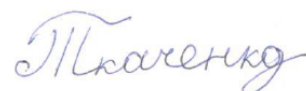


Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Новосибирский государственный архитектурно-
строительный университет (Сибстрин)»

На правах рукописи



Ткаченко Сергей Евгеньевич

**ДРЕВЕСНЫЙ СВЕТОПРОПУСКАЕМЫЙ ЗАПОЛНИТЕЛЬ И
ДЕКОРАТИВНЫЙ БЕТОН НА ЕГО ОСНОВЕ**

Специальность 2.1.5 – Строительные материалы и изделия

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель: заслуженный
работник Высшей школы РФ,
доктор технических наук, профессор
Пичугин Анатолий Петрович

Новосибирск 2025

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
ГЛАВА 1. АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР НАУЧНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ ПО ДРЕВЕСНОМУ СВЕТОПРОПУСКАЕМОМУ ЗАПОЛНИТЕЛЮ И ДЕКОРАТИВНОМУ БЕТОНУ	14
1.1 Производство и применение бетонов светопропускающих	14
1.2. Бетон на древесном заполнителе	21
1.3 Древесина как светопрозрачный заполнитель	24
1.4 Химизм процесса взаимодействия древесины с минеральными вяжущими веществами.....	37
Выводы по главе 1. Цель работы и задачи исследования	44
ГЛАВА 2. ПРИМЕНЯЕМЫЕ МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ...	47
2.1 Характеристика применяемых материалов	47
2.1.1 Древесина и древесные отходы	47
2.1.2 Вода.....	48
2.1.3 Химические реагенты	48
2.1.4 Растительные масла	49
2.1.5 Скипидар	50
2.1.6 Связующее	51
2.1.7 Нанодобавки	52
2.1.8 Модифицирующие добавки	53
2.1.9 Кремнеземистый мелкий заполнитель.....	54
2.1.10 Защитное покрытие.....	54
2.2 Методы исследования.....	54
2.2.1 Электронная спектроскопия диффузного отражения (ЭСДО).....	57
2.2.2 Фотоэлектроколориметрия.....	58
2.2.3 Термомеханический анализ (метод одноосного сжатия).....	59
2.2.4 ИК-спектроскопия поглощения.....	60
2.2.5 Определение светопроницаемости древесины, ее отходов и декоративного бетона.....	60

2.2.6 Химическое эпоксидирование растительных масел.....	60
2.3 Планирование эксперимента.....	62
Выводы по главе 2.....	64
ГЛАВА 3. ИЗУЧЕНИЕ СВЕТОПРОНИЦАЕМОСТИ ДРЕВЕСИНЫ КАК КОМПОНЕНТА ДЛЯ ДЕКОРАТИВНОГО БЕТОНА	65
3.1 Конструирование установки для определения светопроницаемости древесины и декоративного бетона	65
3.2 Светопропускание древесины с пропитывающими составами.....	70
3.3 Оптимизация получения древесины с фотометрическими свойствами.....	100
3.4 Оптимизация состава декоративного бетона светопроницаемого на древесном заполнителе	110
Выводы по главе 3	117
ГЛАВА 4. ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В ДЕКОРАТИВНОМ БЕТОНЕ С ФОТОМЕТРИЧЕСКИМИ СВОЙСТВАМИ	121
4.1 Физико-химические процессы при делигнифицировании древесины	121
4.2 Исследование взаимодействия в контактной зоне между заполнителем и связующим	132
4.3 Повышение светопропускающей способности делигнифицированной древесины при пропитке растительным маслом.....	141
Выводы по главе 4.....	148
ГЛАВА 5. ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА ДЕКОРАТИВНОГО БЕТОНА С ФОТОМЕТРИЧЕСКИМИ СВОЙСТВАМИ И ЕГО ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ	151
5.1 Технология производства изделий из декоративного бетона с фотометрическими свойствами	151
5.2 Разработка технологической линии и блок-схемы производства изделий из декоративного бетона светопропускаемого	161
5.3 Техничко-экономическое обоснование эффективности производства изделий из декоративного бетона с фотометрическими свойствами.....	173
5.4 Внедрение результатов работы.....	176

Выводы по главе 5	177
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	178
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	181
ПРИЛОЖЕНИЕ 1. ПАТЕНТ НА ИЗОБРЕТЕНИЕ № 2791849	200
ПРИЛОЖЕНИЕ 2. ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ЛИНИИ ПРОИЗВОДСТВА ИЗДЕЛИЙ ИЗ ДЕКОРАТИВНОГО БЕТОНА СВЕТОПРОПУСКАЮЩЕГО	202
ПРИЛОЖЕНИЕ 3. СПЕЦИФИКАЦИЯ ОБОРУДОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ЛИНИИ ПРОИЗВОДСТВА ИЗДЕЛИЙ ИЗ ДЕКОРАТИВНОГО БЕТОНА СВЕТОПРОПУСКАЮЩЕГО	203
ПРИЛОЖЕНИЕ 4. ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ЛИНИИ ПРОИЗВОДСТВА ДЕКОРАТИВНОГО БЕТОНА СВЕТОПРОПУСКАЮЩЕГО	204
ПРИЛОЖЕНИЕ 5. АКТ ВЫПУСКА (ООО «КУЙБЫШЕВСКИЙ ЗАВОД ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ИЗДЕЛИЙ И КОНСТРУКЦИЙ».).....	206
ПРИЛОЖЕНИЕ 6. АКТ ОБ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ (ООО «КУЙБЫШЕВСКИЙ ЗАВОД ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ИЗДЕЛИЙ И КОНСТРУКЦИЙ».).....	207
ПРИЛОЖЕНИЕ 7. ТЕХНИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ВТУ 178-340-003-04-2022 (ООО «КУЙБЫШЕВСКИЙ ЗАВОД ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ИЗДЕЛИЙ И КОНСТРУКЦИЙ».).....	208
ПРИЛОЖЕНИЕ 8. АКТ НА ПЕРЕДАЧУ (ООО «СтройТехЭкспертПроект»)	209
ПРИЛОЖЕНИЕ 9. АКТ ОБ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ (ООО «СтройТехЭкспертПроект»)	210
ПРИЛОЖЕНИЕ 10. ТЕХНИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ВТУ 178-340-003-04-2022 (ООО «СтройТехЭкспертПроект»)	211
ПРИЛОЖЕНИЕ 11. СПРАВКА О ВНЕДРЕНИИ РЕЗУЛЬТАТОВ	212

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. Декоративные бетоны и изделия на их основе относятся к категории легких конгломератов. Современное строительство связано с использованием искусственных каменных и органических строительных материалов, а объем их производства в мире составляет более четырех миллиардов кубических метров в год. Область применения древесноминеральных материалов определяется разными видами зданий и сооружений при возведении несущих и самонесущих стен, перегородок, стяжек полов и множества других объектов инфраструктуры строительства. Одними из главных недостатков данных изделий считаются их влаго- и водопоглощение, отсутствие эстетичности, малая декоративность, серость и монотонность, что вызывает необходимость в разработке конгломератов нового поколения с повышенными эксплуатационными характеристиками.

Одним из решений задачи повышения эффективности декоративных древобетонов и изделий на их основе может стать использование светопропускаемых заполнителей, в т.ч. из древесины малоценных пород. Увеличить возможности применения данных бетонов и повысить их показатели качества можно внедрением светопроницаемой древесины, открывающей новые пути использования в архитектуре, строительстве и дизайне.

В настоящее время деревообрабатывающая промышленность перерабатывает до 60 млн м³ в год отходов лесопиления и деревообработки, из которых 5–8 млн м³ представляют собой кусковые отходы. Данные отходы могут быть использованы для получения древобетонных изделий нового типа. Это соответствует одному из приоритетов государственной политики в области обращения с отходами на период до 2030 года, утвержденных распоряжением Правительства Российской Федерации от 25 января 2018 года № 84-р, а также отраслевой программе «Применение вторичных ресурсов и вторичного сырья из отходов на 2022–2030 годы» от 29 декабря 2022 года № 16133п-П11.

Учитывая эстетичность, экологичность и возобновляемость древесины, ее введение в технологический процесс производства декоративного легкого бетона

со световыми свойствами, перспективы данного материала могут быть неограниченными.

Степень разработанности темы. В отечественной и зарубежной литературе рассмотрены различные пути улучшения качества декоративных бетонов. В ряде стран проведением исследований по получению бетонов светопроводящих на основе оптических волокон и призм, в т.ч. его новых разновидностей. В этом направлении занимались отечественные и зарубежные учёные: Арцукевич И.М., Ещенко Т.В., Исаченко С.Л., Карпачева А.А., Кодзоев М.Х., Панова В.Ф., Панов С.А., Пустовгар А.П., Удодов С.А., Чумадова Л.И., Шишкин А.В., Щербань А.В., Barle M., Cangiano S., Carminati A., Christandl D., Christandl J., Fisher O., Gries T., Han B., Barle M., Cangiano S., Carminati A., Christandl D., Christandl J., Fisher O., Gries T., Han B., Hofer R., Jugdar R.V., Losonczi A., Ou J., Roye A., Sawant A.B., Sawant S.G., Shen J., Shreyas K., Wirtz C., Wirtz M., Zhang L., Zhou Z. и др. ofer R., Jugdar R.V., Losonczi A., Ou J., Roye A., Sawant A.B., Sawant S.G., Shen J., Shreyas K., Wirtz C., Wirtz M., Zhang L., Zhou Z. и др. По результатам ряда исследований, направленных на поиск путей улучшения функционального применения растительного сырья, выявлены широкие возможности в использовании малоценных пород и отходов деревообработки на основе оптически светопроницаемой древесины.

Цель исследования – разработка научно-обоснованного технологического решения получения древесного светопроницаемого заполнителя делигнификацией и последующей обработкой пропитывающими композициями для бетонных декоративных изделий.

Задачи исследования:

1. исследовать влияние обработки различными видами и веществами древесины на изменение её светопроницаемости и выбор оптимального соотношения компонентов веществ;
2. разработать специальную установку для проведения фотометрических исследований и оценки светопропускания обработанной древесины;

3. разработать масляно-скипидарную композицию и определить технологические режимы, обеспечивающие стабильные свойства древесины светопроницаемой;

4. разработать состав декоративного легкого бетона на основе древесины светопроницаемой;

5. разработать блок-схему изготовления изделий из декоративного легкого бетона с фотометрическими свойствами и регламентирующую документацию для внедрения результатов исследований;

6. выполнить расчет технико-экономической эффективности производства изделий из декоративного бетона с фотометрическими свойствами в сравнении с традиционным древобетоном и цементным бетоном светопроводящим с оптическими волокнами.

В диссертации выдвигается **рабочая научная гипотеза:** древесный светопроницаемый наполнитель из малоценных пород – березы и осины может быть получен делигнификацией и последующей пропиткой масляно-скипидарной композицией, что позволит получать изделия из декоративного бетона с фотометрическими свойствами.

Объектом исследования является древесный светопропускаемый наполнитель из малоценных пород древесины – березы и осины для декоративного легкого бетона.

Предметом исследования являются свойства древесного светопропускаемого наполнителя и декоративного легкого бетона со световыми характеристиками.

Научная новизна.

1. Установлена зависимость между величинами условной вязкости и поверхностного натяжения разработанной масляно-скипидарной композиции и светопроницаемостью делигнифицированной древесины: при соотношении растительного масла (80–90 %) и скипидара (10–20 %) обеспечивается минимальная условная вязкость и поверхностное натяжение, позволяющие обеспечить светопропускание до 85–92 %. Пропитанная данной композицией

древесина светопропускающая обладает повышенной термостойкостью и минимальной деформацией при сжатии, свидетельствующими о прочном связывании компонентов (температурный переход на термомеханической кривой в текучее состояние повышается со 180–190 °С до 250–260 °С).

2. Выдерживание пропитанной масляно-скипидарной композицией древесины при температуре 75–85 °С в течение 25–35 минут способствует процессу эпоксидирования растительного масла за счет образования в смеси эпоксидных групп, что подтверждается ИК-спектральными исследованиями при полосе поглощения в районе 820–840 см⁻¹ (823 и 841 см⁻¹) на спектрограммах; йодное число возрастает на 47–62 г I₂/100 г, а эпоксидное число на 14–18 г/экв, обеспечивая химическое взаимодействие между эпоксидированным растительным маслом и компонентами древесины. Это также способствует повышению светопропускания и усилению адгезионного контакта древесного заполнителя к жидкостекольному вяжущему, изменяя характер отрыва с чисто адгезионного на адгезионно-когезионный.

3. Установлено, что введение нанодобавки кислого кремнезоля 2–3 % в жидкостекольное вяжущее, используемое в качестве связующего в декоративном бетоне светопропускающем, обеспечивает увеличение адгезионной прочности с делигнифицированной древесиной с 0,3–0,4 до 0,9–1,6 МПа.

Теоретическая и практическая значимость работы.

Теоретическая значимость исследования состоит в том, что:

1. дополнены представления о процессах взаимодействия отбеливающего раствора, воды, органических растворителей, растительных масел и масляно-скипидарной композиции с древесным заполнителем, что подтверждается высокими световыми свойствами при минимальном расходе данных реагентов;

2. расширены знания о характере и процессах взаимодействия воздушных (жидкостекольных) вяжущих с древесными светопропускаемыми заполнителями;

3. дополнены сведения о процессах взаимодействия заполнителей, вяжущего и добавок в компонентном составе декоративных бетонных смесей, о чем свидетельствуют достаточно высокие физико-механические и

фотометрические свойства светопропускающего композита при сниженном расходе связующего;

4. рационально подобраны технологические и рецептурные параметры химически обработанной древесины, позволяющие рекомендовать такой материал для изготовления декоративных бетонов, обладающих светопропусканием, что важно для эффективной утилизации отходов деревообработки и архитектурно-декоративного оформления интерьеров зданий и сооружений, а также в дизайнерских проектах.

Практическая значимость работы определена тем, что:

1. разработан пропитывающий состав на основе растительного масла и скипидара для обработки древесины, обладающий высоким светопропусканием для образцов и является экологически безопасным и доступным;

2. предложена масляно-скипидарная композиция для получения древесных заполнителей со стабильными световыми свойствами, состоящая из экологически безопасных материалов на основе растительного масла и скипидара. Получено положительное решение по заявке на патент РФ;

3. сконструирована установка для определения фотометрических свойств древесины и декоративного бетона светопропускаемых, на которую получен Патент РФ № 279 18 49;

4. установлены оптимальные рецептурные и технологические параметры приготовления декоративной бетонной смеси светопроницаемой на основе отходов деревообработки с достижением светопропускаемости 64–79 %. Данная смесь светопропускающая включает разнотракционный светопропускаемый заполнитель, жидкостекольное вяжущее из натриевого жидкого стекла и кислого кремнезоля. Получен декоративный бетон светопроницаемый с прочностью на растяжение при изгибе 1,9–2,0 МПа и на сжатие 5,7–5,9 МПа;

5. разработаны временные технические условия (ВТУ 178-340-003-04-2022) на декоративный бетон со светопропускающим древесным заполнителем и порядок его производства. Приготовление смеси осуществляется из 80–90 % предварительно обработанной древесины разных фракций (3–5 мм, 5–10 мм, 10–20

мм), обеспечивающих требуемых технико-экономических показателей. Применение древесных светопропускаемых заполнителей в составе декоративного бетона позволило уменьшить себестоимость его приготовления на 60–70 % в сравнении с цементным бетоном светопроводящим на оптических волокнах.

Методология и методы исследования.

Методологическая основа работы – фундаментальные и прикладные исследования отечественных и зарубежных ученых в области получения multifunctional декоративных бетонов. Для изучения компонентов и декоративных бетонов, основанные на них, использованы аттестованные и поверенные приборы и оборудование, позволившие обеспечить достоверные результаты. Применены следующие методы: фотоэлектроколориметрия, микроструктурный анализ, реологические и термомеханические исследования, УФ-спектрофотометрия, ИК-спектроскопия, рефрактометрия, метод отрыва адгезиметром, метод одноосного сжатия, рН-метрия, химические методы (определение йодного и эпоксидного числа) и др. Показатели качества готовых образцов древесины и декоративного бетона определялись в соответствии с нормативно-техническими документами. Применена сконструированная установка для определения фотометрических свойств древесины и декоративного бетона светопрозрачных.

Положения, выносимые на защиту:

1. отработка оптимального рецептурно-технологического решения получения древесины светопрозрачной с пропитывающим составом на основе масляно-скипидарной композиции;
2. установленные закономерности влияния рецептурных факторов и дозировки древесных светопрозрачных заполнителей на физико-механические, фотометрические и эксплуатационные свойства декоративного бетона;
3. доказанная возможность использования такой древесины в качестве крупного заполнителя декоративного бетона, с обеспечением заданных фотометрических свойств светопропускания;

4. состав и свойства декоративного бетона светопроницаемого, обеспечивающие достаточную адгезию древесного заполнителя к связующему при сохранности заданных фотометрических характеристик.

Степень достоверности результатов. Достоверность результатов работы определяется подтверждением полученных экспериментальных данных результатами лабораторных испытаний с применением разных методик, а также современных высокотехнологичных аттестованных и поверенных приборов и оборудования с учетом требований нормативно-технических документов российских стандартов; соответствием полученных результатов общепризнанным фактам и трудам других авторов.

Внедрение результатов исследований. Качественная характеристика от реализации намеченных результатов – вовлечение в производство изделий из декоративного бетона на основе кусковых отходов деревообработки, что способствует сокращению отходов и загрязнению территории, а также снижение негативного влияния на экологию.

По результатам работы разработаны составы светопропускающего декоративного бетона и технология их изготовления, прошедшие производственное апробирование, которое проводилось в строительной компании Новосибирской области ООО «Куйбышевский завод железобетонных изделий и конструкций» (г. Куйбышев), выпущена опытная партия изделий светопропускаемых из декоративного бетона в виде плит декоративных отделочных светопроницаемых. Разработаны и утверждены нормативно-технические документы на предложенные плиты из декоративного бетона со светопропускающим древесным заполнителем и их производства.

