

625
К 28

7

БЕЛОРУССКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ИМЕНИ С.М.КИРОВА

На правах рукописи



КАСПЕРОВ ГЕОРГИЙ ИВАНОВИЧ

РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЫ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГИДРОЛИЗНОГО ЛИГНИНА ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ
КРУГЛОГODOVOЙ ВЬЕВОЗКИ ЗАГОТОВЛЕННОЙ ДРЕВЕСИНЫ

05.21.01. - Технология и машины лесного
хозяйства и лесозаготовок

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Минск 1991

Работа выполнена в Белорусском ордена Трудового Красного Знамени технологическом институте имени С.М.Кирова.

Научный руководитель	кандидат технических наук, профессор ВАРКО Н.П.
Научный консультант	кандидат технических наук, доцент ЛАЩЕНКО А.П.
Официальные оппоненты	доктор технических наук ПРОМКО В.Н. кандидат технических наук БОРОЗНА А.А.
Ведущая организация	Центральный научно-исследовательский институт механизации и энергетики лесной промышленности (ЦНИИМЭ) ВНПОлеспром

Защита состоится "21" января 1992 г. в 14⁰⁰ час.
на заседании специализированного Совета К.056.01.01 в Бело-
русском ордена Трудового Красного Знамени технологическом
институте имени С.М.Кирова.

Адрес: 220630, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, корпус 4,
зал заседаний.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Бело-
русского ордена Трудового Красного Знамени технологического ин-
ститута имени С.М.Кирова.

Автореферат разослан "21" декабря 1991 г.

Ученый секретарь
специализированного Совета

С. П. ТРОФИМОВ

ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Решение поставленных перед лесной промышленностью задач по обеспечению народного хозяйства республики древесиной возможно при постоянном совершенствовании всего лесопромышленного комплекса, создании условий, обеспечивающих ритмичную работу лесозаготовительных предприятий.

Истощение лесосырьевых баз вблизи пунктов переработки древесины, изменение группы лесов приводит к увеличению среднего расстояния вывозки древесины ежегодно на 1,0 ... 1,5 км и строительству автомобильных дорог в худших грунтовогидрологических условиях. И как следствие с ростом протяженности автомобильных дорог, объемов земляных работ идет значительное увеличение капитальных вложений на их строительство и содержание.

Транспортное освоение лесных массивов республики связано со строительством автомобильных дорог на территории, где заболоченность лесного фонда достигает 60 %. При этом местные грунты представлены в основном переувлажненными глинами и суглинками. Это и обуславливает низкую несущую способность грунтового основания, что вызывает большие трудности при проезде лесовозных автопоездов. Под влиянием погодных-климатических условий и под воздействием передаваемых от подвижного состава нагрузок грунты земляного полотна изменяют свои прочностные свойства в течение года. Основной причиной, вызывающей эти изменения, являются колебания температурного поля и содержания влаги в теле земляного полотна, т.е. колебания водно-теплового режима.

Следовательно, одним из важнейших мероприятий по созданию условий, обеспечивающих круглогодичную работу лесозаготовительного предприятия, является целенаправленное регулирование водно-теплового режима, которое должно обеспечить стабильность напряженно-деформированного состояния грунта в течение года. Это может быть достигнуто устройством в теле земляного полотна и конструктивных слоях дорожных одежд теплоизоляционных прослоек. Поэтому исследования в области проектирования, повышения прочности и долговечности дорожных одежд, поиск новых материалов для устройства теплоизоляционных слоев, обеспечивающих в конечном итоге круглогодичную вывозку заготовленной древесины очень актуальны.

Цель работы - обеспечение круглогодичной вывозки заго-

товленной древесины путем создания конструкции прочной и надежной дорожной одежды с использованием в конструктивных слоях теплоизоляционных прослоек на основе гидролизного лигнина.

Задачи исследований:

разработка конструкции дорожной одежды автомобильной лесовозной дороги с теплоизоляционными прослойками на основе гидролизного лигнина;

проведение теоретических и экспериментальных исследований конструкции дорожной одежды с теплоизоляционными прослойками на основе гидролизного лигнина с учетом специфики лесовозных автопоездов и погодно-климатических факторов;

оценка влияния существующих методов сведения многослойных дорожных одежд к расчетным моделям на точность определения параметров напряженно-деформированного состояния типовых конструкций дорожных одежд и дорожных одежд с теплоизоляционными прослойками на основе гидролизного лигнина;

разработка технологии устройства дорожной одежды с теплоизоляционными прослойками на основе гидролизного лигнина и практические рекомендации производству.

На защиту выносятся:

1. Конструкция дорожной одежды с теплоизоляционными прослойками на основе гидролизного лигнина.
2. Физико-механические характеристики гидролизного лигнина и композитов на его основе.
3. Результаты оценки напряженно-деформированного состояния дорожной одежды с теплоизоляционными прослойками на основе гидролизного лигнина с учетом упруго-вязких свойств используемых дорожно-строительных материалов.
4. Данные производственных испытаний конструкции дорожной одежды с теплоизоляционными прослойками на основе гидролизного лигнина.
5. Технология устройства дорожной одежды с теплоизоляционными прослойками на основе гидролизного лигнина.
6. Оценка существующих методов сведения многослойных дорожных одежд к расчетным моделям по вычислениям параметров напряженно-деформированного состояния дорожных одежд и их практическое применение.

Научная новизна работы заключается в разработке и исследовании конструкции дорожной одежды с теплоизоляционными прослойками на основе гидролизного лигнина с использованием

обобщенной методики расчета дорожной одежды на прочность, учитывающей вязко-упругие свойства применяемых дорожно-строительных материалов;

впервые получены прочностные характеристики гидролизного лигнина как дорожно-строительного материала;

получены новые данные о напряженно-деформированном состоянии дорожных одежд с теплоизоляционными прослойками на основе гидролизного лигнина с учетом специфики подвижной нагрузки и природно-климатических условий;

для типовых конструкций дорожных одежд в зависимости от прочностных свойств верхнего и нижнего слоев рекомендовано практическое применение существующих методов сведения многослойных дорожных одежд к расчетным моделям;

разработаны и внедрены при строительстве автомобильных дорог теплоизоляционные прослойки на основе гидролизного лигнина, удовлетворяющие требованиям нормативных документов;

предложенная конструкция дорожной одежды защищена авторским свидетельством № 1325914.

