

625.7

К-93

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО  
ОБРАЗОВАНИЯ БССР

БЕЛОРУССКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ  
ИМЕНИ С. М. КИРОВА

*На правах рукописи*

В. К. КУРЬЯНОВ

**ИССЛЕДОВАНИЕ НЕКОТОРЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ  
И ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ  
ДРЕВЕСНО-ЦЕМЕНТНОГО БЕТОНА И ЕГО ПРИМЕНЕНИЕ  
ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ЛЕСОВОЗНЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ  
ДОРОГ**

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

БИБЛИОТЕКА БТИ  
ИМЕНИ С. М. КИРОВА

МИНСК, 1986 г.

625.7  
К-93

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО  
ОБРАЗОВАНИЯ БССР

БЕЛОРУССКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ  
ИМЕНИ С. М. КИРОВА

*На правах рукописи*

В. К. КУРЬЯНОВ

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕКОТОРЫХ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ И ФИЗИКО-  
МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ДРЕВЕСНО-  
ЦЕМЕНТНОГО БЕТОНА И ЕГО ПРИМЕНЕНИЕ  
ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ЛЕСОВОЗНЫХ  
АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ.

18/6/1966

АВТОРЕФЕРАТ  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Научный руководитель —  
доцент, кандидат техни-  
ческих наук  
**В. И. Гарузов**

БИБЛИОТЕКА БТИ  
ИМЕНИ С. М. КИРОВА

МИНСК, 1966 г.

Диссертационная работа, выполненная в лаборатории кафедры механизации лесоразработок и транспорта леса Воронежского лесотехнического института, состоит из предисловия, восьми глав, общим объемом 216 страниц, 58 рисунков, 34 таблиц, списка цитированной литературы из 140 наименований, в том числе 15 на иностранных языках и тома приложений, общим объемом 65 страниц.

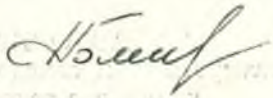
Производственные испытания проводились в Крестецком комплексном леспромхозе ЦНИИМЭ.

Автореферат разослан 24 января 1967 г.

Защита состоится 1 марта 1967 г.

Просим Ваши отзывы на автореферат в двух экземплярах с заверенными подписями прислать по адресу: г. Минск, ул. Свердлова, 13, Белорусский технологический институт имени С. М. Кирова.

Ученый секретарь совета



В лесозаготовительной промышленности еще в значительных объемах строятся грунтовые и деревянно-лежневые автомобильные дороги. Эти дороги имеют небольшой срок эксплуатации, не обеспечивают бесперебойную круглогодичную работу предприятий по вывозке древесины и тормозят экономическое развитие глубинных районов страны. Кроме этого, на строительство деревянно-лежневых дорог расходуется большое количество деловой древесины.

За последнее семилетие в лесозаготовительной промышленности увеличилось применение сборного железобетона для колеяного покрытия лесовозных автомобильных дорог. При изготовлении такого бетона чаще всего использовали гравий или щебень. В настоящее время, в связи с широкой программой строительства сети автомобильных дорог с усовершенствованными типами покрытий, значительно увеличивается объем строительства колеяных лесовозных дорог с железобетонным и бетонным покрытием. К концу пятилетнего плана развития народного хозяйства нашей страны ожидаемое наличие таких дорог должно составить по протяженности 7400 км. В связи с этим большую остроту и актуальность приобретают вопросы всемерного использования в дорожном строительстве местных малопрочных материалов, отходов химической, лесозаготовительной и других отраслей промышленности с учетом их характеристик и особенностей работы в конкретных физико-географических условиях отдельных районов нашей страны, а также с учетом методов обработки и укладки в дорожные конструкции, учитывая соблюдение экономически целесообразных межремонтных сроков и стоимости ремонтов в эксплуатации.

Теоретические исследования и научные обобщения в области применения местных малопрочных материалов следует

направить в сторону дальнейшей разработки способов регулирования и управления качественными характеристиками местных материалов, выработки новых технологических приемов переработки и обработки материалов, позволяющих получить достаточно прочные, долговечные и экономичные дорожные покрытия. Важное место в решении этих задач должно занять изучение возможностей дальнейшего привлечения различных побочных продуктов и отходов химической, лесной и деревообрабатывающей промышленности при строительстве лесовозных автомобильных дорог.

Одним из таких материалов является древесно-цементный бетон, для изготовления которого используются измельченные отходы деревообрабатывающей, лесопильной и лесозаготовительной промышленности, цемент, химические ускорители твердения и вода. Такой бетон сочетает положительные свойства как легких, так и тяжелых бетонов, превосходя по комплексу отдельных свойств те и другие.

Возможность получения изделий из этого материала по прогрессивному способу производства обеспечит широкое распространение его в строительстве. Но в настоящее время имеются в литературе лишь некоторые данные о технологии производства этого вида бетона, а в качестве строительных характеристик указываются только прочностные показатели.

Детального, систематического исследования этого материала в литературе не имеется. Для выяснения вопроса поведения древесно-цементного бетона в эксплуатационных условиях необходимо детальное изучение физико-механических, упругопластических свойств и деформативной способности указанного бетона. Изучению этих вопросов и посвящена диссертационная работа.

## Глава I

### **ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ СБОРНО-РАЗБОРНЫХ БЕТОННЫХ И ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОЛЕЙНЫХ ДОРОЖНЫХ ПОКРЫТИЙ В СОВЕТСКОМ СОЮЗЕ**

На современном этапе развития лесной промышленности и лесного хозяйства возникли новые задачи в области строительства и использования лесного транспорта, и прежде все-



го, автомобильного, занимающего ведущее место среди других видов сухопутного транспорта леса.

По автомобильным дорогам в настоящее время вывозится около 67% всей заготавливаемой древесины. К концу 1970 г. вывозку древесины по автомобильным дорогам предусматривается довести до 75%. Основные объемы лесозаготовок планируются в многолесных районах Северо-Запада, Урала, Сибири и Дальнего Востока, где и должны концентрироваться основные объемы дорожного строительства.