Апробация работы. Материалы диссертационной работы докладывались и обсуждались на международной научно-технической конференции «Эффективные материалы и технологии для транспортного и сельскохозяйственного строительства» (Новосибирск, 2020); XIV, XV, XVI Международной научно-технической конференции «Актуальные вопросы архитектуры и строительства» (Новосибирск, 2021–2023); Всероссийской научно-практической конференции

«Актуальные проблемы науки и техники. 2021» (Ростов-на-Дону, 2021); Международная конференция «Моделирование и оптимизация строительных композитов» (Одесса, 2021); XIII Международной научно-технической конференции, посвященной 70-летию кафедры Надежности и ремонта машин ФГБОУ ВО НГАУ «Состояние и инновации технического сервиса машин и оборудования» (Новосибирск, 2021); Всероссийской научно-практической конференции «Актуальные вопросы строительного материаловедения» (Улан-Удэ, 2021); III Международной научно-практической конференции «Актуальные вопросы современного строительства промышленных регионов России» (Новокузнецк, 2022); Международном студенческом строительном форуме – 2022 «Инновационное развитие строительства и архитектуры: взгляд в будущее» (Симферополь, 2022); Международной научно-практической конференции «Качество жизни: архитектура, строительство, транспорт, образование» (Иваново, 2024); Международных научно-практических и научно-технических конференциях «Качество. Технологии. Инновации» (Новосибирск, 2021–2025).

Публикации. Основное содержание диссертационной работы опубликовано в 20 работах, из которых в журналах, рекомендованных ВАК РФ – 6, в изданиях, цитируемых в международных базах Scopus – 2. Получен патент РФ на изобретение № 2791849.

Личный вклад автора состоит в проведении теоретического анализа информации по теме исследования, определении задачи исследования, выборе методов исследования, планировании и реализации экспериментов, анализе и обобщении полученных данных.

Структура и объем диссертационной работы. Диссертация состоит из введения, 5 глав, выводов, заключения и приложений, изложена на 212 страницах машинописного текста, включает 46 рисунков, 38 таблиц, 11 приложений и содержит список литературы из 183 наименований.

Область исследования специальности 2.1.5: соответствует паспорту научной специальности 2.1.5 – «Строительные материалы и изделия», п. 9 Разработка составов и совершенствование технологий изготовления эффективных

строительных материалов и изделий с использованием местного сырья и отходов промышленности, в том числе повторного использования материалов от разборки зданий и сооружений.

ГЛАВА 1. АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР НАУЧНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ ПО ДРЕВЕСНОМУ СВЕТОПРОПУСКАЕМОМУ ЗАПОЛНИТЕЛЮ И ДЕКОРАТИВНОМУ БЕТОНУ

1.1 Производство и применение бетонов светопропускающих

Изучение и применение декоративных бетонов нового поколения создают предпосылки внедрения в целый производственный комплекс определенных технологий, которые позволят получить низкие материалоемкость, энергоемкость, трудоемкость и экономические затраты на их изготовление. Это обеспечивается, в частности, за счет введения в технологический процесс ранее неиспользуемого местного сырья, уменьшением расходов электроэнергии для добычи и переработки в промышленных масштабах отходов природного происхождения, и, как следствие, решается важная народнохозяйственная проблема по утилизации данных отходов и улучшению экологической обстановки на территориях.

В России и в зарубежных странах ведутся активные исследования и разработки по получению декоративных бетонов нового поколения, которые способствуют улучшению декоративно-эстетического вида объектов инфраструктуры, и, соответственно, городской и окружающей среды в целом, содержащие в себе повышенные эксплуатационные свойства.

Бетоны с эффектом светопропускания получили в последние годы широкое распространение в современном строительстве, т.к. обеспечивают эстетичность, выразительность, декоративность, подчеркивая облик зданий и строительных конструкций, располагающие к отдыху и творчеству. Широкие архитектурно-декоративные возможности такого бетона определяются разнообразием интерьеров и экстерьеров, задаваемых архитекторами и дизайнерами при возведении зданий и сооружений.

Бетоны нового поколения классифицируются по назначению [1-4]:

1. высокофункциональные – бетоны, обладающие высокими прочностными свойствами, а также долговечностью и упругостью;

2. вибрационные и самоуплотняющиеся – бетоны, не расслаивающиеся даже при существенной подвижности раствора, имеют высокую плотность и однородность, что достигается, в частности, воздействием дополнительной уплотняющейся энергии, за счет которой бетонная масса освобождается от содержащегося в ней воздуха и полностью заполняет весь объем;

3. ультратонкие и гибкие – бетоны, состоящие из портландцемента, плотно сжатых окатышей диаметром 0,02–0,05 м и ультратонкого армирующего волокна, обладающие высокими физико-механическими характеристиками и газопроницаемостью;

4. архитектурные и декоративные – строительные смеси, изготавливаемые на основе цементно-песчаного состава (серого или белого портландцемента) с разными минеральными и неорганическими добавками, например, модификаторов, заполнителей и пигментов, которые формируются методом виброформования или литья в специальных формах.

В связи с появлением новых и инновационных композиционных материалов, представления о строительстве, особенно в строительном материаловедении, стали постепенно меняться. Считалось, рассмотрены все свойства строительных материалов. Появились бетоны, позволяющие минимизировать вредные выбросы в атмосферу в виде парниковых газов, предотвращая глобальное потепление, восстанавливать свою структуру, светиться, разглядеть сквозь них тени, силуэты и цвета предметов, увидеть различные световые эффекты (рисунок 1.1) [5-7].

Одним из интересных декоративных бетонов считается люмобетон – новый декоративный камень, изготовленный на основе портландцемента, мелкого заполнителя песка, воды и светящейся краски, полученной добавлением светящегося порошка люминофора в прозрачный лак. Он обладает способностью накапливать солнечную энергию в дневное время, которую преобразует в свет в темное время суток. Данный материал не утрачивает своих свойств и сохраняет яркость свечения достаточно длительный период времени. Бетон светогенерирующий применяется в малых архитектурных формах (МАФ), дорогах,

каминах, фасадах, подоконниках, светильниках, облицовочных плитах, экстерьере и интерьере [7].

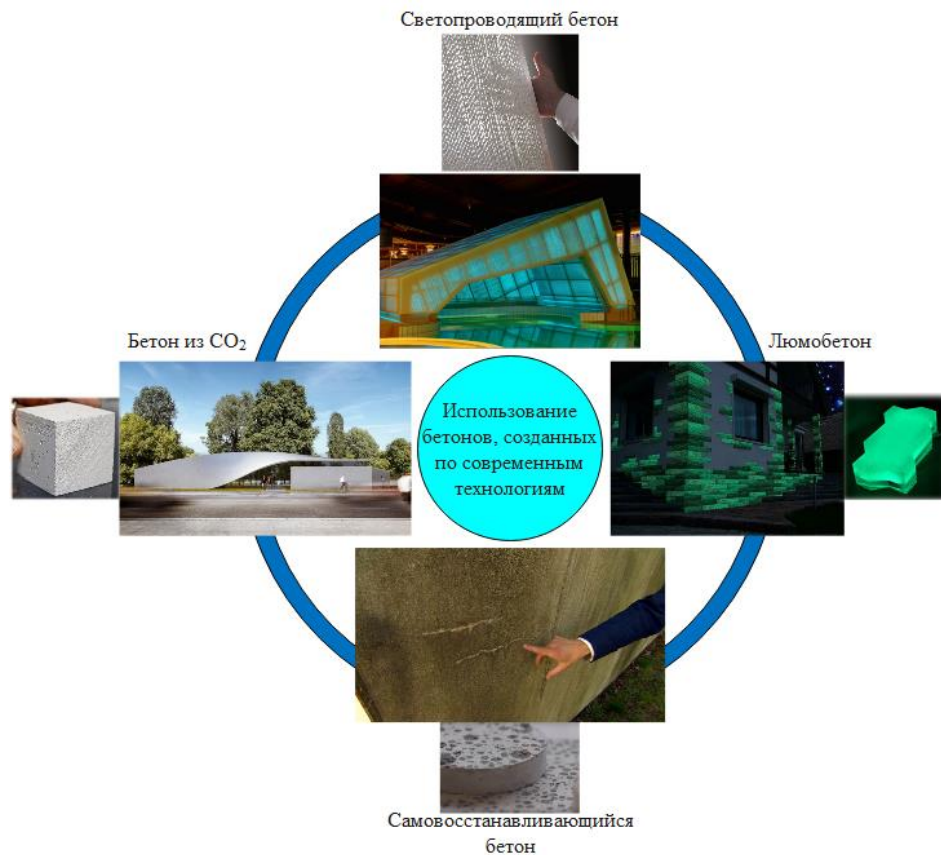


Рисунок 1.1 – Виды бетонов, созданных по современным технологиям

Важным событием стало создание светопроводящего бетона, увеличивающего возможности в области современной архитектуры, дизайна, строительства и градостроительства. Этот строительный материал имеет новые эстетические и декоративные, а также прочностные и теплоизоляционные свойства, не присущие обычным декоративным материалам. Его эстетические характеристики придают ему способность выполнять не только эстетические и декоративные функции, но и ряд эксплуатационных, что заметно расширяет сферу применения. Важно подчеркнуть, что бетон со светопрозрачностью может повысить безопасность, в частности, транспортного движения и пешеходных потоков благодаря освещению темных участков, в светлое время суток, устранять тени в зданиях и сооружениях, определенных тоннелях, под многоуровневыми дорогами и мостами. Данные свойства позволяют заметно расширить возможности его функционального применения. Бетон светопроводящий – бетон, состоящий из

цемента, наполнителя – мраморной или гранитной крошки, песка, воды и оптического волокна [8-12].

Бетон «прозрачный» появился на свет и запатентован в 1935 году канадцем Бернардом Лонгом совместно с компанией ООО «Сен-Гобен, Шони и Сирей» (Saint-Gobain, Chauny et Cirey). В 1990 годах прошлого столетия начали выполнять первые промышленные испытания образцов бетона светопропускающего [13, 14].

Настоящий прорыв осуществлен в 2001 году венгерским архитектором Ароном Лосонши. В результате его работ получен и запатентован первый коммерческий образец бетона светопроводящего с названием «LiTraCon». Производство этого бетона началось в 2005 году в Венгрии и др. странах [15].

Согласно такому анализу, прослеживается повышенный спрос на декоративные бетоны, в частности, по причине повышающейся тенденции реставрации и благоустройства городов для улучшения эстетического вида зданий и сооружений, увеличения бытовых и коммерческих расходов и переход предпочтений клиентов в сторону повышения эстетической привлекательности таких объектов инфраструктуры, что позволяет стимулировать рост рынка декоративного бетона [16, 17].

На данный момент, в мире существуют бетоны светопроводящие на основе одномодовых и многомодовых оптических волокон, а также пластиковых и стеклянных оптических призмах.

В последние годы в связи с резким увеличением доли экспериментального, офисного, индивидуального, коттеджного и прочего интенсивно инвестируемого строительства возникла огромная потребность в архитектурно-декоративном оформлении и украшении фасадов и прилегающих территорий. Поэтому прогресс в области науки и техники, развитие международных встреч, торговли, обмена и дружеских контактов способствуют изменению требований настолько быстро, что при планировании и проектировании декоративно-архитектурного оформления необходимо обеспечить высокий уровень качества будущего жилья, организации ландшафтного пространства с применением материалов светопрозрачных [18].

Бетон светопроводящий используется в выразительной архитектуре в качестве фасадного материала и для облицовки внутренних стен. Основной целью считается применение солнечного света в качестве источника света для снижения энергопотребления освещения и использование оптического волокна для определения нагрузки конструкций, а также применение этого бетона в качестве архитектурной цели для хорошего эстетического вида здания [9, 10, 19-24]. Данный материал довольно часто считается эксклюзивным, изготавливаемый по индивидуальному заказу. Его отличает применение достаточно дорогих высококачественных компонентов, перечисленных выше, в т.ч. минеральных отходов промышленности, соответствующие требованиям по белизне и различных видов добавок.

Особые требования к нему предъявляются по износостойкости, механической прочности, водостойкости, шумоизоляции, атмосферостойкости, стойкости к действию щелочей, кислот и воды, светостойкости и декоративности поверхностного слоя, что требует использования высококлассного (высокопрочного) цемента, современных пигментов и добавок.

Архитектура современных зданий и сооружений требует определенных новаций и технологических решений. Одним из таких интересных вариантов является создание бетонов нового поколения со светопрозрачным эффектом, позволяющим расширить наши возможности и представления в области эстетического восприятия отдельных конструкций и частей зданий. Появление бетона светопроводящего позволяет по новому взглянуть на стены и перегородки из него и каменных материалов, создать дополнительное освещение через ограждающие конструкции, реализовать самые смелые замыслы архитекторов и дизайнеров [25].

Как раз в последние годы в мире наблюдается спрос на бетон «прозрачный» или полупрозрачный, способный осуществлять не только конструкционные функции, но и выполнять декоративно-оформительские задачи. Такой бетон открывает новые возможности для творческих поисков дизайнеров, позволяет включить новые материалы в определенных элементах декорирования внутреннего

и внешнего облика зданий и сооружений, больших и малых архитектурных форм. Плита из бетона светопроводящего показана на рисунке 1.2.

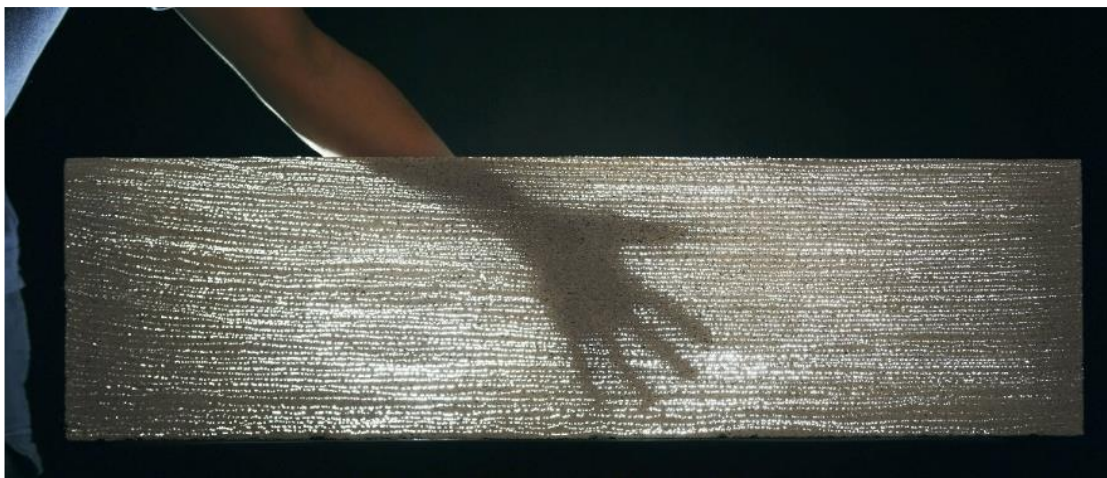


Рисунок 1.2 – Плита из бетона светопроводящего

Главным достоинством бетона «прозрачного» является то, что он пропускает как естественный, так и искусственный свет.

Материал имеет внешний вид, сравнимый с полированным натуральным камнем, что позволяет широко применять его в отделочных работах. Кроме того, прочность бетона «прозрачного» позволяет использовать его в строительстве и возводить из него перегородки и самонесущие стены [26].

Т. к. бетон светопрозрачный применяется как декоративный материал, актуальными являются его эстетические показатели.

Бетон «прозрачный» обладает следующими достоинствами [27, 28]:

- 1) решена проблема не эстетичности бетона;
- 2) пропускает естественный и искусственный свет;
- 3) имеет достаточно высокую прочность – не менее В30;
- 4) светопропускаемость материала практически не зависит от его толщины (оптическое волокно пропускает свет с минимальными потерями);
- 5) производство из экологически безопасного сырья;
- 6) соответствие трем главным критериям архитектуры – прочность, польза и красота.

Помимо достоинств есть недостатки [27]:

- 1) отсутствие возможности получения бетонной смеси в опалубке на стройплощадке;
- 2) высокая стоимость – за 1 м² примерно 500 долларов [10];
- 3) сложность в изготовлении (в плане укладки оптоволокон) и монтаже.

Оптическое волокно укладывают в бетон четырьмя способами с достижением трехмерного оптического эффекта. При производстве отделочных плит из бетона светопроводящего в основном применяются следующие виды сырьевых материалов: вяжущее – портландцемент супербелый (М600); мелкий заполнитель – песок природный; вода питьевая; заполнитель – мраморная или гранитная крошка; оптоволокна (ОВ) или призмы [10, 28-36].

На основе тщательно проведенных исследований по бетонам светопроводящим, важно сказать, что они имеют ряд существенных недостатков, а именно, использование достаточно дорогостоящего сырья, в частности, высокопрочного суперчистого белого портландцемента марки М600, иногда М700 и одномодовых или многомодовых оптических волокон и призм, трудоемкость и материалоемкость в их укладки (сотни тысяч оптоволокон на 1 м²), наличие специальных станков, выполняющих обработку и автоматическое упорядоченное или хаотичное размещение данных заполнителей светопроводящих, низкая экологичность, т.к. они могут содержать различные токсичные вещества, немалые электроэнергетические затраты на переработку во вторичное сырье в промышленных масштабах, утилизация этого сырья может приводить к долгосрочному загрязнению земли и водоемов, а также удаление определенного слоя материала в процессе шлифовки и полировки для обеспечения прохождения света по оптическим волокнам с одной стороны до противоположной стороны светопропускающего материала. В целом, технологии бетонов светопропускаемых на основе таких заполнителей довольно трудоемки и материалоемки, что приводит к повышению себестоимости готовой продукции.

В соответствии с вышесказанным, рассматривается альтернативный вариант бетона светопропускающего – декоративный бетон на древесном заполнителе.

1.2. Бетон на древесном заполнителе

В настоящее время в арсенале строителей имеется уникальный материал – бетона на древесном заполнителе, удачно сочетающий в себе прочность камня, легкость, экологичность, тепло- и звукоизоляцию древесины, удовлетворительную цену и простоту в применении. Древобетон – строительный материал, который получается при смешивании органического целлюлозного заполнителя (природного происхождения), воды, минерального вяжущего и химических добавок. Уникальность древобетона состоит в том, что в нем впервые удалось объединить такие характеристики, как прочность, легкость, экологичность, негорючесть, высокую тепло- и звукоизоляционную способность, а также возможность создания оптимального микроклимата в помещениях [37-45].