Практическая ценность работы заключается в том, что разработанная конструкция дорожной одежды позволит обеспечить круглогодичную вывозку заготовленной древесины. Применение в качестве материала теплоизоляционных прослоек крупнотоннажного отхода промышленности - гидролизного лигнина дает возможность вовлечь в производство эти отходы, решить экологическую проблему мест складирования гидролизного лигнина, сократить объемы земляных работ при возведении земляного полотна. Полученные физико-механические характеристики гидролизного лигнина и теплоизоляционных прослоек на его основе могут быть использованы при расчете и проектировании дорожных одежд с учетом их работы в упруго-вязкой стадии.

Реализация работы. Результаты исследований внедрены при строительстве автомобильных дорог № 5, 6, 16 и 18 и лесной дороги в Березинском лесхозе Минским производственным лесохозяйственным объединением, а также при реконструкции автомобильной дороги Раков-Радошковичи проектно-ремонтно-строительным объединением "Минскоблдорстрой". Экономический эффект на 1 км дороги составил 1,8-3,5 тыс. руб.

Апробация работы. Основные положения и результаты диссертационной работы дорожены и обсуждены на Всесоюзных (г.Химки, 1985 г.; г.Ташкент, 1985 г.; г.Москва, 1986 г.);

г.Архангельск, 1989 г.), республиканских и региональных (г.Гомель, 1984 г.; г.Минск, 1984 г.; г.Владимир, 1985 г.; 1988-90 гг.), институтских научно-технических конференциях (г.Минск, 1985-90 гг.).

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 16 печатных работ, в том числе авторское свидетельство на изобретение.

Объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, шести глав, выводов и рекомендаций, содержит 194 страницы, включая 53 рисунка, 35 таблиц, список литературы из 144 наименований, 18 приложений.

Автор выражает признательность и благодарность д.т.н., профессору А.В.Жукову за постоянное внимание при выполнении работы и ценные советы при оформлении диссертационной работы, гл.инженеру Воложинской ЛММС И.И.Виршичу за ценные практические советы и помощь при внедрении результатов научных исследований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении дано обоснование актуальности работы, научной новизны и практической значимости, сформулированы основные научные положения, выносимые на защиту.

В первой главе сделан анализ существующей дорожно-транспортной сети республики, используемой для вывозки заготовленной древесины, проанализированы особенности воздействия лесовозных автопоездов на автомобильную дорогу, рассмотрены методы расчета слоистых дорожных одежд; определены цели и задачи исследований.

Вывозка заготовленной древесины к местам ее потребления осуществляется лесной отраслью республики по специальным лесным дорогам, а также автомобильным дорогам общего пользования протяженностью свыше 120 тыс.км. Распределение автомобильных дорог по типам покрытия следующее: дороги с твердым покрытием составляют 20,5 %, профилированные грунтовые дороги - 13,5 %, естественные проезды - 66 % от общей протяженности. Как видно, преобладают дороги, состояние проезжей части которых в основном зависит от природно-климатических условий местности. Под воздействием специфических нагрузок от лесовозных автопоездов в период снижения несущей способности подстилающих грунтов дорожные одежды преждевременно разруша-

ются, что ограничивает движение лесовозных автопоездов, и в конечном счете сказывается на ритмичности работы лесозаготовительного предприятия.

С другой стороны, транспортное освоение лесных массивов республики связано со строительством дорог в местах, где грунты представляют собой переувлажненные глины и суглинки и встречаются также бедные песчаные грунты. Поэтому перспективным направлением в создании прочных слоистых дорожных одежд следует считать применение в конструктивных слоях дорожной одежды и теле земляного полотна отходов промышленности, в частности гидролизного лигнина.

Исследованию дорожной одежды как слоистой среды посвящены работы советских ученых В.Ф.Бобкова, А.К.Вирули, И.И.Иванова, В.И.Когана, М.В.Корсунского, А.М.Кривисского, В.С.Радовского и других. В 1961 г. М.В.Корсунским была предложена методика расчета, основанная на предположении, что, зная функциональную зависимость между модулем упругости и скоростью нагружения, временем действия нагрузки, задачу теории ползучести можно свести к известным задачам теории упругости. Позже В.С.Радовским были предложены формулы, позволяющие определить составляющие напряженно-деформированного состояния многослойного упруго-вязкого полупространства. Исследованию напряженно-деформированного состояния слоистых дорожных одежд с учетом действия подвижной нагрузки посвящены работы М.В.Корсунского, П.И.Теляева, А.К.Приварникова, И.И.Леонoviча, А.П.Ляченко, В.Н.Яромко, А.В.Смирнова и др. для дорог общего пользования, В.И.Котляра, А.М.Анастасюка, А.А.Щадиной, А.А.Яблочкина и др. - для лесовозных дорог.

Большой вклад в развитие расчета дорожных одежд с учетом специфики воздействия лесовозных автопоездов и природно-климатических факторов внесли Б.А.Ильин, М.М.Корунов, И.И.Леонович, Н.П.Вырко, Б.И.Кувалдин, В.М.Трибунский, А.А.Борозна и др.

Таким образом, с учетом изложенного по состоянию дорожно-транспортной сети, анализа литературных источников по расчету и проектированию слоистых дорожных одежд, для обеспечения круглогодичной вывозки заготовленной древесины необходимо создание конструкции прочной и надежной дорожной одежды, не зависящей от природно-климатических факторов, путем целенаправленного регулирования водно-теплового режима. Этот вывод послужил основанием для определения цели и задач исследова-

ния, указанных выше.