Особенностью современного дорожного строительства на лесозаготовках является то, что наряду с расширением программы строительства сети магистральных автомобильных лесовозных дорог, необходимо построить в короткие сроки большое количество подъездных путей: веток и усов. В связи с этим в § I первой главы диссертации дан анализ основных направлений развития дорожного строительства в лесу.

Протяженность основных автомобильных лесовозных дорог по Минлесбумдревпрому составляет 56 970 км. Кроме этого, ежегодно строится около 30 тыс. км усов со сроком действия до одного года.

К концу 1970 года в эксплуатации должно находиться 61 520 км основных лесовозных автомобильных дорог.

Распределение существующих дорог по типам покрытий характеризуется данными обследования состояния лесовозного транспорта, проведенного Гипролестрансом и ЦНИИМЭ по основным лесозаготовительным районам РСФСР (табл. 1).

Таблица 1

Дороги	Количество дорог	Протяженность	
		км	% %
1. Колейные железобетонные	12	195	0.53
2. Гравийные	287	8108	21.50
3. Стабилизированные	4	22	0.06
4. Деревянно-лежневые	381	7753	20.62
5. Дерево-грунтовые	50	1286	3.44
6. Грунтовые	650	16233	43.30
7. Самостоятельные зимние	185	3978	10.55
Итого:	1569	37575	100,0

Преобладающие в лесной промышленности грунтовые дороги мало эффективны и не могут полностью удовлетворять возросших требований автомобильного транспорта.

Расчеты и опыт эксплуатации показывают, что вывозка леса на автомобильных дорогах с железобетонным, гравийным и стабилизированным покрытием обеспечивает круглогодичную работу предприятия при значительном снижении себестоимости вывозки леса. Внедрение усовершенствованных типов покрытий позволяет резко улучшить работу транспорта и снизить себестоимость вывозки в среднем на 15 ÷ 30%.

Строительство и реконструкция новых лесовозных автомобильных дорог должны осуществляться с расчетом длительного срока их эксплуатации, так как создание новых лесозаготовительных предприятий требует вести лесозаготовку сырья на основе длительного лесопользования с полным обеспечением лесовосстановления и мероприятий, обеспечивающих максимальный годовой прирост. В лесосырьевых базах предприятий нового типа лесовозные дороги, в том числе и дороги кратковременного действия, полностью не исчерпывают своего назначения после разработки лесосек. Здесь должны строиться лесовозные дороги длительного действия из расчета последующего обеспечения лесохозяйственных, лесомелиоративных и противопожарных мероприятий. После вырубки леса, в течение длительного периода, необходимо проводить рубки ухода (осветление, прочистка, прореживание, проходные и санитарные рубки). В процессе перечисленных выше работ на одну и ту же территорию требуется возвращаться несколько раз. Вместе с этим следует учесть, что в связи с организацией в многолесных районах Союза крупных лесозаготовительных комплексов с полным использованием древесины, включая и отходы, создаются предпосылки совмещения лесовозного автомобильного транспорта с транзитным. В этих случаях автомобилями целесообразно на большие расстояния поставлять лес комплексным предприятиям непосредственно деревьями с кронами. Должно учитываться и то обстоятельство, что лесовозные дороги одновременно могут служить средством развития экономики и культуры в районах их действия.

Однако устройство общепринятых конструкций дорожных покрытий, в силу известной трудоемкости их и высокой стоимости, сопряжено со значительными трудностями (отсутствие местных дорожно-строительных материалов и т. д.) и часто экономически не оправдывается.

Очевидно, что в поисках наилучшего решения было бы неправильно ориентироваться на усовершенствование обще-

принятых дорожных покрытий. Задача заключается в том, чтобы для специфических условий в лесу, когда по-новому, в единстве рассматриваются вопросы промышленного освоения лесов и развития лесного хозяйства, создать технически обоснованную и экономически целесообразную конструкцию дорожного покрытия, практическое осуществление которой стояло бы на уровне современных задач строительного производства.

Этим требованиям в наибольшей мере отвечают сборно-разборные колеиные покрытия, для изготовления которых необходимо материалов на 30 ÷ 40% меньше, чем для сплошных покрытий.

Во втором-третьем параграфах первой главы диссертации дан анализ основных направлений исследовательских и конструкторских работ в области применения сборно-разборных бетонных и железобетонных колеиных покрытий и оценка имеющихся в настоящее время конструкций колеиных покрытий с точки зрения их соответствия техническим условиям строительства и эксплуатации в лесу.

В СССР проводятся глубокие комплексные исследования различных видов колеиных покрытий. Для работ советских ученых (К. С. Теренецкого, А. Е. Страментова, А. А. Калерта, А. К. Бируля, Л. В. Новикова, М. М. Корунова, В. И. Гарузова, И. И. Леоновича, А. В. Яковлева, П. П. Коваленко, С. В. Коновалова, А. М. Кривисского, Г. Е. Шинкаренко, Д. В. Галанцева, И. И. Гаврилова, Б. И. Шатова, Б. Н. Смирнова, С. Н. Некрасова и др.) характерно сочетание теоретических и лабораторных исследований с натурными испытаниями, проводимыми в производственных условиях.

Ряд исследований по сборно-разборным покрытиям выполнен за рубежом (в Польше, Чехословакии, Голландии и др.).

В результате работ советских и зарубежных исследователей выявлено большое количество конструктивных форм покрытий. Многими авторами был описан опыт строительства и эксплуатации этих покрытий. Однако недостаток широкой и методически правильной опытной проверки конструкций не позволяет сделать из них выбор наилучших для различных случаев, не предпринималось серьезных попыток к теоретическому обобщению опыта строительства и эксплуатации колеиных покрытий лесовозных автомобильных дорог для спе-



цифических условий лесной промышленности и лесного хозяйства.

В связи с этим в четвертом-пятом параграфах первой главы диссертации ставится задача обосновать конструкцию плиты сборно-разборного колейного покрытия для лесовозных автомобильных дорог и выяснить условия работы элементов сборно-разборных колейных покрытий.

Для решения указанных задач были проведены теоретические и экспериментальные исследования, подробно освещенные в диссертационной работе.