Официально считается, что древобетон создали голландцы в 1930-е годы, в частности, когда Ричард Хэндл подал заявку на патент «Способ изготовления легкого строительного материала из древесных отходов и цемента». В России данный материал массово появился в 1960 годы, а первые масштабные исследования древобетона начались ещё с 1920 годов. Советские ученые внесли огромный вклад в создание новых видов древобетона и в улучшение его характеристик. Древобетон отвечает многим эксплуатационным требованиям и имеет следующие характеристики (таблица 1.1) [37, 39-46, 47-49].

Таблица 1.1 – Характеристики древобетона [46, 49]

Характеристика	Значение
Средняя плотность, кг/м ³	400–850
Прочность при сжатии, МПа	0,5–3,5
Прочность при изгибе, МПа	0,7–1,0
Теплоемкость, кДж/кг · °С	2,30
Теплопроводность, Вт/(м · °С)	0,09–0,11
Морозостойкость, цикл	25–50
Водопоглощение, %	40–85
Огнестойкость, минуты	45–90
Коэффициент звукопоглощения (при частотах звука от 125 до 2 000 Гц), от 0 до 1	0,17–0,6
Усадка, %	0,4–0,5
Биостойкость, %	V группа
Сорбционное увлажнение (при относительной влажности 40–90 %), %	4–12

Из приведенных данных (таблица 1.1) следует, что у древобетона при средней плотности от 400 до 850 кг/м³ прочность при сжатии и изгибе составляет от 0,5 до 3,5 и от 0,7 до 1,0 МПа соответственно, что говорит о проявлении определенной химической агрессивности со стороны органического заполнителя природного происхождения, когда он взаимодействует с остальными компонентами древобетонной смеси. Также этот заполнитель податлив к заметным влажностным объемным деформациям. В т.ч. на прочностные характеристики древобетона существенно влияет его влажность. За счет своей структуры, изделия из древобетона получаются достаточно плотными и одновременно с этим довольно легкими и прочными, способные выдерживать железобетонные плиты перекрытия. Благодаря вышеприведенной плотности, материал имеет отличные физико-технические, строительные и гигиенические свойства [37-45].

Теплоемкость древобетона, равная 2,30 кДж/кг · °С, говорит о том, что стены из него не будут поглощать внутреннее тепло, поскольку данный показатель такого материала примерно в 2,5 раза выше воздуха. За счет этого параметра, представляется возможным экономить на отоплении. Теплопроводность древобетона достаточно низкая (0,09–0,11 Вт/м · К), благодаря чему наружные стены можно строить из блоков шириной 0,3 м, что обеспечивает увеличение внутренней площади здания. Причем утеплять его нет необходимости, что приводит к значительной экономии средств.

Морозостойкость древобетона достаточно высокая – от 25 до 50 циклов. При таких значениях и при минимальных потерях массы ($\leq 2\%$), дом из данного материала может эксплуатироваться век и больше [47-49].

Слабым звеном древобетона считается водопоглощение, т.к. составляет от 40–85 %, но одновременно с этим древобетон способен легко отдавать поглощенную воду из массива стен. Минимизировать водопоглощение древобетона возможно посредством защиты разными покрытиями его открытых поверхностей.

Огнестойкость древобетона составляет от 45 до 90 минут, что говорит о том, что он трудногорюем и относится к группе горючести Г1 – слабогорючие материалы. Это означает, что он тлеет, но не горит.

По биостойкости древобетон не настолько подвержен грибкам, как, например, древесина, из которой он изготовлен, поскольку в его состав входит минерализатор, равномерно обволакивающий щепу или дробленку. Т.к. звукопоглощение древобетона от 0,17 до 0,6 Гц, следовательно, отсутствует необходимость его звукоизолировать соответствующими материалами. Сорбционное увлажнение материала зависит от следующих факторов: средней плотности, вида добавок, используемого органического целлюлозного заполнителя и при определенной влажности воздуха (40–90 %) присутствует в пределах от 4,0 до 12 % [37, 47-49].

Древобетон обладает всеми достоинствами обычных бетонов: экологичность; огнестойкость; экономичность; биостойкость; звукоизолирующая способность; прочность; долговечность; легкость в обработке и технологичность.

Однако, как и у всех строительных материалов, он имеет некоторые недостатки: анизотропность (разбухание щепы вдоль и поперек волокон) и в определенной степени усадка наполнителя, что ведет к понижению прочности; замедление сроков схватывания древобетонной смеси, которое возникает по причине отрицательного воздействия экстрактивных и легкогидролизуемых веществ, в частности, сахарозы, глюкозы, фруктозы, кислоты, дубильных веществ, фенолов, хинонов, камеди и части гемицеллюлозы, которая может в тех или иных условиях превратиться в данные сахара. Менее опасны тонниды, смолы и крахмал; достаточно высокое водопоглощение органического целлюлозного заполнителя (щепы или дробленки) [50].

Область применения древобетона [37, 49]:

- теплоизоляционные плиты;
- ненесущие, самонесущие и несущие однослойные наружные и внутренние стены, крупные и мелкие блоки или монолитные стены, а также перегородки;

- ненесущие, самонесущие и несущие мелкие полнотелые или пустотелые блоки;
- самонесущие рамные конструкции;
- блоки для шумозащитных панелей;
- блоки несъемной опалубки;
- малоэтажное жилищное строительство (жилые малоэтажные здания и строения до трех этажей);
- культурно-бытовое строительство (культурно-бытовые малоэтажные здания и сооружения);
- промышленное строительство (промышленные сооружения);
- сельскохозяйственное строительство;
- плитные, щитовые и др. изделия;
- ограждающие конструкции;
- плиты покрытия и перекрытия;
- плиты основания под ленолеум и паркет;
- пространственные конструкции;
- вторичное сырье.

На основе проведенных исследований по бетонам со светопроводимостью и древобетону рассматривается вопрос применения химически обработанной древесины в качестве древесного светопропускаемого заполнителя для древобетона.

1.3 Древесина как светопрозрачный заполнитель

Одним из самых первых материалов, которые стал применять человек, считается древесина. Нет ни одной области промышленности, где бы ни применялась древесина или получаемые из нее продукты. Древесина – самый известный и распространенный природный материал в жизни человека по всему земному шару; в отличие от нефти, угля и газа, относится к возобновляемым природным ресурсам; она является прочным, недорогим, натуральным материалом для строительства. За счет высоких физико-механических качеств, хорошей

обрабатываемости, а также эффективного способа изменения отдельных свойств посредством химической и механической обработки, древесина нашла широкое применение. Среди положительных свойств древесины считается ее низкая теплопроводность, достаточно высокая прочность, хорошая сопротивляемость ударным и вибрационным нагрузкам, способность прочно склеиваться, сохранять красивый внешний вид и хорошо воспринимать отделку [51, 52].

В силу широкой распространенности и востребованности в древесине во всем мире, по данным мирового отчета международного союза охраны природы по мировым запасам леса (площади лесов) Россия занимает первое место с площадью лесного фонда более 8 млн км². Основные запасы лесов РФ находятся в Сибири и на Дальнем Востоке. Ежегодный прирост леса в России составляет около 700 млн м³. РФ принадлежит первое место по площади, занятой лесами, что больше лесопокрытой площади таких крупных лесных стран мира, как Бразилия, Канада, США, Китай, Австралия и Швеция, вместе взятых. Большее количество древесины в России дают породы лиственница, сосна и ель, а древесина лиственных пород (береза, дуб, бук, осина, липа и др.) широко используются как поделочный материал [53, 54].

С одной стороны, некоторые недостатки древесины можно устранить, а др. практически нет (анизотропия), что вызывает необходимость прибегать к разным видам ее обработки (рисунок 1.3).

По рисунку 1.3 можно сказать, что механическая обработка позволяет получать разные формы, массу и объем древесины, не изменяя ее химический состав. Например, большинство древесных изделий обрабатывается с нарушением связей между волокнами. Данная обработка дерева основывается на свойстве делимости и выполняется чаще всего резанием, в частности строганием, пилением и фрезерованием. Реже используется переработка без нарушения связей между волокнами целлюлозы, а именно, гнутье и прессование. При таких способах обработки древесины она сохраняет приобретенную ей деформацию после прекращения оказания на нее внешних сил.

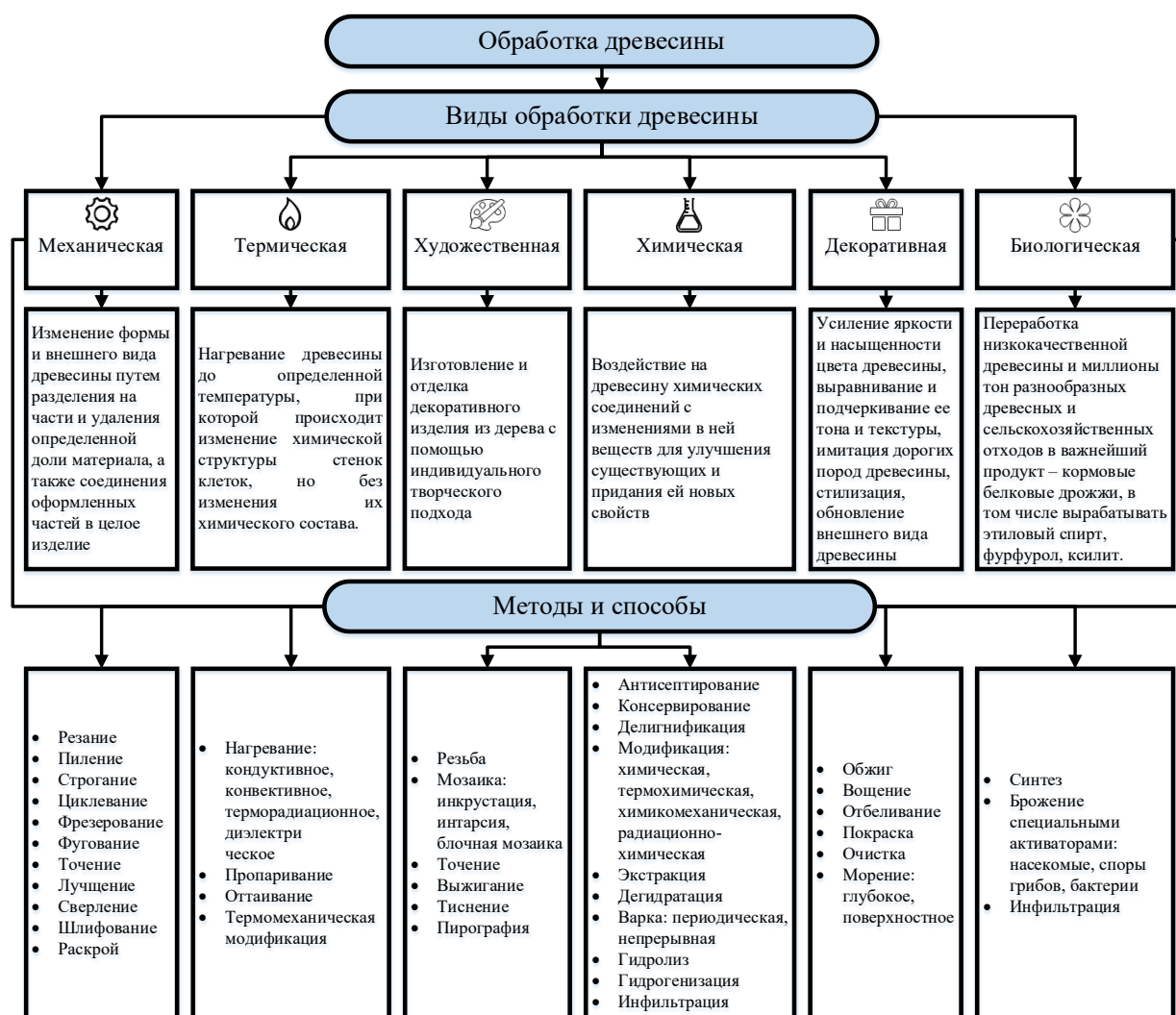


Рисунок 1.3 – Виды и способы обработки древесины

Но древесина не обладает достаточными пластическими свойствами, чтобы менять изначальную форму под действием сил механической обработки, поэтому часто подвергаются тепловой, биологической и химической обработке. Художественная обработка древесины выполняется с целью придания деревянным изделиям определенных эстетических характеристик. Декоративная обработка – последний этап работы с древесиной. Данная обработка включает чистку и покраску, т.к. без таких операций древесина будет поглощать влагу, и, со временем, изменять форму и размеры. Например, после ее отбеливания, меняется окраска, устраняются изъяны, сглаживаются узоры, что приводит к улучшению декоративных характеристик и повышению срока эксплуатации. Др. важный вид переработки древесины – биологический. Он заключается в помещении дерева в емкость, где производится брожение за счет внедрения специальных активаторов,

которые являются бактериями, насекомыми или спорами грибов, впоследствии искусственной деструкции древесины, образуются ценные продукты в виде микробиологического синтеза [54].

Химическая обработка древесины считается одним из самых простых и доступных вариантов работы с древесиной. В процессе пропитки древесины химическими реагентами, в ней происходят определенные реакции и превращения. После химизации, в основном, древесина становится белой с новыми свойствами, например, блеск, высокие прочностные и механические свойства, улучшенная пластичность, биологическая и химическая стойкость, твердость, снижение гигроскопичности, влаго- и водопоглощения, повышение огнестойкости. В частности, после термохимической модификации древесины, путем пропитки ее олигомерами, мономерами или смолами и последующей сушки для поликонденсации и полимеризации, она обретает улучшенную жесткость, твердость, водостойкость, в т.ч., низкую гигроскопичность, водопоглощение, водопроницаемость и уменьшенное набухание. Она применяется в инструментах музыкального искусства, паркетах и из нее изготавливают детали мебели. Др. способ химической обработки древесины заключается в ее химико-механической модификации. При таком методе она подвергается пропиткой аммиаком, мочевиной или др. реагентами, затем прессуется. Благодаря данному способу дерево приобретает повышенную пластичность, соответственно, ей легко придается новая форма и размеры. Она используется в паркетах и покрытиях полов. Или иной подход – радиационно-химическая модификация древесины. Посредством этого способа производится пропитка дерева различными веществами, например стиролом, акрилонитрилом, винилацетатом или метилметакрилатом под действием ионизирующего излучения, в результате которого она повышает свои эксплуатационные и механические свойства, а также формоустойчивость. Изделия из такого материала могут применяться для конструкций, находящихся в агрессивных средах, машиностроении, изделиях отделочного и декоративного назначения. Интерес вызывает также химическая модификация древесины. Ее суть заключается в том, что древесный материал в

сухом состоянии пропитывается специальными химическими составами, влияющие на данный материал на клеточном уровне, за счет чего происходит изменение его определенных свойств. Такой метод обработки обеспечивает древесине высокую прочность, влагостойкость, устойчивость к УФ-излучению и формостабильность. Однако, у конечного химически модифицированного продукта все же есть недостатки: трудоемкость в обработке, вредные вещества в структуре материала и достаточно высокая стоимость. Но, несмотря на недостатки и поскольку их заметно меньше, чем достоинств, данный продукт может применяться в возведении мостов, домов, сооружений и хозяйственных построек, а также в оформлении причалов, террас и др. объектов инфраструктуры, где постоянно высокая влажность.

Подробно рассмотрев классификацию обработки древесины, в настоящий момент, одними из самых перспективных путей ее использования – модификация и делигнификация древесины, поскольку после них ей придаются улучшенные новые свойства, по уровню, сопоставимые со свойствами искусственных материалов.

В 1992 году была получена прозрачная древесина, созданная немецким лесным экологом, специалистом лесной ботаники Зигфридом Финком из Фрайбургского университета Германия. По результатам его работ получен первый в мире образец древесины прозрачной [55].

На сегодняшний день древесиной светопрозрачной занимаются: шведские компании – Cellutech AB и AWA SWEDEN AB, пять американских компаний – InventWood, Nomaco, Abro, Preserva Products Ltd. и Wash safely, одна итальянская фирма – Sayerlak, нидерландская организация – Holland Composites, новозеландская компания – Fletcher Challenge и несколько китайских организаций. Производством древесины светопроводящей на основе оптических волокон занимаются такие компании, как Lucson, Unwood – компания, основанная от организации Иллюминарт, которая выпускает данный строительный материал под названиями «Lumiwood» и «Unwood», Gravelli и LCT – зарубежные организации [56-74]. Из вышесказанного следует, что на настоящий момент, есть древесина

светопрозрачная на основе прозрачных веществ и оптических волокнах (рисунок 1.4).

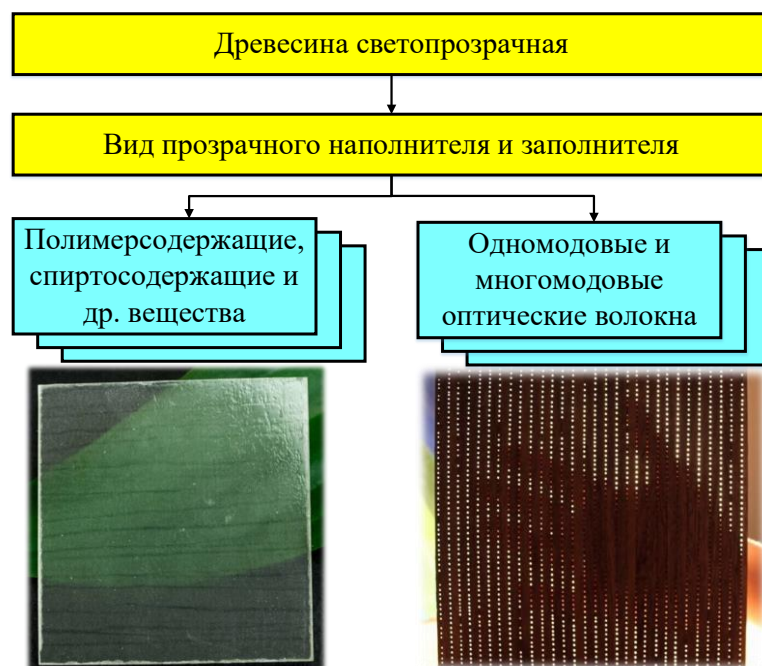


Рисунок 1.4 – Принципы получения светопрозрачной древесины

Установлено, что древесина светопрозрачная на основе полимесодержащих, спиртосодержащих и др. веществ значительно прозрачнее, чем та, которая с оптическими волокнами. Это объясняется тем, что у первого материала свет проходит, прежде всего, через всю структуру, во-вторых, принцип получения его светопропускаемости и прозрачности совершенно иной, нежели у последней. У второй древесины свет проводится только точно, через волноводы – одномодовые или многомодовые ОВ, остальная часть структуры свет не пропускает.