Вторая глава посвящена характеристике отходов гидролизного производства и оценке физико-механических свойств гидролизного лигнина.

На большинстве предприятий народного хозяйства образуются продукты, получение которых предопределено и нельзя этого избежать при принятом технологическом процессе и виде исходного сырья. Такие продукты в большинстве случаев называются отходами. К ним относится и гидролизный лигнин (ГЛ). По данным Госплана СССР, на Бобруйском гидролизном заводе ежегодно в процессе технологической деятельности образуется свыше 150 тыс. т ГЛ, из которых для нужд народного хозяйства используется всего около 10 %.

Сырьем для гидролизной промышленности служат древесные отходы, получаемые при лесопилении, деревообработке и т.д., а также отходы переработки сельскохозяйственных культур. Характерной особенностью гидролизных заводов является преобладание отходов над полезной продукцией. Содержание полезной продукции составляет 28-22 %, а отходов 72-78 %, из которых собственно лигнин составляет до 40 %.

ГЛ получают при гидролизе древесных отходов в гидролизаторах путем обработки этих отходов 0,5-1,0 % раствором серной кислоты при давлении 1,2-1,5 МПа и температуре 180-190 °С. После выделения из отходов требуемых продуктов в числе отходов из аппаратов выгружают и ГЛ. По внешнему виду это порошок бурого цвета, влажностью 65-75%, с размерами частиц от нескольких сантиметров до микрон. В настоящее время известно применение ГЛ в черной и цветной металлургии, в промышленности строительных материалов, в химической промышленности, в сельском хозяйстве. Новым направлением применения ГЛ следует считать его использование в дорожном строительстве.

Проведенные лабораторные исследования по определению физико-механических свойств ГЛ позволили установить, что для ГЛ характерно сочетание низких прочностных свойств (модуль упругости равен 3,26-13,33 МПа) и высоких теплофизических характеристик (коэффициент теплопроводности равен 0,080-0,210 Вт/(ч.м.К). Высота капиллярного поднятия ГЛ в I, 2-4, 2 раза меньше песков и в II-40 раз - грунтов. Угол внутреннего трения меньше, чем у песков, и больше, чем у суглинков и супесей.

В третьей главе изложена методика и подведены результа-

ты исследований физико-механических свойств теплоизоляционных прослоек на основе ГЛ, целью которых было получить состав теплоизоляционной прослойки, удовлетворяющей требованиям нормативных документов. В качестве объектов исследований были выбраны известь, портландцемент, битум нефтяной дорожный и битум в сочетании с дизельным топливом.

При поиске оптимальных составов компонентов при укреплении ГЛ и теплоизоляционных прослоек на его основе применяли методы множественной регрессии и математического планирования эксперимента (ротабельный метод). В качестве функции отклика принимали предел прочности водонасыщенных образцов при сжатии. Во время обработки экспериментальных данных на ЭВМ в соответствии с положениями регрессионного анализа при оценке математической модели процесса укреплении приняты следующие предпосылки: 1) полученная математическая модель процесса должна объяснить не менее 80 % вариации; 2) стандартная ошибка оценки прочности на сжатие по уравнению - менее 5 % предсказуемого признака; 3) оценки значимости коэффициентов регрессионного уравнения по критерию Стьюдента производились с вероятностью 0,95.

Адекватность модели в целом устанавливали по критерию Фишера.

Установлено, что результаты экспериментальных исследований аппроксимируются уравнением вида

$$R = -4,54 + 1,24X_1 + 1,26X_2 - 0,45X_3 - 0,10X_1^2 - 0,08X_2^2 + 0,01X_3^2,$$
 где R - предел прочности при сжатии, МПа; X_1 - содержание извести в композиции, %; X_2 - содержание вяжущего, %; X_3 - содержание минерального наполнителя, %.

При создании теплоизоляционной композиции ГЛ вначале необходимо обрабатывать известью, затем вносить остальные составляющие. При этом оптимальные условия приготовления следующие: продолжительность уплотнения - 3-4 мин, температура вяжущего - 60-65 °С, давление при уплотнении 10 МПа. Достаточно высокие прочностные показатели получены при испытании образцов, составленных из ГЛ + известь + вяжущее + минеральный наполнитель (МН). Содержание МН было равно 23 % и соотношение вяжущего к МН - 0,69.

Теплоизоляционные прослойки на основе ГЛ совместно с другими конструктивными слоями дорожной одежды и земляного

полотна участвуют в передаче усилий от верхних слоев и подвижных нагрузок на основание. Процессы деформирования таких материалов связаны со временем действия нагрузки и скоростью ее приложения, а величина напряжений зависит от скорости деформирования и величины деформации. Иначе говоря, эти материалы обладают реологическими свойствами. Проведенные испытания образцов на основе ГЛ с использованием установки динамического нагружения позволили получить следующие реологические параметры, приведенные в табл. I.

Таблица I

Состав теплоизоляционной прослойки		Значение параметров		
		E, МПа	H, МПа	n, с
ГЛ при влажности, %	50	13	4,3	0,026
	60	21	8,0	0,027
	70	20	7,6	0,032
ГЛ + 8 % извести + 5 % цемента		76	27	0,081
64 % ГЛ + 21 % МН + 6 % извести + 9 % вяжущего		264	92	0,064
80 % ГЛ + 8 % извести + 12 % вяжущего		260	89	0,058

Четвертая глава посвящена теоретическим исследованиям конструкции дорожной одежды, в конструктивных слоях которых располагаются теплоизоляционные прослойки на основе гидролизованного лигнина. Исследуя чашу прогиба под колесом расчетного автомобиля, автор предлагает в качестве дополнительного критерия прочности использовать радиус кривизны чаши. Установлено, что на расстоянии от центра приложения, равном диаметру отпечатка следа колеса расчетного автомобиля, кривая чаши прогиба аппроксимируется формулой

$$kg W = a_0 + a_1 H + a_2 z,$$

где W - величина прогиба покрытия, см; H - общая толщина дорожной одежды, м; z - расстояние от центра приложения нагрузки до рассматриваемой точки, м.