На основе обобщений результатов экспериментальных исследований в диссертации разработана конструкция «косоугольной» плиты, а также конструкции стыкового соединения к ней, обеспечивающие устойчивость стыка как в продольном, так и в вертикальном направлениях и позволяющие воспринимать часть изгибающего момента ( $30 \div 45\%$ ) при прохождении колеса автомобиля по колесопроводу.

В шестом параграфе рассматривается вопрос об установлении целесообразности применения древесно-цементного бетона в конструкциях плит сборных колейных покрытий лесовозных автомобильных дорог.

Колейные покрытия могут изготавливаться из металла, железобетона, дерева и некоторых видов синтетических материалов и все они заслуживают изучения и развития. Однако сборно-разборные колейные покрытия из древесно-цементного бетона обладают значительной прочностью, не подвержены гниению и коррозии, универсальны по доступности их изготовления в леспромхозах.

## Глава II

### ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ И МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ РАБОТ

Во второй главе диссертации коротко освещены история и состояние вопроса, методика проведения экспериментальных работ, сформулированы цели и задачи работы.

Ранее древесно-цементный бетон применялся главным образом в стеновых конструкциях. Для окончательного решения вопроса о возможности применения древесно-цементного бетона в плитах колейного покрытия лесовозных автомобильных дорог необходимо было выяснить некоторые недостаточно изученные в настоящее время его свойства.

Учитывая, что физико-механические свойства древесно-

цементного бетона имеют важное значение для рационального использования его в конструкциях, целью нашей работы было изучение возможных путей улучшения основных свойств (прочности, деформативности).

В работе использованы основные положения общей теории легких бетонов на экспериментальной основе, разработанные Н. А. Поповым, и гипотезы А. И. Ваганова, по которой до известного предела прочность легкого бетона определяется прочностью содержащегося в нем раствора и, следовательно, зависит от содержания и строения раствора в легком бетоне. Раствором условно считается часть бетонной смеси с зернами менее 5 мм.

Первой задачей явилось изыскание таких технологических приемов, которые обеспечивают получение древесно-цементного бетона требуемого строения, веса и прочности.

Строение бетона является функцией фракционного состава, степени его уплотнения и т. д. Поэтому изучалось влияние фракционного состава древесных заполнителей и методов формования. Значительное внимание было уделено выявлению влияния мелких фракций древесных заполнителей на формирование строения растворной части древесно-цементного бетона. Учитывая, что количество и качество раствора зависят от содержания в бетоне вяжущего, изучалось также влияние расхода цемента.

Второй задачей явилось изучение показателей физико-механических свойств древесно-цементного бетона, необходимых для проектирования и расчета конструкций плит колеевого покрытия, а именно: влияние формы и размеров образцов на прочность при сжатии, возможной в определенных условиях связи между прочностью и объемным весом, прочности при растяжении, прочности сцепления с арматурой, водостойкости, морозостойкости и износостойкости, сопротивления многократно-повторным нагрузкам. Эти задачи были решены в ходе лабораторных испытаний.

Наша страна располагает значительными ресурсами древесных ~~заполнителей~~<sup>1</sup>, и проведенные исследования в ГИПРОСЕЛЬСТРОЕ, НИИЖБе, ВНИИНСМе, ЦНИИСе имени В. А. Кучеренко, НИИСФе, НИИЭСе Госстроя СССР, ЦНИИМЭ, а также в ВЛТИ показали, что они могут быть с успехом применены для приготовления древесно-цементного

---

<sup>1</sup> Из общего объема заготавливаемой в СССР древесины около 400 млн. м<sup>3</sup> — 40% получается в виде дров или древесных отходов.

бетона. Использование этих заполнителей может диктоваться как экономическими соображениями (когда, например, древесные заполнители являются местным дешевым сырьем и практически не используются), так и необходимостью придания бетону специальных свойств.

Применение заполнителей из отходов древесины является частичным решением задачи рационального использования древесных отходов и имеет большое народнохозяйственное значение — резко уменьшается объем перевозок каменных материалов, облегчаются монтажные средства, уменьшается трудоемкость монтажа. Расчеты показывают, что использование только лесосечных отходов с одного км протяженности лесовозной дороги может полностью обеспечить данный участок в жестком покрытии колеяного типа.

При подборе фракционного состава древесных заполнителей были проведены предварительные опыты, которые показали, что для повышения плотности и прочности древесно-цементного бетона, а также улучшения удобоукладываемости древесно-цементных смесей целесообразно применять древесные заполнители с большим содержанием фракций 5÷10 мм (по длине).

В наших опытах древесно-цементный бетон имел наилучшие показатели по прочности и расходу цемента при содержании указанных фракций в количестве около 45% от суммы объемов древесных заполнителей.

Изыскивая способы повышения прочности древесно-цементного бетона в первые и последующие сроки твердения, мы использовали в качестве ускорителя твердения комплексную добавку «гипс + молотая негашеная известь + соляная кислота».

При введении в портландцемент комплексной добавки применялись:

1. Гипс двухводный ( $2\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ), удовлетворяющий требованиям ГОСТа 125-57.

2. Известь молотая негашеная (ГОСТ 9179-59), изготовленная на Грязинской полузаводской установке по обжигу карбоната кальция в виде известняка или мела.

3. Соляная кислота (ГОСТ 3118-46). При экспериментальных работах применялась соляная кислота с содержанием 20%  $\text{HCl}$ , с плотностью ее  $\rho=1,008 \text{ г/см}^3$  при 20°C.

В результате проведенного теоретического анализа и отработки технологических приемов в лабораторных условиях,

нами предложен новый быстротвердеющий состав на основе портландцемента:

- |                              |        |
|------------------------------|--------|
| 1. Портландцемент            | — 100% |
| 2. Гипс                      | — 2%   |
| 3. Молотая негашеная известь | — 15%  |
| 4. Соляная кислота           | — 2%   |

Комплексное сочетание указанных добавок оказывает большое влияние на протекание процесса в начальный период твердения, выражающееся в изменении сроков схватывания, пластичности и скорости твердения, что является одним из основных средств ранней распалубки плит из древесно-цементного бетона и играет важную роль в скоростном строительстве. Так, комплексное введение добавок в портландцемент (марка 400) обеспечило в суточном возрасте повышение прочности бетона до  $25 \text{ кг/см}^2$  против прочности  $10 \div 12 \text{ кг/см}^2$  в том же возрасте и при том же расходе цемента, но без ввода добавок.