Для понимания того, насколько применима и востребована древесина прозрачная в деле, ниже приводятся некоторые результаты по ее исследованию.

В мире наблюдается достаточно высокий спрос на прозрачную древесину, благодаря ее свойствам, такими как высокая прочность, в 5–8 раз выше, чем у стекла и более чем в два раза выше, чем для чистого пластика из ПММА, наиболее низкой теплопроводностью по сравнению со стеклом, повышенной теплоемкостью, твердостью, низкой гигроскопичностью, высокой прозрачностью (от 90 до 95 %) и общим коэффициентом светопропускания (95 %), особенно в

таких областях, как строительство, солнечные батареи, мебель и др. Однако, древесина светопрозрачная имеет свои недостатки. За счет поглощения влаги из воздуха она частично изменяет некоторые характеристики в т.ч. линейные размеры. Относительно широкая область применения древесины прозрачной, а также интенсивное развитие строительной деятельности способствует росту международного рынка по данному материалу [73-77].

Разработкой новой древесины, с целью устранения недостатков, улучшения существующих получения новых уникальных свойств, активно занимается немалое количество ученых и специалистов по всему миру. Исследователями решаются вопросы повышения прочностных, механических и фотометрических свойств древесины модификацией ее лигнина. Данный метод состоял из двух этапов и проводился нанесением пероксида водорода на поверхность дерева под непрерывным ультрафиолетовым излучением, что привело к удалению хромофоров лигнина. Затем во внутреннюю древесную структуру вводилось прозрачное вещество – эпоксидная смола под действием вакуума. После чего была проведена инфракрасная спектроскопия, по результатам которой выяснилось, что полученная модифицированная древесина показала низкое светопоглощение ($< 4\%$) и высокий коэффициент светопропускания (90%), отмечены ее положительные механические свойства, такие как предел прочности при разрыве, гибкость в продольном и поперечном направлениях [76].

Проведены исследования по увеличению прозрачности путем уменьшения светорассеяния, а также повышения некоторых механических свойств методом делигнификации древесины. При использовании отбеливающего раствора на основе каустической соды, сульфита натрия и перекиси водорода, удалены хромофоры, лигнин, легкогидролизуемые и экстрактивные вещества, что позволило пропитываемому полимеру, в процессе инфильтрации древесины, быстро проникнуть в открытые внутренние каналы, после чего древесина стала прозрачной. Установлено, что после глубокой пропитки одновременно уменьшается светорассеяние и повышается прочность на изгиб (до 45 МПа), пластичность, аналогичная натуральной древесины, т.е. примерно $3,7 \%$ и

прозрачность до 92%. С помощью вышеприведенного метода обработки древесины удаляется лигнин и волокно набухает более легко, а пластичность и гибкость волокна возрастает [76, 77].

Российскими авторами ставилась цель обеспечить достаточно высокие физико-механические характеристики обработанной древесины по сравнению с обычной. Для этого приготавливался отбеливающий раствор на основе перекиси водорода, гидроксида натрия и силиката натрия. Отбеливание древесины выполнялось при 30 % концентрации данных веществ, в котором, в частности, силикат натрия выполнял роль стабилизатора пероксида водорода. После, отбеленная древесина подвергалась флотации. В плане флотационного вещества применялась олеиновая кислота. Доказано, что древесный образец, обработанный отбеливающим составом, по всем физико-механическим показателям оказался выше, чем древесина без обработки реагентами, т.к., именно, предел прочности при сжатии оказался 1,78 против 1,52 МПа, прочность при растяжении 3,98 против 2,59 кН/м, разрушающее усилие 39,78 в сравнении с 21,25 Н и работа разрыва 16,11, что больше, чем 7 610 м [78].

Как показала многолетняя практика исследований, применение в отбеливающих растворах стабилизаторов и хелатирующих веществ, позволяет уравнивать химические реакции в данных растворах, лучшим образом контролировать процесс отбеливания древесины.

Интересен опыты, целью которых стояла разработка древесины оптически проницаемой на биологической основе с высокими показателями прозрачности, механическими свойствами, низкой мутностью. Для получения отбеленной древесины, использовалась зеленая и селективная делигнификация, которая основана на применении надуксусной кислоты, удаляющая лигнин. С помощью сканирующего электронного микроскопа на микрофотографиях установлено, что химически обработанная древесина выглядит белой с сохраненной клеточной структурой. Соответственно, подтверждено, что делигнификация проходила на микроуровне в виде формирования пор в богатых лигнином участках клеток и в средней ламеле между клетками. На следующем этапе проводилась

посттрансляционная модификация, при которой сукцинильная группа ($-\text{CO}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CO}_2\text{H}$) добавляется к остатку лизина молекулы белка, т.е. происходит процесс называемый сукцинилизацией с целью снижения чувствительности древесины и облегчения пропитки ее мономерами. Затем проводилась инфильтрация древесного образца биоконпозицией на основе лимоненакрилата, далее полимеризация данной композиции в древесном субстрате, в итоге получился биоконкомпозит с сохраненной морфологией древесины [76].

После чего проводилась оценка качества изготовленного образца на прочностные, механические и фотометрические свойства. В результате древесина получилась с эффективной прочностью 623 МПа, эффективным модулем упругости 60 ГПа, модулем Юнга 2 ГПа, увеличенным модулем клеточной стенки, улучшенной передачей напряжения между фибриллами целлюлозы, минимальный показатель преломления образца и, как следствие, высокий общий коэффициент пропускания 95 % в сочетании с очень низкой мутностью (прямым рассеянием света) 3 % (рисунок 1.5).



Рисунок 1.5 – Пример прозрачной древесины

Установлены основные законы светопоглощения и развития областей применения, анализ различных веществ способствующих созданию классификации видов древесины светопрозрачной: механически и термомеханически обработанной, делигнифицированной и модифицированной. В свою очередь, древесина светопрозрачная, изготавливается следующим образом: распил древесного материала до формы параллелепипеда; обработка его поверхностей; намотка слоев из оптических волокон на древесные панели; каждый слой проклеивается клеем, в состав которого вводится мелкодисперсный

несвето пропускающий материал для обеспечения однородной внешней поверхности конечного материала; склеивание проводится под давлением, который определяется опытным путем; осуществляется шлифовка древесного композита до тех пор, пока торцы оптических волокон не станут вровень по отношению к его граням с целью достижения светопропускания данного композита; резка древесного композита светопроводящего на несколько более тонких частей (плит); шлифовка его поверхностей [20, 51, 79-85].

Следующий способ, на основании которого получается древесина светопрозрачная – делигнификация.

Еще в 1844 году английский ученый-химик Джон Мерсер, впервые продемонстрировал то, что целлюлоза при погружении в те или иные растворы гидроксида натрия, достаточно высокой концентрации, примерно от 16 до 18 % (комнатная температура), изменяет свою структуру и свойства. Волокна укорачиваются примерно на 15–25 %, сильно набухают, особенно в поперечном направлении. Размеры волокна увеличиваются на 60–70 %. После ее химической обработки, тщательной промывки под проточной водой от щелочи и дальнейшей сушки, она обретает блеск, более высокую прочность на разрыв, а также способность лучше окрашиваться красителями [80, 86].

По результатам делигнификации древесины отбеливающим раствором, как отмечают многие авторы, она становится белой. После глубокой пропитки этой древесины, ее внутренняя структура заполняется полимерсодержащими, спиртосодержащими или др. веществами, показатель преломления которых максимально близок показателю преломления целлюлозы с целью уменьшения ее коэффициента преломления и, соответственно, светопоглощения и светорассеяния, одновременно повышаются пластичность, определенные физико-механические, фотометрические и термические свойства [79, 80, 82, 83, 86].

Третий способ, по которому изготавливают древесину светопрозрачную, модификация. Общий примерный алгоритм действий похож на тот, что приведен выше. В результате химической модификации древесины она обретает высокие показания по прочностным, механическим, термическим и фотометрическим

свойствам, в частности, высокие значения по влагостойкости, биостойкости, гидрофобности, износостойкости, устойчивости к УФ-излучению, прочности при сжатии, изгибе, модулю Юнга, светопроводимости, прозрачности. Одновременно с этим уменьшается анизотропия прочности, усушки, разбухания, а также значительное снижение показателя преломления, рассеяния и мутности [82-85].

При рассмотрении наиболее перспективных способов получения древесины светопрозрачной, а именно, делигнификации и модификации, необходимо провести сравнительный анализ их достоинств и недостатков.

С одной стороны, в процессе делигнификации древесины, из нее полностью или частично удаляются натуральные светопоглощающие вещества, такие как хромофоры, лигнин, нативный лигнин, экстрактивные и легкогидролизуемые вещества. Например, высокие потери гемицеллюлоз понижают адгезию (связность) в точках контакта целлюлозных волокон, что в итоге приводит к снижению прочности целлюлозы. Прочность в свою очередь, понижается вследствие деструкции целлюлозных цепей. При удалении даже большей части лигнина и нативного лигнина происходит ухудшение механических и, также, прочностных свойств древесины. В результате, даже при ее качественно проведенной глубокой инфильтрации пропитывающими составами, например, эпоксидной смолой, поначалу она действительно будет обладать примерно такими же высокими физико-механическими свойствами, что и древесина модифицированная, но, все равно, через определенное время, данные свойства будут неизбежно изменяться [82-86].

Вышеперечисленные недостатки древесины делигнифицированной светопрозрачной, на данный момент, не позволяют применять ее в ответственных конструкциях. Однако стоит обратить внимание на ряд ее достоинств: во-первых, по результатам экспериментальных данных, древесина делигнифицированная светопрозрачная имеет большее разрушающее усилие, удлинение перед разрывом, прочность при растяжении и работу на разрыв, чем древесина модифицированная светопрозрачная; во-вторых, способы получения этой древесины (методы окислительной делигнификации) не дают вредных выбросов и гарантируют более

высокий выход целлюлозы, в-третьих, среди используемых окислителей, перекись водорода, неограниченно растворяется в варочном щелоке, проникает внутрь щепы и не требует высокого давления для реализации процесса окисления [79]. Гидроксид натрия, используемый в качестве добавки в растворе из пергидроля и воды – один из наиболее приемлемых веществ из всех существующих. В результате, полученный на основе вышеприведенных реагентов делигнифицирующий раствор, считается одним из самых предпочтительных и перспективных вариантов для отбеливания древесины, т.к. этот раствор не дает вредных выбросов и обеспечивает наиболее высокий выход целлюлозы, в сравнении с тривиальными методами.

Рассматривая достоинства древесины модифицированной светопрозрачной, важно выделить следующие: высокие показатели разрывной длины, прочности при сжатии, модуля Юнга, механической прочности, теплоемкости (выше, чем у стекла и древесины делигнифицированной), более низкая теплопроводность, мутность, светопоглощаемость, светорассеянность и показатель преломления. В т.ч., определенные пропиточные композиции на биологической основе при проникновении в древесину, обладают функциональными возможностями: легкая кинетика размножения состава с помощью активированного алкена первого, взаимное проникновение (диффузия) биокомпозиции в клеточные стенки древесины и структуру лигнина с помощью дезактивированного алкена второго, который обеспечивает на поздних стадиях сшивание β -гидроксидов и карбоксидов, тем самым улучшая некоторые свойства органического ароматического вещества и древесного материала в целом.

Пропитка древесины делигнифицированной светопрозрачной и модифицированной прозрачной композициями на биологической основе, дает лучшие результаты по их физико-механическим и фотометрическим свойствам, чем на синтетической, полимерной и спиртовой.

Интересен опыт авторов, которые использовали метод делигнификации древесины для изготовления из нее древесных опалубок прозрачных для строительства с целью удобного наблюдения за уплотнением бетонной смеси,

чтобы улучшить качество ее укладки в опалубку прозрачную. Сначала китайские разработчики разрезали доску на несколько более тонких досок, чтобы легче осуществлять их пропитку веществами. При прогреве древесных образцов (температура 150–220 °С) для полного устранения влаги, чтобы она не мешала проникновению веществ в структуру материала, осуществлялось погружение в 1–8 % раствор каустической соды с непрерывным введением в него кислорода для ускорения инфильтрации отбеливающих реагентов в обрабатываемые доски, и, как следствие, повышения эффективности удаления лигнина [87, 88].

Для реализации этой цели авторы химически обрабатывали древесину отбеливающим раствором на основе гидроксида натрия, сульфита натрия и деионизированной воды с малыми концентрациями. После кипячения в течение 12 часов с последующим трехкратным ополаскиванием горячей дистиллированной водой для удаления большей части химикатов с их поверхности и удалению лигнина. Затем древесные материалы снова помещали в отбеливающий раствор и повторно кипятили без перемешивания. Желтый цвет древесных изделий исчез, они извлекались и промывались холодной водой и далее хранились в этаноле. Затем на стадии их инфильтрации использовалась пропиточная композиция на основе эпоксидной смолы и циклоалифатический отвердителя соотношением 2 : 1. Древесные материалы помещали на дно ванны и погружали в получившуюся композицию. Композиция дегазировалась (нейтрализовывалась) под действием вакуума при давлении 200 Па для удаления газов и органического растворителя этанола из древесных материалов. На выходе авторами получены древесные материалы оптически светопрозрачные, которые в дальнейшем подвергались последующим этапам для их применения в дисплеях телефонов.

1.4 Химизм процесса взаимодействия древесины с минеральными вяжущими веществами

Древесными заполнителями, могут являться многочисленные органические целлюлозные заполнители различного природного происхождения, в частности, отходы деревообрабатывающей (дробленка, щепа, тонкомер, станочная стружка, одубина, неделовой горбыль, срезки, лесорамные опилки, торцы, низкосортная и некондиционная древесина), сельскохозяйственной (костра льна, камыш, джут, стебли хлопчатника, рисовая солома,) и целлюлозно-бумажной промышленности. Этим материалам присущи важные свойства, такие, как низкая средняя плотность, гидрофильность и легкость обработки, что, с др. стороны, осложняют получение материала высокой прочности. К своеобразным особенностям органического целлюлозного заполнителя, которые негативно влияют на процессы формирования, устойчивость и прочность древобетона, относятся следующие: сильно выраженная анизотропия, довольно высокая проницаемость, заметные объемные влажностные деформации и появление давления набухания, достаточно низкая адгезия к цементному камню, высокая химическая агрессивность и существенная упругость в процессе уплотнения смеси [37].

Исследование химической агрессивности системы «древесина – цементный камень» проводятся более ста лет. Выдвинута гипотеза, что малая прочность данной системы возникает по причине химического состава древесины. Первые исследования показали, что древесина содержит в своем составе экстрактивные и легкогидролизуемые вещества, т.е. «цементные яды», которые опасны для цемента, замедляющие набор прочности изделий. Соответственно этому, усилия исследователей и практиков ориентировались на нейтрализацию их негативного влияния. Работами, выполненными отечественными и зарубежными исследователями, установлено, что наибольшее негативное действие вызывают легкорастворимые вещества: сахароза, фруктоза, глюкоза, кислоты, камеди, дубильные вещества, фенолы и хиноны, а также часть гемицеллюлозы, которая может в соответствующих условиях превращаться в данные сахара. Меньший вред наносят тонниды, смолы и крахмал. В частности, целлюлоза и лигнин

отрицательного воздействия на гидратацию цемента почти не оказывают. Щелочная среда цементной смеси способствует выведению экстрактивных и легкогидролизуемых веществ, число которых варьируется в значительных пределах с учетом древесной породы, условий и сроков ее хранения [37, 89].

Прочность древобетона зависит в основном от следующих характеристик древесного заполнителя: влажность, химическая активность, деформативность, химический и гранулометрический состав, объемные влажностные деформации, давление набухания, коэффициент формы зерен, сильно выраженная анизотропия и высокая проницаемость. Плотность изготавливаемого древобетона на древесном заполнителе при его соответствующей структуре и рационально подобранном составе смеси обеспечивают нужную прочность структурных связей в системе «затвердевшее вяжущее – органический целлюлозный заполнитель природного происхождения». Взаимодействие древесного заполнителя в виде щепы, древесной дробленки и цемента исследуется и изучается достаточно давно и многими учеными [90-99].

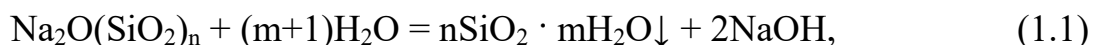
По механизму влияния экстрактивных веществ на твердение и гидратацию цемента имеются различные точки зрения. Так, например, обнаружено, что действие водорастворимых веществ древесного заполнителя на твердеющий цемент проявляется в стабилизирующем эффекте. Особенно, легкогидролизуемые и экстрактивные вещества, по большей части, состоящие из углеводных групп НОСН , оседая на поверхности частиц минералов цемента, а именно, 3CaOSiO_2 и $3\text{CaOAl}_2\text{O}_3$, формируют тонкие оболочки, затрудняющие процессы твердения цемента. Для минимизации негативного воздействия «цементных ядов», в частности, на прочность древобетона, предложены разные методы и технологические приемы, смысл которых заключался в удалении некоторой части этих ядов из органического заполнителя, в превращении простых сахаров в безвредные или нерастворимые для цемента соединения, а также в ускорении твердения искусственного неорганического гидравлического вяжущего вещества. Но, в большинстве случаев, предложенные методы «минерализации» древесного заполнителя имеют довольно высокую трудоемкость, требующие многократной

обработки этого заполнителя теми или иными реагентами вплоть до кипячения или тщательной промывкой и др. [37, 89, 98-101].

Известным способом химической обработки органического целлюлозного заполнителя природного происхождения считается долгая выдержка его в воде с температурой от 18 до 20 °С, что, с одной стороны, способствует повышению прочности древобетона примерно на 12–15 % в отличие от древесного заполнителя, не тронутого химией. При вымачивании данного заполнителя, из него вымываются только легкорастворимые вещества, однако не выводятся полисахариды, которые оставаясь в заполнителе на древесной основе, тормозят твердение цемента. К тому же, обработка древесного заполнителя горячей водой в определенной степени повышает трудоемкость, и, следовательно, усложняет технологию обработки.