Численный анализ напряженно-деформированного состояния реальных слоистых вязко-упругих дорожных одежд выполнен с использованием программ (РГ П005081). Необходимые данные для вычислений устанавливались путем обобщения результатов А.М. Богуславского, Н.В. Горелышева, О.Т. Батракова, В.Д. Казарновского, И.И. Леоновича, А.П. Лащенко, П.И. Теляева, А.В. Смир-

нова и др., а также по данным лабораторных испытаний автора.

Анализ результатов исследований дорожных одежд с теплоизоляционными прослойками на основе гидролизного лигнина показывает, что при увеличении толщины покрытия изменение вертикальных просадок интенсивнее на границе покрытие - теплоизоляционная прослойка. Время действия нагрузки в большей мере сказывается на изменении численных значений вертикальных перемещений, чем толщина покрытия (рис. 1).

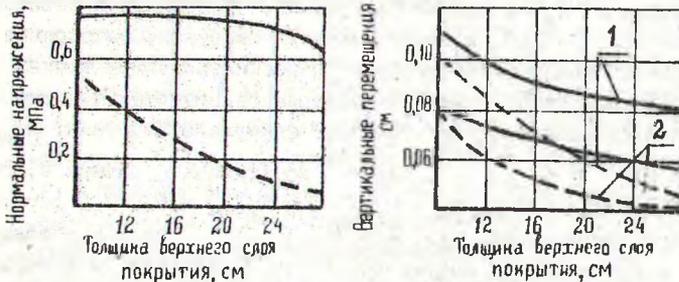


Рис. 1. Изменение напряженно-деформированного состояния дорожных одежд с теплоизоляционными прослойками. — на поверхности покрытия; - - - на поверхности теплоизоляционной прослойки; 1 - при времени действия нагрузки $t = 0,00$ с; 2 - $t = 0,03$ с

Изменение толщины теплоизоляционной прослойки в пределах (1,00-1,50) R (где R - радиус равновеликого круга) позволили уменьшить максимальные вертикальные перемещения на 11,3 % и 12,4 % при времени действия нагрузки соответственно 0,03 с и 0,06 с; снизить напряжения под колесом расчетного автомобиля на 13,7 %.

Получена равнопрочная конструкция дорожной одежды, позволяющая исключить морозозащитный слой из привозного грунта, при этом напряжения, передаваемые на грунт земляного полотна снизились на 12,5-19,2 %.

Конструкции дорожных одежд автомобильных дорог, как правило, устраиваются многослойными, конструктивные слои которых имеют различные прочностные характеристики. Решение задачи о напряженно-деформированном состоянии таких дорожных одежд методами теории упругости приводит к весьма громоздким вычислениям, сложность которых возрастает с увеличением числа слоев. Для удобства расчета их сводят к расчетным моделям, двух-, трехслойным конструкциям. В настоящее время для этих

целей используются формулы, предложенные А.М.Кривисским, И.А.Медниковым, Г.И.Покровским, Б.Н.Коганом, Союздорнии.

Для того чтобы определить качественную сторону (достоверность данных при сведении многослойных дорожных одежд к расчетным моделям) автором был просчитан на ЭВМ ряд типовых конструкций дорожных одежд нежесткого типа для условий БССР. Установлено, что существующие методики сведения дают различную степень точности вычислений параметров напряженно-деформированного состояния, которая зависит от прочностных свойств верхних (E_B) и нижних (E_H) слоев, приводимых к эквивалентному ($E_{ЭКВ}$) слою, времени действия нагрузки, расстояния от центра приложения нагрузки до рассматриваемой точки. Для практического применения автором рекомендуется применение: при отношении $E_B/E_H = 0,9-1,8$ формула Б.Н.Когана: $E_{ЭКВ} = E_{L-1} + B \frac{h_i}{D} E_i$; где B - коэффициент, равный $0,25-0,30$; при отношении $E_B/E_H = 2,0-3,5$ и $E_B/E_H = 6,0-7,0$ формула А.М.Кривисского: $E_{ЭКВ} = \left(\frac{\sum_{i=1}^n h_i E_i}{\sum_{i=1}^n h_i} \right)^{0,33} \frac{h_i}{D}$, где h_i - толщина i -го слоя, E_i - модуль упругости i -го слоя, и формула Союздорнии:

$$E_{ЭКВ} = \frac{E_{L-1}}{1 - \frac{2}{\pi} \left(1 - \frac{E_{L-1}}{E_L (E_i/E_{L-1})^{0,33}} \right) \arctg \sqrt{2,5} \left(\frac{E_L}{E_{L-1}} \right)^{0,33} \frac{h_i}{D}}$$

где D - диаметр отпечатка следа расчетного автомобиля.

При сведении многослойных дорожных одежд, в конструктивных слоях которых размещены теплоизоляционные прослойки, к расчетным моделям возможны два варианта расчета.

1. Слои сводятся к модели последовательно, начиная сверху вниз. В этом случае рекомендуется применять формулу Г.И.Покровского:

$$E_{ЭКВ} = \frac{(h_B \sqrt[3]{E_B/E_H} + h)^3}{(h_B + h_H)^3} E_H,$$

и формулу, полученную И.А.Медниковым и А.О.Салем

$$E_{ЭКВ} = \frac{E_H h_H^3 + E_B h_B^3 + 3 E_H E_B h_H h_B}{(h_B + h_H)^3 (E_H h_H + E_B h_B) (h_H + h_B)}$$

где E_B , E_H - модули упругости верхнего и нижнего слоев; h_B , h_H - толщины верхнего и нижнего слоев.

2. Слои сводятся к модели последовательно, начиная снизу вверх от слоя к слою. В этом случае рекомендуется применять формулы Союздорнии и Б.И.Когана.