Технология приготовления быстротвердеющего древесно-цементного бетона не требует сложного оборудования и отличается от технологии обычных бетонов только тем, что затворение смеси (портландцемент + древесные заполнители) производится водным раствором соляной кислоты. Приготовление смеси производится в существующих растворомешалках или бетономешалках. Вначале из сетчатого контейнера в смесительный барабан бетономешалки подается увлажненная дробленка, затем необходимое количество водного раствора соляной кислоты. Время перемешивания этих компонентов между собой —  $2 \div 3$  минуты, после чего в смесительный барабан подаются остальные компоненты и вся масса снова перемешивается в пределах от 4 до 5 минут.

Разработаны технологические операции приготовления и транспортирования смеси. Установлено, что допустимый интервал времени для технологических процессов не должен превышать полутора часов с момента приготовления смеси.

Все этапы исследования проведены по методике, которая известна сейчас в технологии тяжелых и легких бетонов.



## ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ДРЕВЕСНО-ЦЕМЕНТНОЙ СМЕСИ

В связи с тем, что в наших исследованиях удобоукладываемость древесно-цементной смеси определялась способами, которыми пользуются в технологии тяжелых бетонов, была сделана попытка выяснить, в какой степени этими методами можно пользоваться в данном случае. С этой целью нами исследовалось влияние расхода воды, цемента и древесных заполнителей на показатели удобоукладываемости древесно-цементного бетона.

**Влияние расхода воды и цемента.** Для выяснения влияния расхода воды на удобоукладываемость древесно-цементной смеси были приготовлены смеси на пяти цементах с различными расходами воды. Расход вяжущего на 1 м<sup>3</sup> бетона был принят 280, 350 и 450 кг.

Исследованиями удобоукладываемости смеси в вискозиметре установлено, что жесткость ее в определенных пределах уменьшается с увеличением расхода воды. При этом различные марки цемента и различный их расход не нарушают эту общую закономерность. При оценке подвижности смеси осадкой конуса (в см) отклонение получается больше, чем при определении жесткости (в сек).

Однако в обоих случаях можно указать некоторую среднюю линию, показывающую прямолинейную зависимость показателей удобоукладываемости от расхода воды. Отклонения же от прямой при данном фракционном составе заполнителей зависят от вида и расхода цемента.

Для проверки теоретических предпосылок о линейной зависимости удобоукладываемости от расхода воды найдено корреляционное уравнение

$$y = 248,58 - 0,654 x_1.$$

Основная ошибка

$$\sigma_{y_1} = \sqrt{\frac{\bar{y}_1}{n}} = 0,277.$$

С изменением расхода цемента от 280 до 450 кг/м<sup>3</sup> расход воды для получения равноподвижных смесей изменяется в среднем на 7—16%. Следовательно, с изменением расхода цемента подвижность или жесткость древесно-цементной сме-

си изменяется в меньшей степени, чем при изменении расхода воды.

Данное явление наблюдается и при исследовании обычных бетонных смесей на каменных заполнителях.

**Влияние вида древесных заполнителей.** Подвижность древесно-цементных смесей, изготовленных на древесных заполнителях хвойных и лиственных пород, оказалась практически одинаковой.

Повышение расхода мелких фракций древесных заполнителей от 35 до 55% (по объему), при примерно одинаковом расходе воды и цемента, повышает жесткость смеси на  $8 \div 16\%$  в связи с тем, что увеличивается удельная поверхность заполнителей и расход воды на ее смачивание.

**Коэффициент уплотняемости древесно-цементной смеси.** Данные исследований подтверждают непостоянство коэффициента уплотняемости, поэтому при изготовлении на заводах изделий из древесно-цементного бетона им пользоваться можно для оценки качества смеси в том случае, если древесно-цементная смесь будет готовиться при одних и тех же условиях.

**Коэффициент выхода древесно-цементного бетона.** Коэффициент выхода древесно-цементного бетона определялся на смесях, приготовленных на заполнителях из отходов древесины хвойных, лиственных и смешанных пород. Расход цемента колебался от 300 до 450 кг на  $1 \text{ м}^3$  уложенного бетона. Расход воды составлял от 220 до 340 л.

Коэффициент выхода определялся на 100 замесах, в том числе на быстротвердеющем составе — на 50 замесах.

Результаты определения коэффициента выхода древесно-цементного бетона обработаны статистическим методом. Среднеквадратическое отклонение ( $\sigma$ ) от величины среднего коэффициента ( $M = 0,64$ ) выхода равно  $\pm 0,0523$ , а показатель изменчивости, т. е. отношение  $\frac{\sigma}{M}$  составляет 0,082.

При математической обработке показателей выхода древесно-цементного бетона выяснилось весьма интересное явление. Независимо от вида древесных заполнителей общий расход по объему сухих материалов на  $1 \text{ м}^3$  бетона колебался в пределах, указанных в таблице 2

Из таблицы 2 видно, что для получения плотного бетона общий расход сухих материалов на  $1 \text{ м}^3$  бетона колеблется в небольших пределах, поэтому данная закономерность мо-

Расход сухих материалов на 1 м<sup>3</sup> древесно-цементного бетона

Вид заполнителя	Число взятых проб	Средний расход сухих материалов на 1 м <sup>3</sup> бетона, л	Пределы расходы всех сухих материалов на 1 м <sup>3</sup> бетона, л	Расход вяжущего на 1 м <sup>3</sup> бетона, кг	Отклонение расходов сухих материалов от среднего, %	
					+	-

Древесные заполнители смешанных пород

20	1520,0	1451—1596	329—390	5	4,53	
То же	30	1575,0	1456—1694	378—508	7,55	7,55

**Примечание.** В табл. 2 минимальный расход материалов по объему соответствует наименьшему расходу вяжущего, а максимальный расход материалов — максимальному расходу вяжущего.