Важно подчеркнуть, что уровень негативного влияния влажностных деформаций заполнителя из древесной основы на прочность древобетона в основном определяется параметрами сцепления двух разных по природе материалов, вследствие чего изучение воздействия этих факторов рационально во взаимосвязи [96, 102-105].

Использование химических добавок, в частности, таких как, хлористый кальций (CaCl_2) и натриевое жидкое стекло ($\text{Na}_2\text{O}(\text{SiO}_2)_n$), позволило, во-первых, достаточно эффективно ускорять схватывание и твердение древобетонной смеси на цементной и без цементной основе. Во-вторых, равномерно обволакивать и заполнять межзерновые пустоты в этой смеси, а также блокировать и нейтрализовывать действие экстрактивных и легкогидролизуемых веществ по причине твердения водного раствора силиката натрия на воздухе, формируя поликремниевые кислоты в результате гидролиза силикатов натрия по химическому уравнению (1.1) [106]:



где $\text{Na}_2\text{O}(\text{SiO}_2)_n$ – натриевое жидкое стекло; m – количество молекул воды; H_2O – вода; n – модуль жидкого стекла; SiO_2 – диоксид кремния; $n\text{SiO}_2 \cdot m\text{H}_2\text{O} \downarrow$ – белый студенистый осадок; NaOH – гидроксид натрия.

А также диссоциацией силиката натрия углекислым газом атмосферы и водными парами с выделением геля кремниевой кислоты, коагуляция и уплотнение которого при высыхании создают вяжущие свойства (1.2) [106]:



где CO_2 – углекислый газ; Na_2CO_3 – кальцинированная сода.

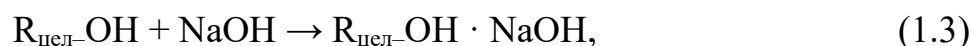
Диссоциации, в т.ч., способствует наличие на поверхности изделий органических и неорганических кислот, а также кислых солей. Данный факт обосновывается тем, что водный раствор силиката натрия содержит щелочную реакцию, где водородный показатель больше восьми ($\text{pH} > 8$).

За счет химических реакций на поверхности древесных частиц формируется пленка кремниевой кислоты. Но, т.к. она не дает проникать CO_2 во внутренние слои, то это не позволяет им полностью высыхать и затвердевать, что не обеспечивает требуемой адгезии в контактной зоне между древесным заполнителем и цементом. Следовательно, используемые методы «минерализации» заполнителя на древесной основе, как в отечественной, так и в зарубежной практике, действительно повышают скорость набора прочности в начальный момент времени, но не позволяют получать достаточно прочный строительный материал. Соответственно этому, применяя жидкое стекло в бетоне, для производства больших изделий, где твердение не представляется возможным, в данный раствор вводятся добавки, обеспечивающие твердение бетона по объему без высыхания, в частности, некоторые виды шлаков, нефелиновый шлам, кремнефтористый натрий (Na_2SiF_6) и др., гарантирующие снижение величины pH в объеме материала [106].

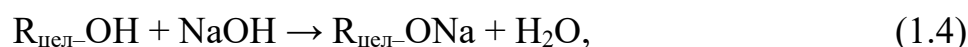
Авторами отмечается, что наилучшая адгезионная прочность жидкого клея с древесиной обеспечивается при горячем прессовании, т.к. в этом случае происходит полное заполнение неровностей и увеличивается площадь контакта между жидким веществом и древесным заполнителем. В результате данного взаимодействия формируется большее число связей между связующим и гидроксильными группами лигнина и целлюлозы [107-109].

Зафиксировано, что из образцов, которые обработаны раствором щелочи, полученные при горячем прессовании древесного заполнителя, извлекается почти в 5 раз больше растворимых в H_2O , а число выделяемых эфиром веществ, более 2,5 раз превышает количество таких веществ, экстрагированных из образца, сделанного из необработанного заполнителя на древесной основе.

При этом действие раствора $NaOH$ на целлюлозу, по мнению большинства ученых, может протекать с формированием аддитивных или молекулярных соединений, в которых связь целлюлозы и щелочи определена межмолекулярными силами, а именно, водородными связями, или с получением алкоголятов (целлюлозатов). Они по свойствам такие же, как и алкоголяты натрия, которые получены, в частности, из гидроксида натрия (1.3) и (1.4) [110, 111-113]:



где R – щелочноземельный или щелочной металл; $R_{\text{цел}}-OH$ – химическая формула щелочной целлюлозы; $R_{\text{цел}}-OH \cdot NaOH$ – молекулярные (аддитивные) соединения.



где $R_{\text{цел}}-ONa + H_2O$ – алкоголяты (целлюлозаты).

Также при химическом взаимодействии щелочного раствора на целлюлозу, в OH -группах происходит некоторая замена элементов. В результате получают щелочную целлюлозу $[C_6H_7O_2(OH)_2Na]_n$. Результат химической реакции между целлюлозой и раствором $NaOH$ представлен на рисунке 1.6 [81].

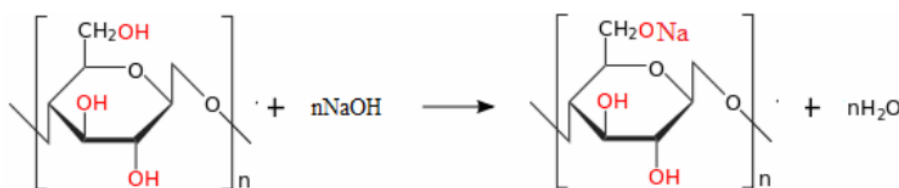
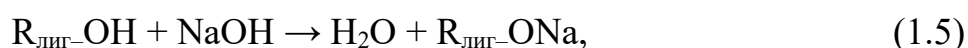


Рисунок 1.6 – Химическая реакция между целлюлозой и раствором щелочного агента

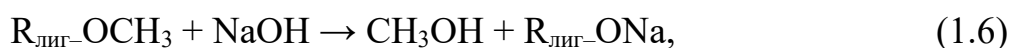
Установлено, что в экстракте естественной древесины процентное содержание редуцирующих веществ больше и составляет 18 % до инверсии и 66 % после инверсии, одновременно с этим в образце, обработанном щелочью, всего получилось 3,4 % и 6,8 %. Это говорит о разрушении гемицеллюлоз, как по реакции

окисления до оксикислот, так и по реакции концевых групп. На этот момент также указывает снижение водородного показателя водных вытяжек из химически обработанного щелочью древесного заполнителя до и после прессования с 12,5 до 8,3 единиц pH. Соответственно, происходит нейтрализация щелочи жидкого стекла органическими кислотами, которые формируются в заполнителе из древесной основы под высокой температурой [110].

Анализ УФ-спектров эфирорастворимых веществ указывает на то, что после вступления в химическую реакцию щелочи с древесным заполнителем, образуются фрагменты лигнина. В дополнение к этому, под воздействием NaOH на данный биополимер происходит отщепление его некоторых функциональных групп, таких как гидроксильные ($-\text{OH}$), метоксильные ($-\text{OCH}_3$), карбонильные ($-\text{CO}$) и карбоксильные ($-\text{COOH}$) получаемые по нижеприведенным уравнениям химических реакций (1.5), (1.6), (1.7) и (1.8) [110-114]:



где $-\text{OH}$ – гидроксильная группа; $\text{R}_{\text{лиг}}-\text{ONa}$ – натронный лигнин; ONa – фенолят.



где $-\text{OCH}_3$ – метоксильная группа; CH_3OH – метиловый спирт (метанол).

На выходе реакции формируются свободные фенольные гидроксилы, с которыми гидроксид натрия образует феноляты (рисунок 1.7) [114].

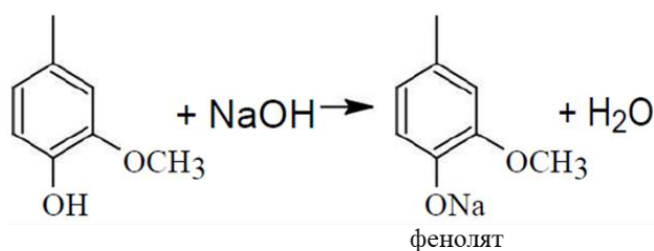
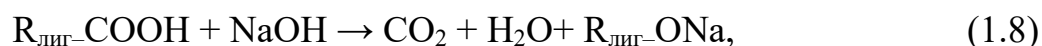


Рисунок 1.7 – Химическая реакция между метоксильной группой лигнина ($-\text{OCH}_3$) и гидроксидом натрия (NaOH) с образованием фенолятов



где $-\text{CO}$ – карбонильная группа; $-\text{CHO}$ – альдегидная группа.



где $-\text{COOH}$ – карбоксильная группа; CO_2 – углекислый газ.

Также эфирорастворимые вещества содержат большую полидисперсность и более низкую молекулярную массу. По данным ИК-спектров таких веществ выявлено увеличение полосы валентных колебаний карбоксильных и карбонильных групп лигнина, в т.ч. полосы поглощения, характеризующиеся присутствием его замещенного ароматического кольца, что говорит о деструкции углеводов-лигнинного комплекса и формировании веществ лигнинного происхождения. К тому же, важно подчеркнуть, что химическое взаимодействие щелочи жидкого стекла на древесный наполнитель, при горячем прессовании, приводит к возрастанию низкомолекулярных веществ лигнинного и полисахаридного происхождения, повышение числа функциональных групп лигнина, обеспечиваются условия по взаимопроникновению компонентов и роста адгезии. Это утверждение доказано результатами экспериментов по определению адгезионной прочности. В соответствии с приведенными данными, уменьшение содержания щелочи жидкого стекла ведет к снижению прочности сдвига примерно в 8 раз [110-116].

Описывается факт того, что в процессе минерализации поверхности зерен древесного наполнителя водным щелочным раствором силикатов, происходит увеличение адгезионной прочности на месте контакта между компонентами древобетона на портландцементной основе. Это происходит по той причине, что при взаимодействии жидкого стекла с целлюлозой формируются водородные связи. При этом обеспечение связности органических веществ происходит за счет кремниевой кислоты [115].

Была поставлена задача упрочнения каркаса структуры древобетона, которая решена Удербасовым С.С. Он ввел уплотняющие минеральные добавки в виде тонкоизмельченных фракций на основе известняка, барханного песка с водным щелочным раствором силикатов натрия, что позволило улучшить поверхность древесного наполнителя, формируя, в соответствии с этим, минеральную пленку. В результате, получается твердое вещество, упрочняющее его структуру [116-118].

Таким образом, для формирования прочного материала из древесины светопроницаемой необходимым условием является обеспечение

структурообразования древобетона и в первую очередь в зоне контакта заполнителя с минеральным вяжущим, что может быть осуществлено путем замены физических связей компонентов древобетона на более прочные – химические с повышенной адгезией. Такой подход будет способствовать снижению внутренних напряжений вследствие влажностных деформаций и одновременно обеспечивать повышение прочности материала. Одним из вариантов активации древесного заполнителя может быть дозированное применение наноразмерных добавок, усиливающих большинство свойств различных материалов.

Выводы по главе 1. Цель работы и задачи исследования

1. Бетоны декоративные светопроводящие с новыми уникальными эксплуатационными свойствами способствуют улучшению декоративно-эстетического вида объектов инфраструктуры, и окружающей среды. Они характеризуются повышенными требованиями по качеству, экологичности, безопасности, архитектурной выразительности и многофункциональности к строительным материалам, соответствуя современным потребностям людей.

2. Большинство исследований по декоративному бетону базируются на применении белого высокомарочного портландцемента, способного обеспечить изготовление тонких, светящихся структур с высокими эксплуатационными показателями. Появление многофункциональных оптических волокон и призм создало возможность получения декоративных бетонов нового класса с фотометрическими свойствами для декоративной отделки городской среды, экстерьеров и интерьеров зданий.

3. На основе проведенных исследований цементных бетонов с фотометрическими свойствами и древобетона, их компонентов, изучены важные стороны обработанной древесины, как потенциально возможного древесного светопрозрачного заполнителя. Изучены различные виды и способы обработки древесины, и определены перспективные направления – делигнификация и модификация древесины, придающие древесному материалу уникальные

характеристики (светопроницаемость, прозрачность, светимость, яркость, освещенность и сила света), сопоставимые с характеристиками искусственных материалов.

4. Анализ способов получения и свойств обработанной древесины показал, что среди рассмотренных материалов, наиболее эффективными с технической и экономической точек зрения считается древесина делигнифицированная и модифицированная светопрозрачная, полученная химической обработкой отбеливающими растворами, например, из окислителей, нейтрализаторов, стабилизаторов, хелаторов, экстрагирующих и дегидратирующих жидкостей, пропитываемыми композициями, в состав которых могут входить жидкости на биохимической и химической основах.

5. Рассмотрены процессы физико-химического взаимодействия древесного заполнителя с минеральными вяжущими веществами. Условием для создания древобетона с наилучшими показателями являются: создание прочного контакта между минеральным вяжущим и модифицированной после делигнификации древесины, позволяющей использовать ее внутренние резервы, как капиллярно-пористого химически активного материала, что может быть осуществлено путем тщательного подбора состава древобетона, обеспечивающего повышенную адгезию за счет проявления химического взаимодействия.

Цель исследования – разработка научно-обоснованного технологического решения получения древесного светопроницаемого заполнителя делигнификацией и последующей обработкой пропитывающими композициями для бетонных декоративных изделий.

Задачи исследования:

- 1) исследовать влияние обработки различными видами и веществами древесины на изменение её светопроницаемости и выбор оптимального соотношения компонентов веществ;
- 2) разработать специальную установку для проведения фотометрических исследований и оценки светопропускания обработанной древесины;

- 3) разработать масляно-скипидарную композицию и определить технологические режимы, обеспечивающие стабильные свойства древесины светопроницаемой;
- 4) разработать состав декоративного легкого бетона на основе древесины светопроницаемой;
- 5) разработать блок-схему изготовления изделий из декоративного легкого бетона с фотометрическими свойствами и регламентирующую документацию для внедрения результатов исследований;
- 6) выполнить расчет технико-экономической эффективности производства изделий из декоративного бетона с фотометрическими свойствами в сравнении с традиционным древобетоном и цементным бетоном светопроводящим с оптическими волокнами.

ГЛАВА 2. ПРИМЕНЯЕМЫЕ МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

2.1 Характеристика применяемых материалов

В работе применялись следующие материалы: древесина и древесные отходы береза, вода водопроводная, химические реагенты (перекись водорода, щелочной агент), пропитывающие компоненты (подсолнечное, кукурузное, соевое масло и скипидар), связующие (натриевое и калиевое жидкое стекло), нанодобавки (кислый, щелочной кремнезоль и алюмозоль), модифицирующие добавки (уксусная кислота), кремнеземистый мелкий наполнитель (высушенный минеральный гель), защитное покрытие (защитный акриловый лак).

2.1.1 Древесина и древесные отходы

Древесина и древесные отходы лесопиления и деревообработки представляли фрагменты преимущественно без сучков и иных пороков по ГОСТ Р 56070-2014. В исследовании использовалась древесина в виде пиломатериалов и заготовок породы береза организации ООО «Амет». Объем таких отходов древесины 23–40 % получается при лесопилении и деревообработке, образуя свыше 600 млн тонн сырья органического происхождения [119, 120]. В таблице 2.1 представлены основные физико-механические свойства древесины, а в таблицах 2.2 и 2.3 химический и элементный состав.

Таблица 2.1 – Физико-механические свойства древесины

Свойства древесины	Значение свойств	
	береза	осина
Плотность, кг/м ³	650	475
Предел прочности при статическом изгибе, МПа	145	90
Сопротивление ударному изгибу, МДж/м ³	4,5	4,15
Модуль упругости при статическом изгибе поперек волокон, ГПа	11,0	–
Водопоглощение за 24 часа, %	96	108
Радиальное разбухание в воде, %	9	12

В составе древобетона, с целью обеспечения высоких эксплуатационных и декоративных свойств, в качестве основных компонентов применялись древесные отходы, а именно, обрезки пиломатериалов и заготовок.

Одними из критериев выбора органического целлюлозного заполнителя природного происхождения для древобетона являлось то, что данный заполнитель прочный, недорогой, а главное, натуральный и возобновляемый ресурс. Древобетон на основе такого заполнителя позволит вводить в технологический процесс ранее неиспользуемые отходы деревообработки малоценных пород древесины – березы и осины.

Таблица 2.2 – Химический состав древесины, % мас.

Материал	Целлюлоза	Лигнин	Гемицеллюлоза		Вещества, растворимые в горячей воде	Вещества, растворимые в эфире	Зольность
			Гексозаны	Пентозаны			
Древесная дробленка и кусковые отходы	25–46	19–38	3–16	7–25	20–27	40–61	0,1–0,8

Таблица 2.3 – Элементный состав древесины, % мас.

Материал	Химический состав золы, %					Элементный состав, %			
	SiO ₂	CaO	Fe ₂ O ₃	P ₂ O ₅	SO ₃	C	H	N	O
Древесная дробленка и кусковые отходы	0,1–0,3	30,2–35,6	0,1–0,2	2,5–8,6	–	50,0–52,1	5,8–6,7	3,2–4,7	23,3–29,6

2.1.2 Вода

В качестве растворителя химических реагентов в отбеливающем растворе, использовалась питьевая (водопроводная) вода, соответствующая требованиям ГОСТ Р 51232-98.

2.1.3 Химические реагенты

В роли химических реагентов применялись: перекись водорода (техническая марки А) и щелочной агент (высший сорт) по ГОСТ 177-88 и ГОСТ Р 55064-2012 производства ООО «ПроХим» и ООО «Технопром» соответственно. Пероксид водорода выступает в качестве окислителя и отбеливателя, щелочной агент служит химическим реагентом, оказывающим деструктивное действие на вещества

древесины и древесных отходов. Ниже представлены физико-химические показатели по данным реагентам (таблицы 2.4 и 2.5).