Установлено также, что изменение вертикальных перемещений по глубине носит затухающий характер и при $h > 5R$ существующие методы сведения дают практически одинаковые результаты вычисления напряженно-деформированного состояния.

В пятой главе "Экспериментальные исследования конструкций дорожной одежды с теплоизоляционными прослойками на основе гидролизованного лигнина" изложены общая методика проведения экспериментов, характеристика применяемых материалов и используемого оборудования, результаты лабораторных работ.

Оценку влияния теплоизоляционной прослойки на основе ГЛ на распределение температур и влажности в конструктивных слоях дорожных одежд в процессе промерзания проводили в климатической камере "Jlka", в которую помещали цилиндрические модели дорожных одежд диаметром $0,15$ м и высотой $0,55$ м. Температуру в различных точках исследуемых конструкций фиксировали датчиками температуры ММТ-4А. По нулевой изотерме определяли скорость промерзания конструктивных слоев. Изменение влажности в процессе промерзания устанавливали до и после промерзания. Морозное пучение поверхности покрытия замерялось индикаторами часового типа.

Анализ процесса промерзания дорожных одежд с теплоизоляционными прослойками на основе ГЛ и сравнение распределения изотерм по глубине указывают на относительную эффективность теплоизоляционных прослоек по сравнению с типовой конструкцией. В любой момент времени промерзания температура в отдельных точках конструктивных слоев дорожных одежд с теплоизоляционными прослойками всегда выше, чем в соответствующих точках типовой конструкции (рис.2).

Скорость промерзания ГЛ, заложеного под дорожной одеждой в $1,10-1,18$ раза меньше скорости промерзания дорожно-строительного материала под типовой конструкцией дорожной одежды; устройство теплоизоляционной прослойки на основе ГЛ позволяет снизить величину морозного пучения в $1,23-1,41$ раза в сравнении с типовой конструкцией дорожной одежды; скорость промерзания грунтов под теплоизоляционной прослойкой в $1,21-1,28$ раза меньше, чем в типовой конструкции.

С целью получения данных о влиянии теплоизоляционной прослойки на основе ГЛ на напряженно-деформированное состояние дорожных одежд под воздействием подвижной нагрузки в

грунтовым канале БТИ имени С.М.Кирова были построены и испытаны конструкции дорожных одежд, приведенных на рис.3.

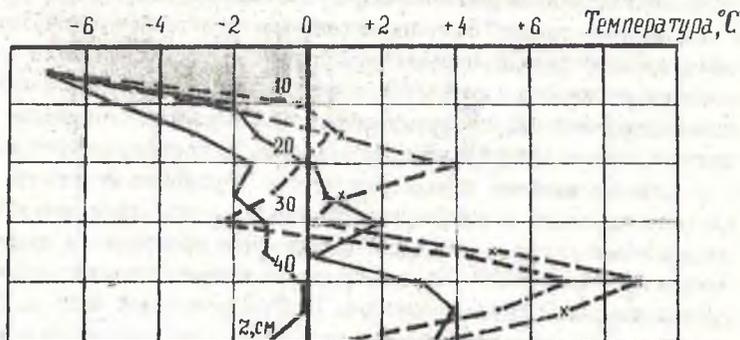


Рис.2. Распределение температур по глубине дорожной одежды: — типовой конструкцией; - - - с теплоизоляционной прослойкой; x - в момент времени $t = 18$ ч; • - $t = 40$ ч

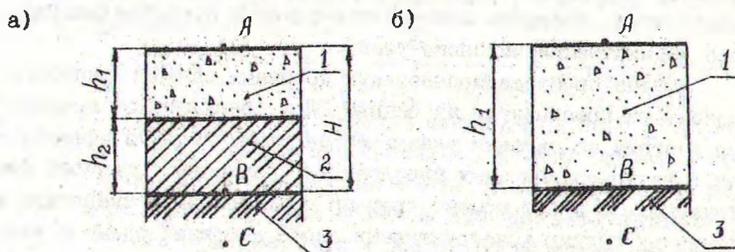


Рис.3. Конструкции дорожной одежды в грунтовой канале: 1 - песчано-гравийная смесь; 2 - ГЛ, укрепленный 8 % извести и 5 % цемента; 3 - основания земляного полотна; а - с теплоизоляционной прослойкой; б - типовая конструкция

Исследования проводились при нагрузках на ось подвижной тележки $2,4 \cdot 10^4$, $2,8 \cdot 10^4$ и $3,2 \cdot 10^4$ Н. С помощью месдоз Баранова в точках А, В, С определялись нормальные напряжения в конструктивных слоях дорожной одежды в зависимости от глубины и времени действия нагрузки. В табл.2 приведены некоторые данные, полученные при испытаниях дорожных одежд.

Результаты испытаний показали, что устройство теплоизоляционной прослойки на основе ГЛ в основании дорожной одежды (рис.3) позволило снизить напряжения, передаваемые на грунты земляного полотна, на $11,1-37,5$ %. При увеличении толщины

теплоизоляционной прослойки в 2 раза напряжения в т.В уменьшаются в 1,1-1,8 раза, увеличение толщины дорожной одежды типовой конструкции на 0,04 м уменьшило напряжения в 1,3-1,5 раза. На глубине, равной $2D$ (где D - диаметр равновеликого круга, равного по площади отпечатку следа колеса), напряжения в испытываемых конструкциях были практически равны.