жет быть с успехом использована для предварительного определения расходов отдельных составляющих на 1 м<sup>3</sup> бетона.

**Ускорение твердения древесно-цементного бетона.** В § 5 II главы диссертации рассматривается вопрос об энергетике реакций, лежащих в основе гидратации и твердения портландцемента при введении в его состав комплексной добавки.

Приведенный в данном параграфе термодинамический расчет возможности протекания реакций в сложной системе  $\text{CaO} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{Fe}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2 - \text{CaSO}_4 - \text{H}_2\text{O}$  при добавлении к портландцементу гипса, молотой негашеной извести и соляной кислоты позволяет наметить пределы направленного структурообразования путем введения оптимальных количеств указанных добавок в строго определенной последовательности.

Сопоставление величин  $\Delta Z^0_{298}$  в системе  $\text{HCl} - \text{CaSO}_4 - \text{Ca}(\text{OH})_2 - \text{H}_2\text{O}$  показывает протекание реакций в определенной последовательности (исходя из термодинамической предпочтительности, качественно оцененной по сравнительным величинам изобарно-изотермического потенциала).

Возникновение промежуточных и побочных реакций в рассматриваемой сложной системе вызывает смещение равновесия и оказывает большое влияние на протекание процессов в начальный период твердения цемента.

Направление и последовательность реакций образования конечного продукта процессов гидросульфаталюмината кальция высокосульфатной формы позволило рассчитать оптимальное для их полного протекания количество добавок.

### ИССЛЕДОВАНИЕ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ОБЪЕМНЫЙ ВЕС И ПРОЧНОСТЬ ДРЕВЕСНО-ЦЕМЕНТНОГО БЕТОНА

Прочность древесно-цементного бетона при сжатии зависит в первую очередь от количества и качества составляющих бетона и является одной из важнейших его характеристик. Кроме того, на прочность бетона большое влияние оказывают технологические факторы: способы уплотнения и укладки смеси, режимы уплотнения, способы ускорения твердения и т. д.

**Влияние способа приготовления древесно-цементного бетона.** Предел прочности древесно-цементного бетона (табл. 3), изготовленного на быстротвердеющем составе при водовяжущем отношении (В/В)  $0,51 \div 0,63$ , получился при втором способе выше, чем предел прочности при первом и третьем способах, соответственно, в среднем на 14,3% и 26,3%.

**Влияние уплотнения древесно-цементных смесей при различных формах колебаний.** Нами проводились исследования по уплотнению древесно-цементных смесей при различных видах и формах колебаний.

Установлено, что жесткость смеси, определенная с помощью технического вискозиметра, при горизонтальной и вертикальной вибрациях различны. Различие в жесткости смеси тем больше, чем ниже водовяжущее отношение.

Сравнительная эффективность обоих видов вибраций определялась также по прочности и плотности кубов: все серии образцов, отформованных при горизонтальной вибрации, дают пониженную прочность в среднем на 15,3%.

Эти опыты показали, что древесно-цементный бетон целесообразно уплотнять на виброплощадках, имеющих преимущественно вертикальное направление колебаний с амплитудой около 1 мм.

Экспериментами установлено, что между прочностью и объемным весом древесно-цементного бетона, уплотненного различными способами, наблюдается прямолинейная зависимость. Однако при повышении прочности бетона при сжатии с 30 до 65 кг/см<sup>2</sup> (т. е. в 2,16 раза) объемный вес после интенсивной вибрации изменился лишь с 0,920 до 1,015 т/м<sup>3</sup> (или всего на 9,4%).



Прочность древесно-цементного бетона (на древесных заполнителях на быстротвердеющем составе на основе портландцемента (М-400))

№ серии	Способ приготовления древесно-цементной смеси	Расход материалов на 1 м <sup>3</sup> бетона, кг						В/В	Объемный вес свежеуложенного бетона в т/м <sup>3</sup>	Жесткость в сек.	Объемный вес бетона при испытании в т/м <sup>3</sup>	Предел прочности в кг/см <sup>2</sup>
		портланд-цемент	соляная кислота	молотая известковая пыль	гипс	древесные заполнители	вода					
1-я серия	1-й	300,0	6,0	45,0	6,0	429	220		1,006		0,950	43,0
	2-й	300,0	6,0	45,0	6,0	429	220	0,63	1,006	40	0,968	48,0
	3-й	300,0	6,0	45,0	6,0	429	220		1,006		0,922	39,0
2-я серия	1-й	350,0	7,0	52,5	7,0	429	225		1,071		0,960	45,0
	2-й	350,0	7,0	52,5	7,0	429	225	0,55	1,071	50	0,990	55,0
	3-й	350,0	7,0	52,5	7,0	429	225		1,071		0,930	41,0
3-я серия	1-й	400,0	8,0	60,0	8,0	410	240		1,126		0,996	56,0
	2-й	400,0	8,0	60,0	8,0	410	240	0,51	1,126	60	1,010	65,0
	3-й	400,0	8,0	60,0	8,0	410	240		1,126		0,993	44,0

Примечание: 1-й способ — в процессе перемешивания в течение 6—8 минут затворение смеси производится водным раствором соляной кислоты.

2-й способ — в процессе работы использовали виброперемешивание.

3-й способ — перемешивание вручную.

18/10/99

## Глава V

## ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ДРЕВЕСНО-ЦЕМЕНТНОГО БЕТОНА

В пятой главе приводятся результаты изучения прочности и деформативных свойств древесно-цементного бетона.

Форма и размеры образцов влияют на их прочность. Влияние размеров кубов на показатели прочности древесно-цементного бетона зависит, как известно, от сил трения, которые препятствуют уплотнению смеси при формировании образца, и поперечному растяжению бетона при его испытании на сжатие. Эти факторы нашли отражение в наших результатах.

На основании данных проведенных испытаний можно рекомендовать для древесно-цементного бетона на древесных заполнителях принимать с некоторым приближением коэффициент перехода от кубиковой к призмной прочности равным 0,90 ÷ 0,95.

