлеспрома «Лесозэксплуатация и лесосплав», № 21, 1970, п. л. 0,4 (совместно с Б. И. Врублевским).

72. Использование полимерных материалов для укрепления грунтов в дорожном строительстве. Известия АН БССР. Серия физико-технических наук, № 4, 1970, п. л. 0,4 (совместно с Б. И. Врублевским).

73. Прогнозирование пучинообразования на автомобильных дорогах Белоруссии. Сб. «Вопросы эксплуатации автомобильных дорог и мостов». М., 1970, п. л. 0,5 (совместно с Н. П. Вырко).

74. Определение устойчивости откосов земляного полотна. Доклады на секции «Дорожное строительство» XXVI научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава БПИ. Минск, 1970, п. л. 0,3 (совместно с Н. П. Вырко и Т. К. Богданович).

75. Тенденция развития лесного транспорта в Белорусской ССР. Издание ВНИПИЭИлеспрома «Лесозэксплуатация и лесосплав», № 4, 1971, п. л. 0,4.

76. Об одной задаче по определению просадок вязко-упругого основания. Вестник БГУ им. В. И. Ленина. Серия I (математика, физика, механика), № 1, 1971, п. л. 0,5 (совместно с С. И. Гайдуком).
77. Резервы дорожного строительства. «Промышленность Белоруссии», № 3, 1971, п. л. 0,3 (совместно с Б. И. Врублевским и др.).
78. Обобщение опыта строительства лесовозных дорог. «Лесная промышленность», № 3, 1971, п. л. 0,1.
79. К вопросу об определении высоты земляного полотна автомобильных дорог в западных районах СССР. Труды ЦНИИМЭ № 112, «Автомобильные лесовозные дороги», М., 1971, п. л. 1,0 (совместно с Н. П. Вырко).
80. Применение упруго-вязкой модели к расчету дорожных одежд. Известия АН БССР. Серия физико-технических наук, № 2, 1971, п. л. 0,3 (совместно с С. И. Гайдуком и А. П. Лашенко).
81. Укрепление грунтов карбомидной смолой и нефтью. Материалы VII Всесоюзного совещания по закреплению и уплотнению грунтов. Л., 1971, п. л. 0,4 (совместно с Б. И. Врублевским и В. И. Врублевской).
82. Международный симпозиум в Польше. Издание ВНИПИЭИлеспрома «Лесозаготовка и лесосплав», № 15, 1971, п. л. 0,6.
83. Статистический метод определения глубины промерзания грунтов. Сб. «Отопление, вентиляция и строительная теплофизика». Минск, 1971, п. л. 0,8 (совместно с Н. П. Вырко).
84. Влияние научно-технического прогресса на развитие транспорта леса в Советском Союзе. «Алгемайне Форстцайтунг», № 12, Вена, 1971.

ПЕРЕЧЕНЬ КОНФЕРЕНЦИЙ И СОВЕЩАНИЙ, НА КОТОРЫХ ДОКЛАДЫВАЛИСЬ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

1. Научно-технические конференции Белорусского технологического института им. С. М. Кирова (1967—1972), Львовского лесотехнического института (1963), Брестского инженерно-строительного института (1967, 1968), Белорусского политехнического института (1969—1972).
2. Юбилейная выездная сессия НТС по проблеме «Научная организация комплексных лесопромышленных предприятий в горных районах» (г. И. Франковск, 1967).
3. Республиканская научно-техническая и методическая конференция по сухопутному транспорту леса (г. Минск, 1969).
4. Международная конференция, посвященная проблемам лесного хозяйства и обработки древесины в Карпатской области (Чехословакия, г. Зволен, 1967).
5. Совещание сотрудников лесного факультета Хельсинского университета и других специалистов лесной промышленности Финляндии (г. Хельсинки, 1964).
6. Всесоюзное совещание по устойчивости фильтрующих откосов (г. Минск, 1969).
7. Международный симпозиум в Польской Народной Республике «Новые направления организации, техники и технологии заготовки и переработки древесины в лесу и на складах (Познань, 1970).
8. Республиканская научно-техническая конференция «Технический прогресс в лесозаготовительной промышленности Белоруссии» (г. Витебск, 1970).
9. Всесоюзное совещание-семинар по исследованию водно-теплого режима автомобильных дорог (г. Минск, 1971).
10. VII Всесоюзное совещание по закреплению и уплотнению грунтов (г. Ленинград, 1971).
11. Международный симпозиум в Австрии по проблемам транспорта леса и механизации лесозаготовительных работ (г. Вена, 1971).

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
Раздел 1. Общие вопросы проектирования автомобильных лесовозных дорог	5
1.1. Проектирование продольного профиля лесовозных дорог	5
1.2. Определение оптимальных параметров автомобильных лесовозных дорог в плане	7
1.3. Выбор числа полос движения при проектировании автомобильных лесовозных дорог	8
Раздел 2. Параметры и прочность земляного полотна	11
2.1. Предпосылки к определению параметров земляного полотна	11
2.2. Глубина промерзания грунтов и ее влияние на параметры земляного полотна	12
2.3. Расчеты высоты земляного полотна	16
2.4. Прогнозирование пучинообразования на дорогах	18
2.5. Определение ширины земляного полотна	20
2.6. Расчеты устойчивости откосов земляного полотна	21
2.7. Определение объема земляного полотна	24
Раздел 3. Теоретические исследования дорожных одежд	26
3.1. Особенности работы одежд автомобильных лесовозных дорог	26
3.2. Напряжения и деформации дорожных одежд нежесткого типа	28
3.3. Воздействие тяжелых и сверхтяжелых автомобилей	33
3.4. Напряжения и деформации жестких дорожных покрытий	36
3.5. Применение теории упруго-вязкого основания к расчету дорожных одежд	38
Раздел 4. Экспериментальные исследования дорожных одежд	44
4.1. Задачи экспериментальных исследований	44
4.2. Стендовые испытания дорожных одежд	45
4.3. Полевые исследования дорожных одежд	47

Раздел 5. Исследования способов укрепления грунтов, предназначенных для дорожного строительства	50
5.1. Укрепление грунтов битумными материалами	50
5.2. Укрепление грунтов цементом	52
5.3. Комплексные методы укрепления грунтов	54
Раздел 6. Рациональные типы одежд автомобильных лесовозных дорог	55
6.1. Основные типы нежестких дорожных одежд	55
6.2. Жесткие типы дорожных одежд	60
6.3. Выбор оптимальных типов и конструкций дорожных одежд	61
Обобщения и выводы	62
Список опубликованных работ автора, использованных в докладе .	65
Перечень конференций и совещаний, на которых докладывались результаты исследований	69

Отзывы на доклад в 2-х экземплярах, заверенные подписями и печатью, направлять по адресу: 194018, Ленинград, Институтский пер., 5. Лесотехническая академия им. С. М. Кирова. Ученый совет.

АТ 06082. Сдано в набор 29/III-72 г. Подписано к печати 14/IV-72 г. Формат 60×90^{1/16}. Печ. л. 4,5. Уч.-изд. л. 4,08. Бумага тип. № 1. Тираж 300 экз. Зак. 240. Бесплатно.

Типография им. Франциска (Георгия) Скорины. Минск, Ленинский проспект, 68.