Таблица 2.4 – Физико-химические показатели перекиси водорода

Название показателя качества	Норма
	Техническая
	А
	ОКП 21 2352 0100
Внешний вид	Бесцветная прозрачная жидкость
Массовая доля перекиси водорода, %	35–40
Массовая концентрация серной кислоты, г/дм ³ , не более	0,35
Массовая концентрация нелетучего остатка, г/дм ³ , не более	0,7

Таблица 2.5 – Физико-химические показатели щелочного агента

Название показателя качества	Норма
	Высший сорт
Внешний вид	Гранулы сферической или полусферической формы
Цвет	Белый
Массовая доля щелочного агента, ω, %, не менее	99,5
Массовая доля углекислого натрия (Na ₂ CO ₃), ω, %, не более	0,5
Массовая доля натрия хлорида, ω, %, не более	0,005
Массовая доля сульфатов (SO ₄), ω, %, не более	0,005
Массовая доля железа в пересчете на оксид железа (F ₂ O ₃), ω, %, не более	0,002

2.1.4 Растительные масла

В качестве основного пропитывающего компонента древесины использовалось растительное масло – продукт природного происхождения, который получается на основе растительного сырья, состоящий из триглицеридов высших жирных кислот производства ООО «Алтайское Поместье», соответствующий требованиям ГОСТ 1129-2013. На предварительном этапе при подборе оптимальных видов по пропитывающей способности и влиянию на светопропускание обработанных образцов древесины исследовано более сорока сортов различных масел, из которых для дальнейших работ отобрано три вида масел: подсолнечное, кукурузное и соевое. Критериями для отбора масла явились: скорость проникновения масла в капилляры древесины, возможности смешивания с разжижающими компонентами без снижения светопрозрачности древесины, проявление способности к эпексидированию, позволяющему стабилизировать и

улучшить светопропускающую способность пропитанной древесины. Учитывались экономические показатели масел. Жирно-кислотный состав растительных масел представлен в таблице 2.6 [121-123].

Таблица 2.6 – Жирно-кислотный состав некоторых растительных масел [121-124]

Жирные кислоты	Процентное содержание, %		
	Подсолнечное масло	Кукурузное масло	Соевое масло
Лауриновая ($C_{12:0}$)	–	До 0,3	Не более 0,2
Миристиновая ($C_{14:0}$)	До 0,2	До 0,3	8,0–13,5
Пальмитиновая ($C_{16:0}$)	5,0–7,6	9,0–14,0	Не более 0,2
Пальмитолеиновая ($C_{16:1}$)	До 0,3	До 0,5	2,0–5,4
Стеариновая ($C_{18:0}$)	2,7–6,5	0,5–4,0	17,0–30,0
Олеиновая ($C_{18:1}$)	14,0–39,4	24,0–42,0	48,0–59,0
Линолевая ($C_{18:2}$)	48,3–77,0	34,0–62,0	4,5–11,0
Линоленовая ($C_{18:3\alpha}$)	До 0,3	–	0,1–0,6
Арахидовая ($C_{20:0}$)	До 0,5	До 2,0	Не более 0,5
Гондоиновая ($C_{20:1}$)	До 0,3	До 1,0	Не более 0,2
Бегеновая ($C_{22:0}$)	0,3–1,5	До 0,5	8,0–13,5
Эруковая ($C_{22:1}$)	До 0,2	До 0,5	Не более 0,2
Лигноцериновая ($C_{24:0}$)	До 0,5	До 0,5	2,0–5,4

2.1.5 Скипидар

В роли дополнительного пропитывающего компонента древесины применялся скипидар ($C_{10}H_{16}$) – терпентинное масло в виде жидкой смеси из терпенов и терпеноидов, извлекаемых из смол хвойных деревьев, т. е. живицы производства ООО «ИВК-ПЛЮС» соответствующее требованиям ГОСТ 2768-84. Считается побочным продуктом в процессе производства. Данная жидкость обладает достаточно резким запахом, который напоминает еловую смолу. По цвету он может быть от бесцветно прозрачного до желтого прозрачного. скипидар состоит из монотерпеновых углеводородов, а именно, α -терпинена, α -пинена, β -мирцена, β -фелландрена, β -пинена, камфена, трициклена, 3-карена, терпинолена, и ряда др. составляющих. Ниже представлена таблица 2.7 по компонентам скипидара [125, 126].

Таблица 2.7 – Состав скипидара [126]

Компоненты	Содержание, %
α -Пинен	65–85
β -Пинен	1–3
3-Карен	5–20
Дипентен	1
Дипентен с лимоненом	1–4
Трициклен	0,2
Камфен	1,5
α -Терпинен	0,1
γ -Терпинен	0,01
Терпинолен	0,01
Парацимол	0,1
1,8-Цинеол	0,3
Содержание серы, ppm	70

2.1.6 Связующее

В качестве связующего, для получения древобетонной смеси, применялось натриевое и калиевое жидкие стекла, производства ООО «Химснаб» и ООО «Ротекс», которые отвечают требованиям ГОСТ 13078-2021 и ГОСТ 18958-73 соответственно. Основные свойства натриевого и калиевого жидких стекол представлены в таблице 2.8 [127].

Таблица 2.8 – Основные свойства натриевого и калиевого жидких стекол [127]

Название показателя качества	Нормированные значения
1	2
Натриевое жидкое стекло	
Внешний вид	Густая жидкость желтого или серого цвета без механических примесей и включений, видимых невооруженным глазом
Массовая доля диоксида кремния, %	22,7–29,6
Массовая доля оксидов железа и алюминия, в т.ч. оксида железа, %	0,25
Массовая доля оксида кальция, %	0,20
Массовая доля серного ангидрида, %	0,15
Массовая доля оксида натрия, %	9,3–2,8
Силикатный модуль, [...]	2,3–2,6
Плотность, кг/м ³	1 360–1 450
Калиевое жидкое стекло	
Внешний вид	Жидкость желтоватого или зеленоватого оттенка
Содержание окиси калия, %	10,2–12,5
Содержание двуокиси кремния, %	20–26

Продолжение таблицы 2.8

1	2
Кремнеземистый модуль, [...]	2,5–4
Условная вязкость по воронке ВЗ-4, с, не более	25
Плотность, кг / м ³ , не менее	1 300

Введение натриевого и калиевого жидких стекол на основе $\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2$ и $\text{K}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2$, в роли минерализатора, позволяет обеспечить повышение скорости нарастания прочности и твердости древобетонной смеси в начальный период, образовывать пленку, обволакивающая древесину и отходы на ее основе для закрытия всех пустот между ними, повысить влагостойкость и обеспечить огнестойкость древобетона в целом.

2.1.7 Нанодобавки

В роли нанодобавок применялись кислый и щелочной кремнезоль марок Nanosil-30А и «Лэйксил» 30 соответственно, а также алюмозоль для увеличения адгезионной прочности с древесиной.

Кремнезоль считается коллоидным раствором диоксида кремния (SiO_2), в состав которого входит вода и мелкие частицы аморфного кремнезема [128].

В работе использовались кислый и щелочной кремнезоли марок Nanosil-30А и «Лэйксил» 30 производств ПК «Промстеклоцентр» и НТЦ «Компас», отвечающие требованиям ТУ 20.13.62-001-36426128-2018 с изменениями № 2 и ТУ 2145-012-61801487-2014 соответственно, а также алюмозоль – коллоидный раствор оксида алюминия (Al_2O_3) производства НТЦ «Компас» по ТУ 2163-007-61801487-2009 [128, 129]. Данные характеристики представлены в таблице 2.9 [129, 130-135].

Таблица 2.9 – Основные физико-химические характеристики нанодобавок

Характеристика	Нанодобавки			
	Золь кремниевой кислоты (общие данные)	Кислый кремнезоль Nanosil-30A	Щелочной кремнезоль «Лэйксил» 30	Алюмозоль
Массовая концентрация диоксида кремния, % масс.	14–30,25	24–31	29–31	10–20
Водородный показатель, ед. рН	2,3–10,8	2,3–3,9	9–10,5	3,8–4,2
Кинематическая вязкость, сСт	5–12	10	5,66	–
Средний размер мицелл, нм	6–25	8–12	7,58	80–200
Удельная площадь поверхности, м ² /кг	104–500	217–341	359	–
Температура хранения, °С	Не ниже +5	Не ниже +5	Не ниже +5	+5-+25
Продолжительность жизни, дни	14	14	720	100–120
Плотность, кг/м ³	1 098–1 200	1 195–1 215	1 196–1 210	1 013

На основе выше представленного наиболее важными характеристиками, влияющими на стабильность кремнезоля, считаются: концентрация, водородный показатель, температура и средний размер мицелл [129].

2.1.8 Модифицирующие добавки

Для проведения экспериментов использовалась уксусная кислота синтетическая пищевая для уменьшения образования высолов и более длительного сохранения прозрачности связующей композиции. Этановая кислота отвечает требованиям ГОСТ Р 56968-2016 производства ООО «ИРГА Про» (таблица 2.10).

Таблица 2.10 – Свойства уксусной кислоты синтетической пищевой

№ п/п	Наименование показателя	Единица измерения	Значение показателя
1	Внешний вид и цвет	–	Бесцветная прозрачная жидкость без посторонних включений и осадка
2	Растворимость в дистиллированной воде	г/100 г	Полная, в любом соотношении, без помутнения и опалесценции
3	Массовая доля органических кислот в пересчете на уксусную	%	9

2.1.9 Кремнеземистый мелкий наполнитель

В качестве мелкого наполнителя, для изготовления древобетона, использовался кремнеземистый мелкий наполнитель марки КСМК производства АО «АМК-Химико», соответствующий требованиям ГОСТ 3956-76 [136]. Он представляет собой высушенный минеральный гель, изготовленный из кремниевых кислот и кремнезема ($n\text{SiO}_2 \cdot m\text{H}_2\text{O}$). Внешне выглядит в виде прозрачных зерен неправильной формы. Это твердый гидрофильный сорбент прозрачного цвета с соответствующим химическим составом, физико-химическими и физико-механическими показателям [136].

2.1.10 Защитное покрытие

В роли защитного акрилового покрытия древобетона светопропускающего применялся защитный водно-дисперсионный акриловый тонированный глянцевый с антисептическими свойствами для внутренних и наружных работ лак «Лакра» производства ООО «ЛАКРА СИБИРЬ», который соответствует требованиям ГОСТ Р 52020-2003. Данный лак тонким или ультратонким слоем наносится на все грани древобетона светопроницаемого, равномерно обволакивающий частицы всех наполнителей и пустоты для изолирования связующего от контакта с CO_2 из воздуха с целью полного устранения образования белого студенистого осадка на нем для сохранения его прозрачности и светопропускания древобетона на постоянной основе. Защитное акриловое покрытие улучшает влаго-, водо-, морозо-, износо- и УФ-стойкость, предназначен для работы с минеральными поверхностями. Оно экологически безопасное, т.к. не содержит вредных для здоровья человека и окружающей среды растворителей и токсичных веществ.

2.2 Методы исследования

Для исследования составов, а также структуры разработанных материалов и их характеристик применены разные нормативно-технические методы, дающие возможность обеспечить требуемую точность получаемых результатов. В работе использовались как стандартные методы испытаний и измерений, изложенные в

ГОСТ 8420-2022, 50003-92, 19773-84, 7319-2019, 10180-2012, 12730.0-2020, 12730.1-2020, 10060-2012, 7076-99, 13015-2012, 54854-2011, 19222-2019, 30244-94, 30402-96, 12.1.044-89, 32299-2013, 32385-2013, 18995.2-2022, 6320-2012, 5475-69, так и современные химические и физико-химические методы исследования: электронная спектроскопия диффузного отражения (ЭСДО); фотоэлектроколориметрия; термомеханический анализ (метод одноосного сжатия); ИК-спектроскопия поглощения; определение светопроницаемости древесины, ее отходов и древобетона; определение йодного числа и химическое эпоксидирование растительных масел. Электронная спектроскопия диффузного отражения (ЭСДО) позволяет исследовать остаточный лигнин в технических целлюлозах отходов древесных и деревообработки, микроструктуру древесины на различных этапах ее обработки. Фотоэлектроколориметрия используется для изучения фотометрических характеристик составов, адсорбции и адгезии древесины к различным веществам и растворам. Метод одноосного сжатия, как один из методов термомеханического анализа, позволяет выявлять структурные изменения в объеме древесины. ИК-спектроскопия поглощения применяется для изучения, определения, оценки состояния и структурного превращения органических материалов. Определение светопроницаемости древесины, ее отходов и древобетона позволяет измерять данный показатель качества. Определение эпоксидного числа растительных масел дает возможность фиксировать наличие эпоксидных групп в них. Химическое эпоксидирование растительных масел используется для исследования способности этих масел к окислению, эпоксидированию и дальнейшему затвердеванию (образованию твердой пленки) в древесном светопропускаемом заполнителе в целях повышения и сохранения его светопроницаемости. В результате проведенных исследований получены данные о фотометрических, физико-химических и физико-механических свойствах компонентов и жидкостекольных композитов.

Методы испытания, на основании которых проводилось исследование, представлены в таблице 2.11.

Таблица 2.11 – Применяемые в работе стандартные методы

№ п/п	Описание способа	Нормативный документ
1	Материалы лакокрасочные. Методы определения условной вязкости	ГОСТ 8420-2022
2	Вещества поверхностно-активные. Определение поверхностного натяжения путем вытягивания жидких пленок	ГОСТ 50003-92
3	Пиломатериалы хвойных и лиственных пород. Режимы сушки в камерах периодического действия	ГОСТ 19773-84
4	Пиломатериалы и заготовки лиственных пород. Атмосферная сушка и хранение	ГОСТ 7319-2019
5	Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам	ГОСТ 10180-2012
6	Бетоны. Общие требования к методам определения плотности, влажности, водопоглощения, пористости и водонепроницаемости	ГОСТ 12730.0-2020
7	Бетоны. Методы определения плотности	ГОСТ 12730.1-2020
8	Бетоны. Методы определения морозостойкости	ГОСТ 10060-2012
9	Материалы и изделия строительные. Метод определения теплопроводности и термического сопротивления при стационарном тепловом режиме	ГОСТ 7076-99
10	Изделия бетонные и железобетонные для строительства. Общие технические требования. Правила приемки, маркировки, транспортирования и хранения	ГОСТ 13015-2012
11	Арболит и изделия из него. Общие технические условия	ГОСТ 19222-2019
12	Определение огнестойкости арболита	ГОСТ Р 54854-2011, по 5.3.8. ГОСТ 19222-2019
13	Материалы строительные. Методы испытаний на горючесть	ГОСТ 30244-94
14	Материалы строительные. Метод испытания на воспламеняемость	ГОСТ 30402-96
15	Система стандартов безопасности труда. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения	ГОСТ 12.1.044-89
16	Материалы лакокрасочные. Определение адгезии методом отрыва	ГОСТ 32299-2013
17	Товары бытовой химии. Метод определения показателя активности водородных ионов (рН)	ГОСТ 32385-2013
18	Продукты химические жидкие. Метод определения показателя преломления	ГОСТ 18995.2-2022
19	Жиры и масла животные растительные. Метод определения показателя преломления	ГОСТ ISO 6320-2012
20	Масла растительные. Методы определения йодного числа	ГОСТ 5475-69

2.2.1 Электронная спектроскопия диффузного отражения (ЭСДО)

Определение остаточного лигнина в технических целлюлозах древесных отходов проводился УФ-спектрофотометрией [137] на УФ-спектрофотометре UV-2501 PC компании «Shimadzu» с приставкой диффузного отражения ISR-240 A (рисунок 2.1) [138, 139].



Рисунок 2.1 – УФ-спектрофотометр UV-2501 PC с приставкой диффузного отражения ISR-240 A

Общая методика по определению остаточного лигнина в технических целлюлозах состоит из следующих этапов: навеску обессмоленной целлюлозы в виде воздушно-сухих отливок помещают в коническую колбу вместимостью 50 см³ с притертой пробкой. Влажность обессмоленной целлюлозы определяют в отдельной пробе. Добавляют отмеренные пипеткой 15 см³ кадоксена и производят встряхивание колбы в течение 2 часов. Если полностью прозрачный раствор не получается, то колбу с раствором оставляют на ночь в холодильнике при – 15 °С (если и в этом случае раствор оказывается мутным, УФ-спектрофотометрическое определение лигнина для данного образца целлюлозы непригодно). После полного растворения содержимое колбы нагревают до комнатной температуры, добавляют пипеткой 15 см³ дистиллированной воды и производят встряхивание в течение 15 минут. Для лучших показателей рекомендуется раствор подвергнуть центрифугированию. Затем заливают раствор в кювету толщиной 0,01 м и измеряют на УФ-спектрофотометре светопоглощение при длине волны 280 нм, используя в качестве раствора сравнения смесь кадоксен-вода (1 : 1). Концентрацию раствора лигнина в кадоксен-воде, г/дм³, определяют по градуировочному графику или по рассчитанному с помощью графика удельному коэффициенту поглощения по формуле (2.1) [140]:

$$c = \frac{D}{k \cdot l}, \quad (2.1)$$

где D – оптическая плотность при длине волны 280 нм; l – толщина кюветы, м, $l = 0,01$ м; k – удельный коэффициент оптической плотности, $\text{дм}^3 \cdot \text{г}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$.

Массовую долю остаточного лигнина древесины, в процента, к исходной (не обессмоленной) абсолютно сухой целлюлозе, рассчитывают по формуле (2.2) [140]:

$$L = \frac{c \cdot 30}{g \cdot 1000} \cdot K_3 \cdot 100 \%, \quad (2.2)$$

где c – концентрация лигнина древесины в кадоксен-воде (1 : 1), г/дм^3 ; g – масса абсолютно сухой навески обессмоленной целлюлозы, г; K_3 – коэффициент экстрагирования, [...].

2.2.2 Фотоэлектроколориметрия

Фотометрические характеристики растворов, изучения адсорбции и адгезии древесины к различным веществам и растворам определялись фотоэлектроколориметрическим методом с помощью фотометра КФК-3-«ЗОМЗ» [141]. Прибор представлен на рисунке 2.2.

Принцип измерения, в частности, коэффициента светопропускания, состоит в сравнении светового потока Φ_0 , прошедшего через кювету с контрольной жидкостью, со световым потоком Φ , прошедшего через кювету с исследуемой жидкостью. Определяется отношение данных световых потоков.



Рисунок 2.2 – Фотометр КФК-3-«ЗОМЗ»

Коэффициент пропускания рассчитывается по формуле (2.3) [141]:

$$\tau = \frac{\Phi}{\Phi_0} * 100 \% = \frac{U - U_T}{U_0 - U_T} * 100 \%, \quad (2.3)$$

где Φ – световой поток, прошедший через кювету с исследуемой жидкостью, лм; Φ_0 – световой поток, прошедший через кювету с контрольной жидкостью, лм;

U , U_0 и U_T – электрические сигналы, пропорциональные световому потоку Φ , лм, прошедшему через исследуемую жидкость, «холостую пробу», темновому току соответственно.