Прочность древесно-цементного бетона при растяжении зависит от содержания и вида составляющих, размера образца, способа испытания и т. д.

Наши испытания показали, что предел прочности при растяжении  $R_p$  образцов из древесно-цементного бетона, как правило, выше, чем у обычного бетона соответствующей марки. Опыты показали, что с увеличением кубиковой прочности древесно-цементного бетона отношение  $\frac{R_p}{R_{куб}}$  уменьшается следующим образом:

$R_{куб}, \text{ кг/см}^2$	22	33	42	51	62
$\frac{R_p}{R_{куб}}$	0,163	0,126	0,120	0,122	0,133 <sup>1</sup>
$\frac{R_{куб}}$	0,336	0,259	0,250	0,257	0,290

Анализ испытаний показывает, что для древесно-цементного бетона средняя величина отношения сопротивления бетона растяжению при изгибе к сопротивлению его при осевом растяжении равна 1,16.

Приведенные материалы по сцеплению гладкой арматуры диаметром 6,5; 8; 10 мм с древесно-цементным бетоном сви-

<sup>1</sup> Числитель — опыты с крупнопористым бетоном, по данным Г. А. Джикаевой, знаменатель — по данным наших опытов.

детельствуют о большей относительной величине сцепления его с арматурой, чем для обычного бетона.

Деформативные свойства древесно-цементного бетона при сжатии сильно зависят от деформативных свойств составляющих.

Наши опыты показали, что у бетонов на древесных заполнителях предельная сжимаемость выше, чем у обычных бетонов.

При центральном сжатии и кратковременной нагрузке без выдержки средняя предельная сжимаемость бетона может быть принята равной 2,75 мм/м, а при нагружении с выдержками по 10 минут она увеличивается примерно на 15%.

Величины модуля упругости древесно-цементного бетона с одинаковой прочностью, но изготовленных на разных заполнителях, колеблются в широких пределах ( $E = 4750 \div 6250 \text{ кг/см}^2$ ).

Для некоторых видов древесно-цементного бетона нами были определены соотношения между начальными модулями упругости (при  $\sigma = 0,2R_{\text{пр}}$ ) и модулями упругих деформаций при сжатии ( $\tau = 0,5R_{\text{пр}}$ ).

По нашим данным для древесно-цементного бетона марок 35—75 отношение  $\frac{E_{\text{нач}}}{E_{\text{упр}}} \approx 1$ . По данным МАДИ (И. Г. Иванов-Дятлов) и НИИЖБа (А. А. Евдокимов) для легких бетонов марок 50—150 отношение  $\frac{E_{\text{нач}}}{E_{\text{упр}}} = 1 \div 1,1$ .

Древесно-цементный бетон водостойкий и морозостойкий материал. Коэффициент размягчения, т. е. потеря прочности при сжатии при насыщении образцов водой, составляет 0,8.

Установлено, что величина коэффициента размягчения древесно-цементного бетона увеличивается с возрастом бетона.

В бетонах, изготовленных на древесных заполнителях, вода распределяется как по цементному камню, так и по заполнителю. Следовательно, разрушение бетона при замораживании и оттаивании может происходить как по цементному камню, так и по заполнителю. Но древесно-цементный бетон хорошо сопротивляется разрушению при замораживании и оттаивании вследствие того, что «цементное молоко», проникая в поры древесины (порозаполнение цементным камнем), образует шероховатую поверхность, которая способствует хорошему сцеплению с цементным камнем.

Поры древесины играют роль своеобразных «запасных резервуаров», в которые может отжиматься вода из пор цементного камня и наоборот, отсос — для достижения его более полной гидратации, путем активизации цемента. Это говорит о положительном влиянии древесных заполнителей на морозостойкость бетона.

Морозостойкость древесно-цементного бетона (нормального твердения) на быстротвердеющем составе была исследована в умеренно жестком бетоне, причем испытание было доведено до 100 циклов замораживания и оттаивания.

Образцы, после действия переменного замораживания и оттаивания (100 циклов), насыщались водой под вакуумом. После этого они высушивались до постоянного веса. Водопоглощение, вычисленное по отношению к весу образцов в сухом состоянии, имело следующую величину (табл. 4):

Таблица 4

Вид вяжущего	Водопоглощение древесно-цементных образцов после 100 циклов переменного замораживания и оттаивания		
	после 100 циклов (% по весу)	под вакуумом, %	
		по весу	по объему
Быстротвердеющий состав	4,05	4,40	10,16
Быстротвердеющий состав	5,20	5,95	12,30

Водопоглощение под вакуумом находилось в пределах  $10,16 \div 12,30\%$ , что указывает на высокую плотность бетона. В образцах после 100 циклов переменного замораживания и оттаивания часть пор не была заполнена водой, что способствует повышению морозостойкости.

Проведенное исследование привело к общему выводу, что в условиях переменного замораживания поведение древесно-цементного бетона на быстротвердеющем составе, принципиально не отличалось от поведения бетона (на каменных заполнителях) на цементе марки 500.

Петрографический анализ показал высокую плотность растворной части бетона, хороший контакт цементного камня с заполнителем. Отмечается наличие в более крупных порах



кристаллов гидрата окиси кальция, что указывает на процессы самозатягивания (самозалечивания) дефектов. Так, отобранные пробы цементного камня через 3,5 месяца после затворения дали много  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  среди буроватого геля, кроме того было обнаружено немного мелких зерен с серой поляризационной окраской, со средним показателем преломления 1,610. Видимо, эти зерна представляют собой гидросиликат кальция.

## Глава VI

### ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И РАСЧЕТ ПЛИТ ИЗ ДРЕВЕСНО-ЦЕМЕНТНОГО БЕТОНА В СБОРНО-РАЗБОРНОМ КОЛЕЙНОМ ПОКРЫТИИ ЛЕСОВОЗНЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

В результате анализа существующих гипотез и методов расчета конструкций, работающих на упругом основании, и, в частности, существующих методов расчета бетонных и железобетонных дорожных и аэродромных покрытий, в диссертационной работе обоснована целесообразность ведения расчета плит из древесно-цементного бетона, принимая в качестве расчетной модели гипотезу коэффициента постели.