Таблица 2

Величина нагрузки $Q \cdot 10^4$ Н	Время действия нагрузки, с	Изменение нормальных напряжений, % (+) - увеличение, (-) - уменьшение в точках для конструкции рис.3					
		$h_1 = 0,16$ м; $h_2 = 10$ м			$h_1 = 0,20$ м; $h_2 = 0,20$ м		
		А	В	С	А	В	С
2,4	0	+10,5	-33,3	-25,0	+21,1	-37,5	0
2,4	0,09	+10,5	-20,0	-61,1	+21,1	-27,2	-25,0
2,8	0	+ 2,5	-23,1	0	+15,8	-11,1	-12,5
2,8	0,09	+ 2,5	-25,0	-63,6	+15,8	-18,2	-11,0
3,2	0	- 4,7	-28,6	-20,0	+13,5	-11,1	0
3,2	0,09	- 4,7	-33,3	-62,5	+13,5	- 8,3	0

Оптимальный режим уплотнения теплоизоляционных прослоек на основе ГЛ исследовали в зависимости от влажности ГЛ и уплотняющей нагрузки. Установлено, что наилучшее уплотнение ГЛ достигается при влажности 60-65 % и давлении, равном 0,9-1,0 предела прочности ГЛ (для ГЛ равном 0,5-0,6 МПа); коэффициент уплотнения ГЛ при пределе прочности составляет 1,12-1,47 в зависимости от влажности.

В шестой главе приведена технология строительства и результаты производственных испытаний опытных участков автомобильных дорог с теплоизоляционными прослойками на основе ГЛ. Конструкции дорожной одежды с теплоизоляционными прослойками, апробированные в лабораторных условиях на кафедре транспорта леса БТИ имени С.М.Кирова и рассчитанные с учетом упруго-вязких свойств используемых дорожно-строительных материалов на ЭВМ ЕС-1033 (пакет прикладных программ РГ П005081) были применены при строительстве автомобильных дорог № 5, 6, 16, 18 в Воложинском районе, лесной дороги в Барезинском лесхозе, при реконструкции автомобильной дороги Раков-Радошковичи.

Принятая технология строительства мало чем отличалась от существующей и включала следующие работы: подготовительные работы, возведение земляного полотна и устройство дорож-

ной одежды. В табл.3 приведены основные операции при строительстве и необходимые дорожно-строительные машины.

Таблица 3

Основные операции	Рекомендуемые машины	Допускаемые машины
Земляное полотно		
1. Послойное распределение грунта	Бульдозер ДЗ-18	Бульдозер ДЗ-43, 62
2. Уплотнение грунта	Каток ДУ-38А	Построечный транспорт
3. Планирование тела земляного полотна	Автогрейдер ДЗ-31	Бульдозер ДЗ-42, 62
4. Транспортирование грунта	Автосамосвал МАЗ-500	Автосамосвалы любых типов
Дорожная одежда		
1. Послойное распределение ПГС, ГЛ, древесных опилок	Автогрейдер ДЗ-31	Бульдозер ДЗ-42, 62
2. Разлив жидкого вяжущего	Автогудронатор ДЗ-33а	-
3. Распределение извести	Распределитель цемента ДС-9	Туковая сеялка РТГ-4,2 Н
4. Перемешивание вяжущего с отходами	Дорожная фреза ДС-73А	Болотная фреза ФБН-2,0
5. Разравнивание готовой смеси и профилирование	Автогрейдер ДЗ-31	Бульдозер ДЗ-42, 62
6. Уплотнение дорожной одежды, теплоизоляционного слоя	Каток ДУ-38А	Построечный автотранспорт

Наблюдения за опытными участками проводили, начиная с года постройки. В производственных условиях определяли модуль упругости, величину морозного пучения, величину слоя износа покрытия и скорость движения лесовозных автопоездов.

Анализ изменения модуля упругости в течение года показал, что на всех участках устройство теплоизоляционного слоя позволяет обеспечить равнопрочный вариант дорожной одежды в течение года. На опытных участках с теплоизоляционными прослойками снижение модуля упругости в осенне-зимний период в 1,5-2,3 раза меньше, чем на участках с типовой конструкцией. При расположении теплоизоляционной прослойки в дополнительных слоях дорожной одежды снижение модуля упругости составило 10,5-13,1 %, на участках в основании земляного полотна - на 22,4-25,4 %. На рис.4 приведено изменение эксплуатационных показателей покрытия дорожной одежды опытных участков