Оптическая плотность находится по формуле (2.4) [141]:

$$D = \lg \left(\frac{1}{\tau} \right) = \lg \left(\frac{U_0 - U_T}{U - U_T} \right), \quad (2.4)$$

где τ – коэффициент пропускания, %.

Методика проведения испытаний образцов соответствовала рекомендациям, изложенным в техническом руководстве к прибору [139, 141].

Адсорбция исследуемого раствора красителя в результате его контактирования с древесными частями определялась по формуле, представленной ниже (2.5) [140, 141]:

$$\alpha_{\text{ис р-ра ест}} = \frac{D_0 - D_1}{D_0} * 100 \%, \quad (2.5)$$

где D_0 – исходная оптическая плотность стандартного раствора красителя, Б; D_1 – равновесная оптическая плотность исследуемого раствора красителя после контакта с естественными древесными частями, Б.

2.2.3 Термомеханический анализ (метод одноосного сжатия)

Для выявления структурных изменений в объеме древесины выполнены термомеханические исследования, которые являются одним из доступных физико-химических методов. Термомеханические исследования проводились по методу измерения деформации одноосного сжатия под влиянием непрерывно действующей нагрузки в условиях нагрева образца с постоянной скоростью в интервале температур от комнатной до + 300 °С. Для снятия термомеханических характеристик готовились образцы из древесины диаметром 6 мм и толщиной 2,5 мм. Величина сжимающей нагрузки на термомеханических весах академика В.А. Каргина составляла 8,3 г/мм². Построение кривых выполнялось по точкам, считываемым с прибора. Нагрев осуществлялся со скоростью 3 градуса в минуту [142].

2.2.4 ИК-спектроскопия поглощения

В целях изучения, определения, оценки состояния и структурного превращения органических материалов применялся спектральный анализ, который обеспечивает подтверждение тех или иных характерных особенностей вещества. С помощью ИК-спектроскопии определялись валентные, интенсивные валентные и деформационные колебания растительного масла, скипидара и маслянистой композиции из растительного масла и скипидара в интервале полос поглощения $660\text{--}2\ 927\ \text{см}^{-1}$ для доказательства появления процесса эпоксидирования растительного масла за счет образования в смеси эпоксидных групп, где эпоксидные и йодные числа возросли на 14–18 г/экв и на 47–62 г $\text{I}_2/100\ \text{г}$ соответственно.

2.2.5 Определение светопроницаемости древесины, ее отходов и декоративного бетона

Измерение светопроницаемости декоративного бетона и древесных образцов осуществлялось на сконструированной установке для определения данного показателя качества [143]. Патент на изобретение к данной установке представлен в Приложении 1.

2.2.6 Химическое эпоксидирование растительных масел

В целях исследования способности растительных масел к окислению, эпоксидированию и дальнейшему затвердеванию (образованию твердой пленки) в древесном светопропускаемом заполнителе, и, как следствие, повышения и сохранения его светопроницаемости, изучена реакция эпоксидирования ненасыщенных углеводородов и их производных. Известно, что кислород присоединяется по двойным связям ненасыщенных органических соединений, давая эпоксины [124]. В качестве электрофильного агента может служить молекулярный или химически связанный кислород в перексиде водорода, гидропероксидах, пероксикислотах (допустим, в надмуравьиной, надуксусной кислотах) (рисунок 2.3).

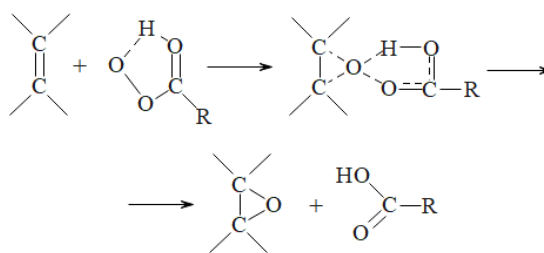


Рисунок 2.3 – Реакция взаимодействия компонентов (по Прилежаеву Н.А.)

Растительные масла, которые богаты глицеридами жирных ненасыщенных кислот, довольно легко поддаются эпексидированию. Эпексидированные растительные масла применяются в качестве стабилизаторов, пластификаторов и модификаторов, в т.ч. в роли отвердителей в производстве целого ряда пленкообразующих веществ. Масла после эпексидирования практически не содержат двойных связей [124].

Для эпексидирования в основном применяют соевое, льняное и дегидратированное касторовое масло. Эпексидирующим агентом служит перексид водорода или надмуравьиная (надуксусная) кислота [124]. Последние можно получить непосредственно перед использованием благодаря взаимодействию муравьиной или уксусной кислоты с перексидом водорода (рисунок 2.4).



Рисунок 2.4 – Химическая реакция взаимодействия уксусной кислоты и перексида водорода

Реакция эпексидирования экзотермична, поэтому окислители важно вводить постепенно, не допуская повышения температуры. Затем эпексидированное масло отмывают теплой водой от катализатора и кислот и сушат азеотропным методом. Содержание эпексидного кислорода в готовом продукте составляет приблизительно 7 %.

В рамках работы проводились опыты по получению эпексидированного подсолнечного, кукурузного и соевого масел. В частности, в процессе смешивания подсолнечного масла со скипидаром, а в дальнейшем, их прогрева в древесине

светопропускаемой, происходила химическая реакция взаимодействия между жирными кислотами этого масла и скипидаром, в результате которой, во-первых, скипидар снижает вязкость растительного масла, за счет этого оно проникает глубже в древесину. Во-вторых, скипидар, обладая свойством самоокисления из-за достаточно интенсивного поглощения кислорода воздуха, запускается и ускоряется процесс окисления, испарения, эпоксидирования и высыхания (полимеризации) масла. В-третьих, изменялось количество йодных и эпоксидных чисел растительного масла. В-четвертых, образуется прозрачная тонкая жировая пленка, устойчивая к светопропусканию во времени, способствующая повышению и сохранению фотометрических свойств древесного заполнителя.

Необходимое оборудование, реагенты и материалы для осуществления исследований по определению уровня эпоксидирования растительного масла: мерный стакан; термометр 0–100 °С; механическая мешалка; сушильная камера открытого типа с сушильным и воздушным агентами; растительное масло; скипидар.

Методика проведения исследований по определению уровня эпоксидирования растительного масла со скипидаром.

В мерный стакан вливают 85 % растительного масла и 15 % скипидара, перемешивают в течение 1–2 минут. Далее, помещают маслянистую композицию в сушильную камеру и нагревают до 75–85 °С в течение 25–35 минут. При этом йодное и эпоксидное число данной композиции возрастают, а ее плотность несколько повышается. Вынимают из сушильной камеры мерный стакан с эпоксидированным пропитывающим составом.

2.3 Планирование эксперимента

Математическое планирование эксперимента считается необходимым инструментом для улучшения тех или иных переменных параметров в экспериментах, например, рецептура, состав, структура, свойства, технология и др. Для оптимизации рецептур и достижения максимально плотной структуры разных строительных материалов, широко применяются математические модели, которые

дают возможность принять наилучшее соотношение компонентов – заполнителей, наполнителей и связующего. Наиболее часто используемой считается трехмерная объемная модель с тремя фракциями, где заполнение единичного объема между отдельными гранулами происходит благодаря частицам меньшего размера. В действительности эти смеси могут быть показаны в виде наборов составляющих бетонов: песком, щебнем, гравием, и добавкой с органическим или минеральным вяжущим, который заполняет оставшееся свободное пространство.

Главная задача при проектировании составов из дисперсных структур – нахождение наилучшего соотношения размеров фракций и формирование максимально плотной упаковки за счет заполнителя объема материала, т.е. получение минимального расхода вяжущего при обеспечении обволакивания вяжущим всех зерен каждой фракции.

Начальный этап математического планирования – подбор переменных и диапазонов их изменения. Правильный подбор переменных и их интервалов дает возможность получить более объективную информацию о зависимостях между ними и изучаемыми характеристиками материалов. Далее осуществляются опыты по плану с определенным количеством повторов с целью получения достаточного числа данных для анализа. Затем результаты опытов обрабатываются за счет компьютерных программ, позволяющие выявить регрессионные зависимости и количественные значения коэффициентов в данных зависимостях.

Уравнение регрессии двухфакторного эксперимента (тип 2ⁿ) (2.6):

$$Y = b_0 + b_1 \cdot X_1 + b_2 \cdot X_2 + b_{12} \cdot X_1 \cdot X_2, \quad (2.6)$$

Расчет коэффициентов уравнения регрессии проводится по формуле (2.7):

$$b_j = \frac{\sum_{i=1}^N X_{ji} \cdot Y_i}{N}, \quad (2.7)$$

где i – номер опыта ($i = 1, 2, 3, \dots, m$); j – номер соответствующего коэффициента опыта ($j = 1, 2, 3, \dots, m$).

Для определения регрессионной зависимости установлены условия проведения эксперимента и принят план осуществления обработки полученных данных дали возможность определить степень влияния конкретных факторов при обработке результатов испытаний. Получены полиномиальные уравнения

второго порядка по плотности и прочности светопропускаемого древобетона и модели двухфакторного эксперимента по рецептурным параметрам, которые оценены по средним значениям опытов, дисперсии (критерию Кохрена), адекватности модели (критерию Фишера), учитывая результаты проверки значимости коэффициентов уравнения регрессии. Физико-химические методы исследований древобетона светопропускающего подтвердили высокое качество и стойкость созданного нового материала эксплуатационным воздействиям.

Выводы по главе 2

1. Представлены сведения об используемых в исследованиях материалах для получения древесины светопропускаемой, на основе которой могут быть изготовлены декоративные бетоны и светопроницаемые изделия в виде плит.

2. Приведены основные свойства пропитывающих масел и компонентов для снижения вязкости, а также основные характеристики минерального вяжущего, что должно обеспечить определенное светопропускание полученного декоративного бетона.

3. Определены примененные методы испытаний для проведения экспериментальных работ, соответствующие стандартным методам. Даны рекомендации по последовательности порядка выполнения экспериментов от изготовления образцов и проверки их составляющих до испытаний на тот или иной вид воздействующих факторов.

4. Представлены приборы и описаны методики проведения физико-механических и физико-химических исследований, в т.ч. для определения спектроскопических, реологических, термомеханических, адсорбционных, фотометрических, адгезионных, оптических и др. свойств исследуемых материалов.

ГЛАВА 3. ИЗУЧЕНИЕ СВЕТОПРОНИЦАЕМОСТИ ДРЕВЕСИНЫ КАК КОМПОНЕНТА ДЛЯ ДЕКОРАТИВНОГО БЕТОНА

3.1 Конструирование установки для определения светопроницаемости древесины и декоративного бетона

Для обоснования практического применения декоративного бетона с фотометрическими свойствами необходимо было выяснить, что древесина светопроницаемая способна пропускать свет в условиях освещения и после попадания светового потока на поверхность материала длительно сохранять эти свойства во времени.

Определение фотометрических свойств древесины светопроницаемой и декоративного бетона на её основе проводилось с применением специально сконструированной установки, оборудованной электронным люксметром, общая схема которой представлена на рисунке 3.1 [143].

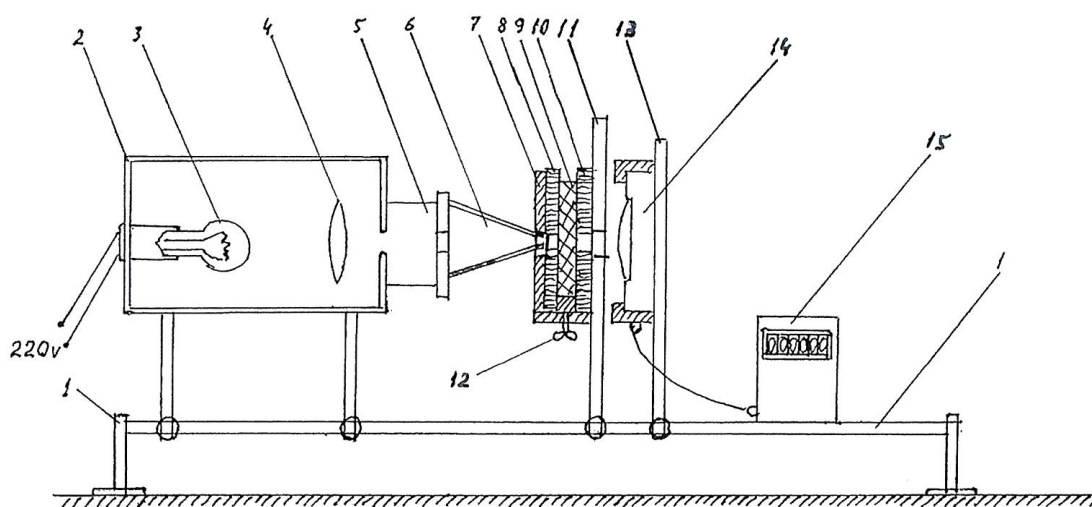


Рисунок 3.1 – Схема установки для определения светопропускания древесины и декоративного бетона (пояснения далее по тексту)

Поскольку измерения фотометрических свойств имеет смысл осуществлять в видимом спектре частот, в качестве светочувствительного детектора применялся цифровой люксметр LX 1010B, спектр чувствительности которого соответствует межгосударственному стандарту ГОСТ 8.332-2013 [144].

Технической задачей по определению светопропускания является упрощение процесса определения фотометрических свойств материала, повышение точности и достоверности измерений, расширение возможности контроля неоднородности образца и выявления дефектов при испытании. С этой целью сконструирована установка следующей конструкции. Вдоль главной оси находится источник света с фокусирующими линзами, диффузор для концентрации и фокусировки светового потока, приспособление для закрепления испытуемых образцов и люксметр с электронным дисплеем.

Изобретение позволило повысить точность и достоверность определения светопропускаемости материала путем концентрации светового потока в диффузоре за счет точечного направления данного потока в исследуемый участок объекта в любой его точке, а также устранения влияния внешней среды при рассеивании пучка света.

Установка состоит из следующих узлов и компонентов: на опорной раме (1), обеспечивающей перемещение и фокусировку всех элементов установки, размещен держатель (2) с лампой (3), которая включается в электрическую сеть, и свет через линзу (4) и фокусирующий объектив-регулятор (5) с закрепленным к нему диффузором (6), концентрирующим световой поток, проходит через отверстие в приспособлении для закрепления образцов (7) к испытуемому образцу (9), размещенному между упругими прокладками с отверстиями (8, 10), установленном на дополнительном кронштейне (11) и оснащенном винтами-регуляторами для перемещения образца по вертикали и горизонтали (12). На специальном кронштейне (13) закреплен люксметр (14), соединенный с электронным дисплеем (15), а также имеется светозащитный черный кожух (16) (на рисунке 3.1 не представлен), которым закрывается вся конструкция универсальной оптической установки (ФОС), тем самым обеспечивает отсутствие искажения отсчета люксметра. Процесс фиксирования светопропускания образца составляет считанные секунды, что позволяет осуществлять повторные и сравнительные испытания по всей его площади.

Особенностью разработанной установки является то, что она обеспечивает высокую точность испытания практически по всей площади образца, процесс фиксации показателей качества нетрудоемкий, не требует дополнительных сложных расчетов. Испытания осуществляются путем передачи светового потока от источника света через испытуемый образец и далее на люксметр. При определении светопропускаемости материала, изготовленные образцы могут быть испытаны после обработки различными составами и компонентами, позволяющими влиять на фотометрические и оптические характеристики.

Остановимся непосредственно на методике измерения светопропускания древесины светопроницаемой более подробно, которая заключается в следующем: закрепляется переносной измерительный прибор люксметр LX 1010В на специальном кронштейне и включается данный измеритель. Далее, устанавливается на специальную оправу второго кронштейна опорной рамы приспособление в виде металлического кожуха, оснащенное винтами-регуляторами для перемещения образца по вертикали и горизонтали и снабженное упругими прокладками, между которыми помещается испытуемый образец. Затем, вся конструкция универсальной оптической установки (ФОС) накрывается светозащитным черным кожухом для устранения искажения отсчета люксметра при попадании света извне. Включается источник света, тем самым, люксметр выполняет измерение и отображает на ЖК-дисплее значение светопропускаемости в люксах. Светопропускаемость измерялась в центральной точке и по периферии каждого испытуемого образца. Затем вычислялись средние значения, считавшиеся результирующими. Испытания проводились в помещении при комнатной температуре ($T = + 18-20 \pm 0,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$) и нормальной влажности воздуха (65-70 %). Температурные и влажностные условия контролировались и соответствовали вышеприведенным данным. Каждый этап измерений выполнялся при одинаковых температурных и влажностных режимах.

Светопропускание образца определялась по формуле (3.1) [145]:

$$T_{\text{обр}} = \frac{E_{\tau}}{E_i} * 100 \%, \quad (3.1)$$

где E_{τ} – значение освещенности по люксметру с i -м внутренним преобразователем излучения, пропорциональные величине светового потока Φ_{τ} , лм, прошедшего через проем разделительной перегородки световой камеры с образцом, лк; E_i – значения освещенности по люксметру с i -м внутренним преобразователем излучения, пропорциональные величине светового потока Φ_i , лм, прошедшего через проем разделительной перегородки световой камеры без образца, лк.

Люкс (лк) – это освещенность, получаемая световым потоком в 1 лм, равномерно распространенным на поверхности площадью 1 м².

Коэффициент светопропускания образца рассчитывался по формуле (3.2) [145]:

$$\tau_{\text{обр}} = \frac{E_{\tau}}{E_i}, \quad (3.2)$$

Для более объективного представления об объекте и о его фотометрических свойствах, расчетно-экспериментальным путем определялись и др. фотометрические характеристики, которые описаны ниже.

В соответствии с основным законом светопоглощения, интенсивность светового потока I_0 , падающего на кювету с раствором, частично (I_c) отражается от поверхности кюветы, а часть (I_a) будет поглощена раствором. Однако из практики следует, что эти величины незначительны и ими можно пренебречь тогда по формуле (3.3) [146]:

$$I_0 = I_a + I_l, \quad (3.3)$$

где I_a – интенсивность светового потока, поглощенного раствором, лм/м²; I_l – интенсивность светового потока, пройденного через кювету с раствором, лм/м².