Приведенный теоретический анализ работы плиты из древесно-цементного бетона показывает возможность нормальной работы под интенсивным движением автопоездов типа МАЗ-501 + 2-Р-15.

Плита из древесно-цементного бетона размером  $l=2b$  при укладке ее на грунты малой прочности рассматривается как короткая, а плита из обычного бетона — как жесткая.

Следует подчеркнуть, что уменьшение модулей упругости материалов, применяемых для конструкций, работающих на упругом основании, вообще желательно, так как приводит к уменьшению расчетных изгибающих моментов в них.

При положении нагрузки в четверти плиты теоретические изгибающие моменты оказались для короткой плиты примерно на 53% больше чем у длинной, а максимальное значение изгибающих моментов при положении нагрузки в середине плиты, также примерно на 16% больше. К аналогичным выводам приводит нас и определение перерезывающих сил при положении нагрузки в середине плиты, когда мы рас-



смотрим точку приложения сил относительно торцов плиты.

Для улучшения возможной работоспособности плит из древесно-цементного бетона в различных грунтово-гидрологических условиях, необходимо укладывать плиты на грунты средней плотности, начиная с коэффициента постели равного  $2 \text{ кг/см}^3$ , или чтобы приведенная полудлина плиты давала возможность рассматривать ее как длинную, т. е. при  $l > 2b$ .

Производственное внедрение плит из древесно-цементного бетона, проведенное в ходе излагаемой работы, на временных подъездных путях, магистралях лесовозных автодорог показывает их преимущество перед другими типами покрытий аналогичных дорог.

Опыт эксплуатации опытных участков в Крестецком леспрохозе ЦНИИМЭ и г. Петрозаводске показывает, что при соблюдении технологии приготовления и требований, предъявляемых к транспортировке и укладке смеси, применение быстротвердеющего состава обеспечивает качественное изготовление конструкции.

## Глава VII

### **ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ И ПРЕДПОСЫЛКИ ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПЛИТ ИЗ ДРЕВЕСНО-ЦЕМЕНТНОГО БЕТОНА В СБОРНОМ КОЛЕЙНОМ ПОКРЫТИИ ЛЕСОВОЗНЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ**

В седьмой главе диссертации приводится анализ стоимости сборных колеиных покрытий, сравнительная экономичность сборных колеиных покрытий из древесно-цементного бетона, некоторые методические положения по расчету экономической эффективности различных типов автомобильных дорог.

Внедрение заменителей дефицитных и дорогостоящих видов сырья является в настоящее время актуальной народнохозяйственной задачей.

Сравнительные технико-экономические расчеты показали, что древесно-цементный бетон является одним из наиболее прогрессивных материалов, на изготовление которого идет

низкосортное сырье в виде отходов от лесозаготовок (лесосечные отходы), лесопиления и деревообработки при сравнительно дешевой его обработке.

Если при этом учесть целый ряд его качеств, как сравнительно небольшой вес, повышенную прочность, морозостойкость и др., то целесообразность и экономическая эффективность внедрения плит из древесно-цементного бетона в сборно-разборном колеином покрытии лесовозных автомобильных дорог не вызывает сомнений.

## Глава VIII

### ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. В результате проведенных работ собран и обобщен опыт применения сборно-разборных колеиных покрытий автомобильных дорог, достаточно подробно проанализированы конструкции сборных бетонных и железобетонных покрытий, выявлены свойственные им недостатки (большой общий вес, требует для изготовления значительного количества металла и цемента и др.) и обоснованы пути их преодоления, в силу которых этот вид покрытия должен получить широкое применение при строительстве лесовозных автомобильных дорог, особенно в районах, не обеспеченных природными каменными материалами.

2. Установлена полная возможность использования отходов лесозаготовок, лесопиления и деревообработки для приготовления древесно-цементного бетона.

3. На основании критического анализа существующих цементов и изучения процессов, происходящих при их твердении в бетонах на древесных заполнителях, с позиций современных физико-химических представлений о механизме схватывания и твердения минеральных вяжущих разработан быстротвердеющий состав бетона на основе портланд цемента, получаемый путем затворения смеси (портландцемент + древесные заполнители) водным двухпроцентным раствором соляной кислоты, молотой негашеной извести и гипса.

4. Установлено влияние на свойства твердеющего древесно-цементного бетона указанных добавок при их отдельном и совместном введении.

5. Разработана технология приготовления древесно-цементного бетона на быстротвердеющем составе.

6. Установлено предельно допустимое время транспортирования и укладки смесей древесно-цементного бетона на быстротвердеющем составе.

7. Установлены технологические факторы, влияющие на стабильность и прочность древесно-цементного бетона, изготовленного из отходов лесопиления, деревообработки и лесозаготовок на быстротвердеющем составе на основе портландцемента.

8. Экспериментальные исследования подтвердили, что удобоукладываемость плотной древесно-цементной смеси может быть достаточно точно установлена техническим вискозиметром, как и при определении удобоукладываемости тяжелых бетонов.

9. Установлена закономерность, указывающая на то, что изменение расхода цемента от 280 до 450 кг/м<sup>3</sup> мало сказывается на показатели удобоукладываемости смесей различного вида.

10. В работе установлен принцип выбора фракционного состава древесных заполнителей, из которого следует, что для повышения плотности и прочности древесно-цементного бетона следует использовать мелкие фракции древесных заполнителей. Содержание в древесно-цементном бетоне мелких (5 ÷ 10 мм по длине) фракций должно составлять не менее 45% от суммы объемов мелких и крупных древесных заполнителей.

При необходимости уменьшения объемного веса древесно-цементного бетона марок до 25 можно создавать в нем межфракционную пористость путем исключения из смеси заполнителей наиболее мелких фракций. При этом при изготовлении надлежит соблюдать ряд правил, обеспечивающих надлежащую однородность древесно-цементного бетона.