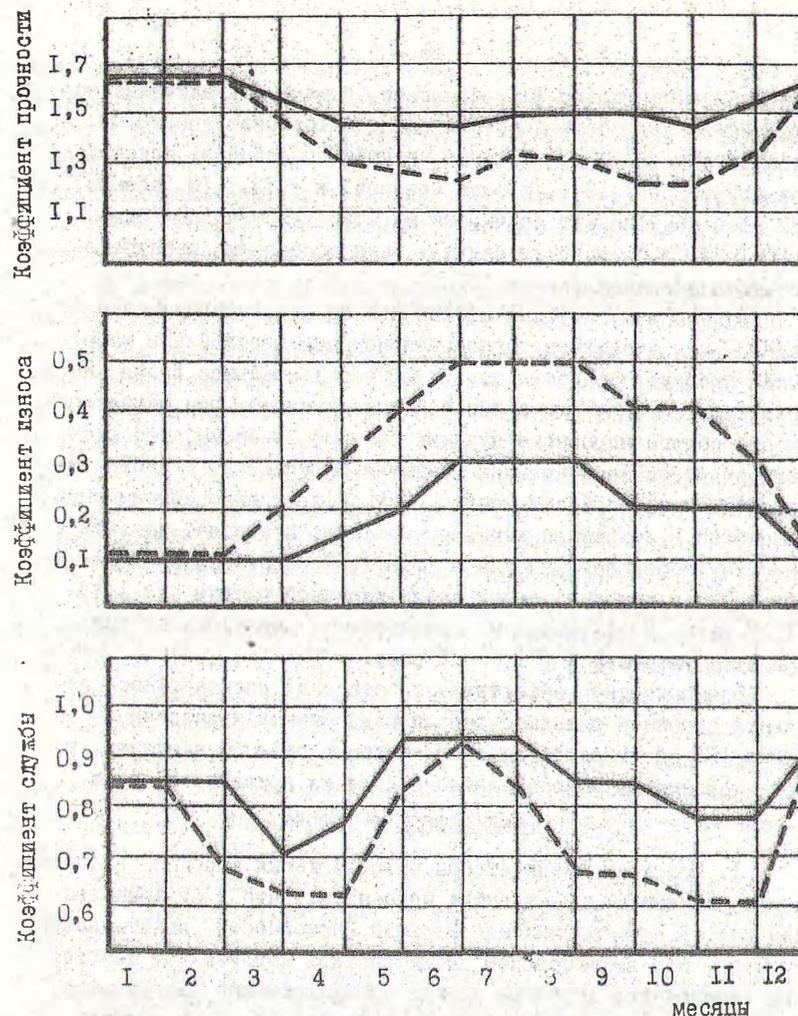


Рис. 4. Изменение эксплуатационных показателей автомобильной дороги Раков-Радошковичи: — участки с теплоизоляционными прослойками на основе гидролизного лигнина; - - - - участки с типовой конструкцией дорожной одежды.

автомобильных дорог. Так, например, отмечено увеличение коэффициента прочности дорожных одежд с теплоизоляционными прослойками в период снижения несущей способности подстилающих грунтов в I,12-I,16 раза (весной) и I,13-I,18 (осенью). При этом коэффициент прочности на этих участках был равен I,20-I,44, т.е. во всех случаях была обеспечена работоспособность дорожной одежды.

Результаты натуральных наблюдений за морозным пучением показали, что участки с теплоизоляционными прослойками имеют более высокую ровность, сохраняющуюся длительное время по сравнению с участками с типовой конструкцией. При одинаковой высоте общего морозного пучения, равной 30-46 мм, неравномерность морозного пучения покрытия по участкам с теплоизоляционными прослойками меньше. Устройство теплоизоляционной прослойки в основании земляного полотна позволяет снизить величину морозного пучения в I,13-I,27 раза, при размещении прослойки в дополнительных слоях дорожной одежды - в I,13-I,32 раза. Коэффициент неравномерности морозного пучения при этом уменьшился в I,8-3,7 раза.

Экономическая эффективность создания равнопрочного варианта дорожной одежды с теплоизоляционными прослойками на основе ГЛ достигается за счет снижения объемов земляных работ, исключения морозозащитного слоя из привозного песка.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И ПРЕДЛОЖЕНИЯ

1. Практика эксплуатации автомобильных дорог с типовыми конструкциями дорожных одежд показывает, что в большинстве случаев, в период снижения несущей способности подстилающих грунтов, под воздействием специфических нагрузок от лесовозных автопоездов дорожные одежды преждевременно разрушаются, вследствие чего не обеспечивается плановый объем вывозки заготовленной древесины.

2. Разработанная конструкция дорожной одежды нежесткого типа с теплоизоляционными прослойками на основе гидролизного лигнина обеспечивает надежную работу автомобильной лесовозной дороги в период снижения несущей способности подстилающих грунтов. Использование в качестве материала теплоизоляционных прослоек гидролизного лигнина позволяет уменьшить объемы земляных работ на 10-20 %.

3. Установлено, что для гидролизного лигнина характерно

сочетание низких прочностных (модуль упругости равен 3,26-13,33 МПа) и высоких теплофизических характеристик (коэффициент теплопроводности равен 0,08-0,21 Вт/(ч.м.К). С целью увеличения прочностных свойств гидролизного лигнина разработана теплоизоляционная композиция на его основе. Композиция состоит из гидролизного лигнина, извести, минерального наполнителя и вяжущего.

4. В качестве вяжущего рекомендуется использовать смесь битума нефтяного дорожного (50-70 %) и дизельного топлива (50-30 %). Максимальные прочностные показатели теплоизоляционной композиции достигнуты при содержании минерального наполнителя в количестве 23 % и соотношении вяжущего к минеральному наполнителю 0,69.

5. Гидролизный лигнин и композиции на его основе являются материалами, процессы деформирования которых связаны со временем действия нагрузки, скоростью ее приложения, а величина напряжений зависит от скорости деформирования и величины деформации. Реологические характеристики гидролизного лигнина и композиций на его основе изменяются в следующих пределах $E = 12-264$ МПа; $H = 4-32$ МПа; $n = 0,026-0,081$ с.

6. Гидролизуемый лигнин в качестве теплоизоляционных материалов наиболее эффективно применять:

в необработанном виде в основании земляного полотна, с обязательным устройством корыта на ширину земляного полотна по верху. При этом необходимо выполнять конструктивные мероприятия с обеспечением проектных уклонов;

в укрепленном состоянии в верхних слоях земляного полотна и дополнительных слоях дорожных одежд нежесткого типа. При использовании гидролизного лигнина в верхних слоях земляного полотна его укрепляют известью, битумом и цементом. При устройстве теплоизоляционной прослойки в дополнительных слоях дорожных одежд составляют композицию из гидролизного лигнина, извести, минерального наполнителя и вяжущего.

7. При создании теплоизоляционной композиции на основе гидролизного лигнина вначале лигнин нейтрализуется известью, затем добавляются остальные составляющие композиции.

8. В результате уточнения существующих методик сведения многослойных дорожных одежд к расчетным двух-, трехслойным моделям установлено, что существующие методики имеют разную точность по определению напряженно-деформированного состоя-

ния. В зависимости от отношений модулей упругости верхнего и нижнего слоев, а также месторасположения теплоизоляционной прослойки на основе гидролизного лигнина даны рекомендации по их практическому применению.

9. На основании экспериментальных данных и расчетов на ЭВМ установлено, что чаша прогиба покрытия зависит от расстояния от центра приложения нагрузки и общей толщины дорожной одежды. Полученные регрессионные зависимости имеют следующие коэффициенты: $\Delta = -2,04$; $\Delta = -2,04$; $\Delta = -1,86$; $\Delta = -1,74$; $\Delta = -1,01$; $\Delta = -0,99$; $\Delta = -1,49$; $\Delta = -1,59$; $\Delta = -1,67$ при времени действия нагрузки соответственно при $t = 0,00$ с, $t = 0,03$ с, $t = 0,06$ с.

10. При увеличении толщины покрытия изменение вертикальных просадок интенсивнее на границе покрытие - теплоизоляционная прослойка. Время действия нагрузки в большей мере сказывается на изменении вертикальных просадок, чем толщина покрытия. Изменение толщины прослойки в пределах 1,0-1,5 позволило уменьшить вертикальные просадки на 11,3 и 12,4 % при времени действия нагрузки $t = 0,03$ с и $t = 0,06$ с соответственно, а также снизить напряжения в конструктивных слоях дорожной одежды на 13,7 %.

11. Устройство теплоизоляционной прослойки на основе гидролизного лигнина позволяет исключить морозозащитный слой из привозного песка. При этом получена равнопрочная конструкция дорожной одежды, напряжения, передаваемые на грунт земляного полотна, снизились на 12,5-29,2 % в сравнении с типовой конструкцией дорожной одежды.

12. Разработаны технологические карты на устройство дорожной одежды с теплоизоляционными прослойками на основе гидролизного лигнина.

13. Проведенный технико-экономический расчет показывает целесообразность применения в качестве материала для устройства теплоизоляционных прослоек отходов гидролизного производства - гидролизного лигнина. Экономический эффект от строительства автомобильной лесовозной дороги с теплоизоляционными прослойками на основе гидролизного лигнина по сравнению с типовыми конструкциями дорожных одежд составляет 1,8-3,5 тыс. руб. на 1 км дороги.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

1. Лыщик П.А., Касперов Г.И. Применение прослоек при регулировании водно-теплого режима лесовозных дорог // Тез. докл. научно-техн. конф. - Гомель, 1984. - С. 31-33.

2. Лыщик П.А., Касперов Г.И. Эффективность применения прослоек при строительстве лесовозных дорог // Механизация лесоразработок и транспорт леса. - Минск, 1985. - С.64-68.

3. Лащенко А.П., Романовская Е.Г., Касперов Г.И. Использование отходов лесной промышленности в дорожном строительстве // Тез. докл. всесоюз. научно-техн. совещания. - М., 1985. - С. 34-35.

4. Лащенко А.П., Касперов Г.И., Романовская Е.Г. Эффективность использования ЭВМ при расчете дорожных одежд со слоями из местных материалов // Тез. докл. всесоюз. научно-техн. конф. - Ташкент, 1985. - С. 214-215.

5. Вырко Н.П., Касперов Г.И. Влияние месторасположения теплоизоляционной прослойки на поле температур в дорожной конструкции // Тез. докл. регион. научно-техн. конф. - Владимир, 1985. - С. 36.

6. А.с. № 1325914 (не публикуется).

7. Вырко Н.П., Лащенко А.П., Касперов Г.И. Использование отходов лесной промышленности в конструктивных слоях дорожных одежд // Тез. докл. регион. научно-техн. конф. - Владимир, 1988. - С. 73.

8. Вырко Н.П., Лащенко А.П., Касперов Г.И. К вопросу применения гидролизного лигнина в конструктивных слоях дорожных одежд // Тез. докл. всесоюз. научно-техн. конф. - Архангельск, 1989. - С. 137-138.

9. Вырко Н.П., Лащенко А.П., Касперов Г.И. Композиты на основе гидролизного лигнина для дорожного строительства // Тез. докл. научно-техн. конф. - Суздаль, 1989. - С.49.

10. Вырко Н.П., Лащенко А.П., Касперов Г.И. Теплоизоляционные прослойки из гидролизного лигнина // Лесн. пром.-сть. - 1990. - № 3. - С. 24-25.

11. Касперов Г.И., Громыко Л.Г. Экспериментальные исследования конструкций дорожной одежды с теплоизоляционным слоем // Тез. регион. научно-техн. конф. - Владимир, 1990. - С.28.

12. Вырко Н.П., Лащенко А.П., Касперов Г.И. Конструирование дорожных одежд с прослойками из отходов промышленности

// Тез. докл. регион. научно-техн. конф. - Владимир, 1990. - С. 102.

13. Касперов Г.И. Лабораторные исследования параметров уплотнения композиций на основе гидролизного лигнина // Тез. докл. научно-техн. конф. - Минск, 1990. - С. 67.

14. Вырко Н.П., Лащенко А.П., Касперов Г.И. Конструирование дорожных одежд с прослойками из гидролизного лигнина // Тез. докл. научно-техн. конф. - Минск, 1990. - С. 65.

15. Касперов Г.И. Экспериментальные исследования по применению гидролизного лигнина в конструкциях дорожных одежд // Технология и оборудование заготовки и переработки древесины. - Минск, 1991. - С. 24-26.

16. Вырко Н.П., Лащенко А.П., Касперов Г.И. Экспериментальные исследования конструкции дорожной одежды с теплоизоляционным слоем // Известия ВУЗов. Лесной журнал. - 1991. - № 3. - С. 126-128.

РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЫ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГИДРОЛИЗНОГО ЛИГНИНА ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ
КРУГЛОГОДОВОЙ ВЫВОЗКИ ЗАГОТОВЛЕННОЙ ДРЕВЕСИНЫ

Касперов Георгий Иванович

Подписано в печать 18.12.91. Формат 60x84¹/₁₆. Печать офсетная.
Усл. печ. л. 1,4. Усл. кр.-отт. 1,4. Уч.-изд. л. 1,2.

Тираж 100 экз. Заказ 545. Бесплатно.

Белорусский ордена Трудового Красного Знамени технологический институт им. С.М. Кирова. 220630. Минск, Свердлова, 13а.

Отпечатано на ротапринте Белорусского ордена Трудового Красного Знамени технологического института им. С.М. Кирова.

220630. Минск, Свердлова, 13.