11. В работе выявлены оптимальные режимы виброуплотнения древесно-цементного бетона, из которых следует, что для повышения прочности конструкций из древесно-цементного бетона целесообразно увеличивать продолжительность вибрации их.

При увеличении продолжительности вибрации против обычного в 2 ÷ 3 раза, прочность древесно-цементного бетона увеличивается примерно на 15%.

12. Исследования физико-механических свойств древесно-цементного бетона на быстротвердеющем составе показали в сравнении с обычным составом:

- а) повышенную прочность при сжатии, растяжении и изгибе;
- б) быстрый набор прочности при твердении;
- в) повышенную упругость;
- г) высокую водостойкость;
- д) повышенную морозостойкость.

13. Для древесно-цементного бетона различных марок и на разных заполнителях установлены значения коэффициентов, определяющих зависимость механических свойств их от прочности при сжатии. Эти коэффициенты могут быть использованы для ориентировочного определения показателей механических свойств бетонов на древесных заполнителях различных пород.

14. Полученные и разработанные практические приемы расчета и конструирования плит из древесно-цементного бетона, армированных прядями отработанных стальных канатов, а также и конструкции плит могут быть использованы не только при строительстве лесовозных автомобильных дорог, но и различных подъездных и внутрискладских дорог на предприятиях железнодорожного транспорта.

15. Плиты из древесно-цементного бетона размером  $l = (1,2 \div 4) b$  в предлагаемых конструкциях, обладая хорошей транспортабельностью, в то же время:

- а) как показали расчеты могут быть уложены в покрытие без контурных связей;
- б) наиболее экономичны по расходу материалов на 1 м<sup>2</sup> покрытия.

16. В работе установлены основные направления и разработаны конструкции плит, предлагаемые для проверки в производственных условиях. Результаты исследований древесно-цементного бетона и запроектированные на их основе конструкции показывают возможность нормальной работы под интенсивным движением автопоездов типа МАЗ-501+2-Р-15.

17. Плиты из древесно-цементного бетона превосходят плиты из других материалов по теплоизоляционным свойствам, имеют малую водопоглощаемость и высокую механическую прочность, что указывает на возможность их применения для регулирования водно-теплого режима дорожных конструкций.

18. С точки зрения технико-экономической, наиболее целесообразным к применению является конструкция покрытия



в виде жестких колеиных полос и нежестких промежутков между ними. Установлены условия, при которых применение их наиболее выгодно.

В частности, выяснилась безусловная целесообразность перехода от лежневых, гравийных и железобетонных покрытий к колеиным покрытиям из плит древесно-цементного бетона в районах, где природные каменные материалы отсутствуют или расположены на значительных расстояниях.

19. Проведенные экспериментально-теоретические исследования в области колеиных лесовозных дорог из древесно-цементных плит могут дать экономию в стоимости строительства 1 км дорог в среднем до 45%. Затраты на изготовление плит и постройку дорог из них окупаются в течение полугода.

20. Основные результаты настоящей работы проверены в производственных условиях. Наблюдения за конструкциями показывают, что изменений в материале не происходит, признаков разрушений нет.

## **ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ ПРИВЕДЕНЫ В СЛЕДУЮЩИХ ПЕЧАТНЫХ РАБОТАХ:**

1. Сборно-разборные колеиные покрытия на лесовозных автомобильных дорогах. Конференция по итогам научно-исследовательской работы за 1961 г., Воронежское книжное издательство, 1962.

2. Исследование некоторых технологических и физико-механических свойств древесно-цементного бетона и его применение при строительстве лесовозных автомобильных дорог. Сборник аспирантских работ, выпуск II. Издательство Воронежского университета, Воронеж, 1964 г.

3. Применение древесно-цементного бетона на предприятиях ж.-д. транспорта и подъездных автомобильных дорогах. Информационное письмо. Дорожный дом техники, дор. НТО Юго-Восточной ж. д. Воронеж, 1965 г.

4. Древесно-цементный бетон для покрытий лесовозных автомобильных дорог. ЦНИИТЭИ леспром «Лесоэксплуатация и лесное хозяйство», сб. № 12, Москва, 1966 г.

5. Разработка и исследование конструкций из древесно-цементного бетона для сборно-разборного колеиного покрытия лесовозных автомобильных дорог (принято к печати в трудах ЦНИИМЭ).

## НЕКОТОРЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ НАСТОЯЩЕЙ РАБОТЫ БЫЛИ ДОЛОЖЕНЫ НА КОНФЕРЕНЦИЯХ:

1. Доклад на научно-технической конференции по итогам работ за 1961 г. «Сборно-разборные колейные покрытия лесовозных автомобильных дорог», ВЛТИ, 1962 г.

2. Доклад на научно-технической конференции по итогам работ ВЛТИ за 1963 г. «Исследование некоторых технологических и физико-механических свойств древесно-цементного бетона и его применение в строительстве лесовозных автомобильных дорог», ВЛТИ, 2 июня 1964 г.

3. Сообщение на секции «Транспортное освоение сырьевых баз лесозаготовительных предприятий» Координационного совета по вопросам направления и развития научно-исследовательских и опытных работ на 1965—1970 гг. «Исследование древесно-цементного бетона, как дорожно-строительного материала», 21 января 1964 г., ЦНИИМЭ.

4. Доклад на научно-технической конференции по итогам работ за 1964 год. «Особенности конструирования и расчета плит из древесно-цементного бетона, армированных прядями отработанных стальных канатов», ВЛТИ, 26 марта 1965 г.

5. Доклад на совместном заседании секции Координационного совета и Ученого совета ЦНИИМЭ по проблеме «Исследования и разработка методов и средств сухопутного лесотранспорта с целью повышения производительности труда и снижения затрат по вывозке леса», «Разработка и исследование конструкций из древесно-цементного бетона для сборно-разборного колейного покрытия лесовозных автомобильных дорог», 22—24 декабря 1965 г., ЦНИИМЭ, гор. Химки.

6. Доклад на научно-технической конференции по итогам работ за 1965 год «Деформативность древесно-цементного бетона», ВЛТИ, 19 мая 1966 г.