Следовательно, кроме пропускания света, одновременно с этим, образец поглощает определенную его часть (светопоглощение), поэтому (3.4) [147]:

$$A_{\text{обр}} = \frac{(E_i - E_{\tau})}{E_i} * 100 \%, \quad (3.4)$$

Соответственно, коэффициент светопоглощения материала, находится по формуле (3.5) [146]:

$$\alpha_{\text{обр}} = \frac{(E_i - E_r)}{E_i}, \quad (3.5)$$

Т.к. $1 \text{ лк} = 1 \text{ лм/м}^2$, то ниже приводится формула светимости поверхности материала (3.6) [147]:

$$M_{\text{обр}} = \frac{\Phi}{S_{\text{обр}}}, \quad (3.6)$$

где Φ – световой поток, падающий на поверхность материала, лм; $S_{\text{обр}}$ – площадь поверхности материала, м^2 .

По закону освещенности (закон обратных квадратов), освещенность поверхности материала лучами, которые падают на нее перпендикулярно, прямо пропорциональна силе света точечного источника света и обратно пропорционально квадрату расстояния от данного источника до освещаемого материала [145].

Отсюда следует, что в соответствии с вышеприведенным законом, сила света, исходящая из образца, определяется по формуле (3.7) [147]:

$$I_{\text{обр}} = E_{\text{обр}} \cdot r^2, \quad (3.7)$$

где $E_{\text{обр}}$ – освещенность образца, лк; r^2 – расстояние от источника света до образца, м.

Следовательно, яркость образца находится по формуле (3.8) [148]:

$$L_{\text{обр}} = \frac{I_{\text{обр}}}{S_{\text{обр}}}, \quad (3.8)$$

где $I_{\text{обр}}$ – сила света, исходящая из образца, кд; $S_{\text{обр}}$ – площадь образца, м^2 .

Относительный показатель преломления (n), определялся по формуле (3.9) [147]:

$$n_{21} = \frac{n_2}{n_1}, \quad (3.9)$$

где n_1 – показатель преломления первой среды, n_2 – показатель преломления второй среды.

В методике измерения светопропускания отмечается, что для минимизации погрешности измерений необходимо после размещения образца и включения устройства в электрическую сеть, закрывать конструкцию светозащитным черным

кожухом, который обеспечивает устранение искажения отсчета люксметра и проникновение света извне соответственно [149].

Для повышения светопропускания древесины после ее обработки могут применяться пропитывающие составы, что также целесообразно с позиции создания высокодекоративных поверхностей материала. Все образцы проходили этапы различной химической обработки, в т.ч. и пропитки.

3.2 Светопропускание древесины с пропитывающими составами

Древесина считается прочным, недорогим и естественным материалом для строительства. При удалении из древесины лигнина, располагающегося на стенках растительных клеток, и являющегося природной полимерной смесью, материал приобретает световые (фотометрические) свойства. Ряду исследователей удалось достигнуть прозрачности путем химической обработки и введения полиметилметакрилата и др. пропитывающих композиций на основе лаков, масел и прочих. Такой материал, с химически преобразованной древесиной, в зависимости от технологии обработки, получился прозрачным или полупрозрачным, что открывает новые пути его использования в архитектуре и строительстве. Он обладает достаточной прочностью, низкой плотностью и хорошими теплофизическими характеристиками. С учетом экологичности и эстетичности древесины, в т.ч. ее достаточно хорошей энергетики и возобновляемости, создаются безграничные перспективы её применения для декоративных и строительных направлений [150, 151].

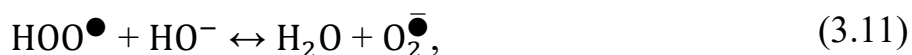
В рамках экспериментальных исследований изучалась делигнифицированная древесина светопропускаемая на основе пропитывающих веществ и композиций после каждого соответствующего этапа ее химической обработки в разных состояниях. Определены следующие фотометрические свойства: светопроницаемость, освещенность, светопоглощение, светимость, сила света и яркость. Изучены следующие основные факторы, влияющие на данные показатели, в частности, светопроницаемость: количество отбеливаний древесины, виды органических растворителей, растительные масла и пропитывающие составы;

показатели преломления, условная вязкость, поверхностное натяжение, процентное содержание и соотношения компонентов масляно-скипидарной композиции, а также плотность раствора красителя, виды технологических операций.

Для достижения цели эксперимента, по получению фотометрических свойств в древесине, на стадии отбеливания подбирался состав отбеливающего раствора и порядок химической обработки. Из многочисленных химических веществ, отобраны пероксид водорода и щелочной агент. Данные вещества выбраны потому, что пероксид водорода, по сравнению с молекулярным кислородом и озоном, неограниченно растворяется в отбеливающем растворе, свободно проникает внутрь древесины цельной и измельченной (древесной дробленки) и не требует высокого давления для выполнения процесса ее окисления. В т.ч., пероксид водорода в щелочной среде достаточно много десятилетий применяется для отбеливания древесины и ее отходов [152]. Щелочной агент так же, как и пероксид водорода, является одним из самых распространенных, недефицитных и недорогих неорганических химических соединений, использующийся во многих чистящих и моющих средствах, например, мыло для рук, шампунях и гелях, который считается самым распространенным щелочным веществом. По данным [153] одним из наиболее предпочтительных вариантов для отбеливания древесины – комбинация из вышеприведенных веществ. В результате, с помощью полученного делигнифицирующего раствора, проводится окислительный метод делигнификации древесины и ее отходов, считающийся одним из самых перспективных способов, т.к. он не дает вредных выбросов и обеспечивает наиболее высокую нейтрализацию лигнина, в сравнении с др. методами [152].

Также, для нахождения наилучших условий отбеливания древесины изучено влияние водородного показателя, температуры и концентрации перекиси водорода и отбеливающего раствора на процесс растворения лигнина. По результатам многочисленных экспериментов установлено, что возрастание водородного показателя как пероксида водорода, так и делигнифицирующего раствора, примерно от 8 (в начале отбеливания) до 11 (в конце отбеливания) приводит к

повышению скорости и глубины делигнификации древесины. Это связано с тем, что при увеличении водородного показателя, равновесие в химических реакциях диссоциации гидроксильного и пергидроксильного радикалов по второй ступени все больше переходит вправо, как показано в химических уравнениях реакций (3.10) и (3.11) [152].



где $\text{HO}^\bullet$ – радикал гидроксила; HO^- – гидроксильный ион; $\text{O}^{\bullet-}$ – оксид; $\text{HOO}^\bullet$ – гидродиоксид (гидропероксильный радикал); $\text{O}_2^{\bullet-}$ – диоксид (супероксид).

Особенно, растворение лигнина ускоряется при окислении древесных отходов в отбеливающем растворе. Вышеприведенные данные совпадают с данными [152]. Однако, в ходе отбеливания, при повышении водородного показателя делигнифицирующего раствора до 11, заметно растет скорость разложения пероксида водорода на воду и водород, что ведет к ее непроизводительному расходу. Для замедления или предотвращения диссоциации пероксида водорода, рекомендуется вводить в отбеливающий раствор следующие химические реагенты: сульфат магния (стабилизатор пероксид водорода и протектор целлюлозы в безхлорном отбеливании); силикат натрия (стабилизатор разложения пероксида водорода, катализирует процесс отбеливания, поддерживает уровень водородного показателя делигнифицирующего раствора) и диэтилентриаминпентауксусная кислота (ДТПА) (стабилизатор и хелатор пероксида водорода за счет устранения ионов металлов из-за достаточно высокого сродства с ними) [153]. С повышением температуры и концентрации отбеливающего раствора, происходит более эффективное растворение компонентов древесины, в частности, лигнина, нативного лигнина, хромофоров, таннинов, легкогидролизуемых и экстрактивных веществ. Данные факторы также приводят к более глубокой делигнификации, что соответствует данным, представленным в [152]. На этапе отбеливания наибольшее внимание уделяется именно лигнину, поскольку он, в отличие от всех др. натуральных веществ, в

древесине, занимает второе место после целлюлозы по процентному содержанию (20–30 %) и по данным [153] поглощает 80–95 % света в ней.

С этой целью, в проведенных экспериментах по обеспечению фотометрических свойств древесных образцов, использовалась древесина березы, имеющая рассеяно-сосудистую систему с равномерно распределенными сосудами и капиллярами по всему объему материала. Кроме того, эта древесина обладает низкой плотностью (600–650 кг/м³) и не содержит смолу, что заметно упрощает и ускоряет процесс ее пропитки и делигнификации отбеливающим раствором на всех химических этапах. На стадии отбеливания древесины применялся делигнифицирующий раствор, свойства которого представлены в таблице 3.1 в виде общих сведений [154, 155].

Таблица 3.1 – Состав и физико-химические свойства делигнифицирующего раствора

Внешний вид	Молекулярная масса, а. е. м.	Плотность, кг/м ³	Концентрация, %	Термостойкость, °С	Температура разложения, °С
Белый кристаллический порошок	39,997	2 130	10–12	До 70	> 70

Из таблицы видно, что данное химическое соединение устойчиво только до 70 °С, выше этой температуры происходит его разложение на две молекулы щелочного агента и на кислород. Отбеливающий раствор достаточно хорошо растворяется в воде без потери кислорода, выделяя небольшое количество тепла. Но, мало растворим в метаноле и плохо растворим в этаноле [154, 155].

Результаты эксперимента, после стадии отбеливания партии древесных образцов из 12 березовых образцов по светопроницаемости (Т, %) представлены в таблице 3.2. Светопропускаемость данных образцов в сухом и во влажном состоянии, после каждого этапа отбеливания, повышалась в среднем на 6 и 26 % соответственно.

Таблица 3.2 – Результаты эксперимента после стадии отбеливания древесных образцов делигнифицирующим раствором по их физико-механическим свойствам и светопроницаемости

№ образца	Масса, м, кг		Плотность, ρ , кг/м ³		Твердость, Н, НА		Е, лк						Т, %					
	сух./влаж. сост.		сух./влаж. сост.		сух./влаж. сост.		сух./влаж. сост.						сух./влаж. сост.					
							1 отб.	2 отб.	3 отб.	4 отб.	5 отб.	6 отб.	1 отб.	2 отб.	3 отб.	4 отб.	5 отб.	6 отб.
1	0,00280	0,00358	430	680	100,5	90,5	40	273	65	640	164	990	3	23	5	53	14	83
2	0,00238	0,00417	450	790	99,0	93,0	88	230	148	610	220	885	7	19	12	51	18	74
3	0,00210	0,00388	400	730	99,5	93,0	82	358	150	790	233	996	7	30	13	66	19	83
4	0,00220	0,00360	420	680	98,5	92,0	115	392	180	810	250	993	10	33	15	68	21	83
5	0,00205	0,00351	390	660	97,5	92,0	105	388	186	820	236	998	9	32	16	68	20	83
6	0,00201	0,00371	380	700	99,0	90,5	114	397	187	850	224	995	10	33	16	71	19	83
7	0,00218	0,00361	410	680	99,0	94,0	118	384	188	840	288	994	10	32	16	70	24	83
8	0,00231	0,00338	440	640	98,5	89,0	102	398	139	860	228	995	9	33	12	72	19	83
9	0,00222	0,00362	420	680	99,5	93,5	103	338	186	835	266	998	9	28	16	70	22	83
10	0,00217	0,00358	410	680	100,5	89,0	138	398	189	884	298	998	12	33	16	74	25	83
11	0,00218	0,00360	410	680	99,5	91,0	110	325	193	865	215	998	9	27	16	72	18	83
12	0,00213	0,00372	400	700	100,0	93,0	116	373	178	730	228	970	10	31	15	61	19	81
Мин	0,00201	0,00338	380	640	97,5	89,0	40	230	65	610	164	885	3	19	5	51	14	74
Срзнач	0,00218	0,00366	410	690	99,3	91,7	103	355	166	795	238	984	9	30	14	66	20	82
Макс	0,00238	0,00417	450	790	100,5	94,0	138	398	193	884	298	998	12	33	16	74	25	83

Результаты по влиянию количества отбеливаний древесины на светопроницаемость представлены на рисунке 3.2.

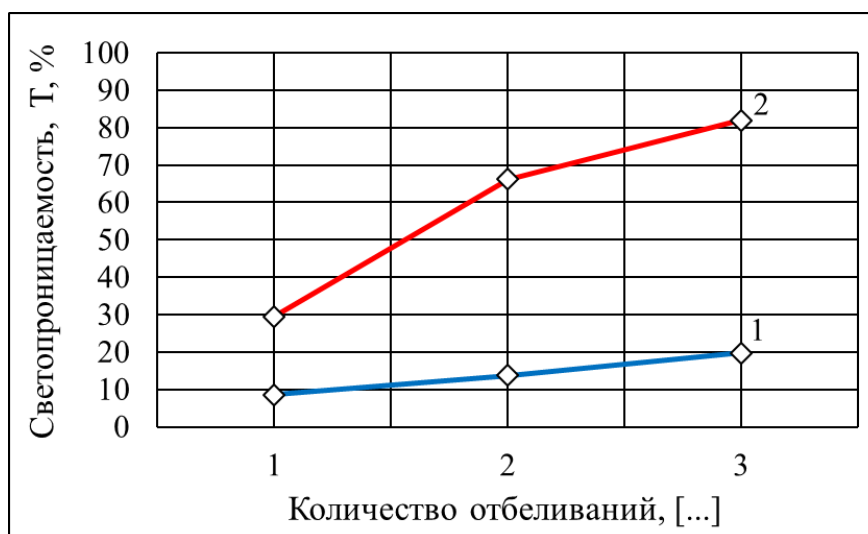


Рисунок 3.2 – Влияние количества отбеливаний древесины на светопропускание:

1 – в сухом состоянии; 2 – во влажном состоянии

После первого отбеливания среднее значение светопропускаемости древесных образцов в сухом состоянии составило 9 %, во влажном состоянии – 30 %. После повторного отбеливания, данный показатель образцов в сухом и во влажном виде увеличился до 15 % и 66 % соответственно. По итогу третьего отбеливания, светопроницаемость древесных образцов в сухом состоянии стало 21 %, тогда как во влажном состоянии – 82 %. У влажных образцов она повышалась приблизительно на 20–30 %. Интересным фактом считается то, что рост светопропускания, как сухих, так и влажных древесных образцов после каждого этапа отбеливания несколько снижается по сравнению с предыдущим. Повышение светопропускаемой способности сухой древесины, после каждого отбеливания связан с уменьшением содержания светопоглощающих натуральных веществ в ней, в частности, лигнина, нативного лигнина, хромофоров, таннинов, легкогидролизуемых и экстрактивных веществ. У влажной древесины, помимо вышеупомянутого, рост светопроницаемости связан, в т.ч., с повышением процентного содержания отбеливающего раствора в ней, а также с воздействием УФ-облучения в процессе отбеливания, которое, вследствие фотонагрева древесного образца и этого раствора, например, раскрывает поры, позволяющие пропитываемому раствору проникать глубже в древесину, увеличивая

смачиваемость и адгезию между целлюлозой и раствором. Для улучшения данных показателей рекомендуется уменьшение расстояния между УФ-лампой и химически обрабатываемой поверхностью. Спад роста светопроницаемости сухой древесины вызван, в частности, из-за испарения из нее отбеливающего раствора в процессе сушки, и, следовательно, снижению его содержания в ней. У влажной древесины это связано с тем, что с каждой последующей операцией отбеливания из нее выводится меньшее количество остаточного лигнина, т.к. его плотность повышается с увеличением содержания метоксильных групп и появлением процессов конденсации, сопровождающиеся увеличением его молекулярной массы.

Установлено, что после делигнификации древесных образцов их масса в сухом состоянии стала меньше, чем до химической обработки, в том же состоянии, в среднем примерно на 2–7 %. Связано это с тем, что при отбеливании древесины, из нее удаляются лигнин, нативный лигнин, хромофоры, легкогидролизуемые и экстрактивные вещества. Однако, во влажном отбеленном состоянии, масса образцов оказалась больше их массы во влажном естественном состоянии приблизительно на 3–5 %, т.к. молярная масса отбеливающего раствора – 0,078 кг/моль и плотность 2 130 кг/м³, у воды молярная масса составляет 0,018 кг/моль и плотность 1 000 кг/м³. Следовательно, плотность образцов делигнифицированной древесины в сухом и во влажном состоянии в среднем составила 410 и 690 кг/м³ соответственно, тогда как в тех же состояниях, но в естественном виде, оказывалась 540 и 880 кг/м³.

Экспериментально подтверждено, что после делигнификации древесины, ее твердость незначительно снижается: так, среднее значение по данному показателю у всей партии образцов до химической обработки составила 99,9 НА и 94,7 НА по сравнению с 99,3 и 91,7 НА в сухом и во влажном состояниях соответственно.

По остальным фотометрическим характеристикам партии древесных образцов (таблицы 3.2, 3.3 и 3.4) – освещенности (Е, лк), светимости (М, лм / м²), силе света (I, кд) и яркости (L, кд / м²), установлены те же следующие закономерности, что и в случае со светопроницаемостью:

Таблица 3.3 – Результаты эксперимента после стадии отбеливания древесных образцов по светимости и силе света

№ образца	М, лм / м ²						I, кд					
	сух./влаж. сост.						сух./влаж. сост.					
	1 отб.		2 отб.		3 отб.		1 отб.		2 отб.		3 отб.	
1	40	273	65	640	164	990	4	25	6	58	15	89
2	88	230	148	610	220	885	8	21	13	55	20	80
3	82	358	150	790	233	996	7	32	14	71	21	90
4	115	392	180	810	250	993	10	35	16	73	23	89
5	105	388	186	820	236	998	9	35	17	74	21	90
6	114	397	187	850	224	995	10	36	17	77	20	90
7	118	384	188	840	288	994	11	35	17	76	26	89
8	102	398	139	860	228	995	9	36	13	77	21	90
9	103	338	186	835	266	998	9	30	17	75	24	90
10	138	398	189	884	298	998	12	36	17	80	27	90
11	110	325	193	865	215	998	10	29	17	78	19	90
12	116	373	178	730	228	970	10	34	16	66	21	87
Мин	40	230	65	610	164	885	4	21	6	55	15	80
Срзнач	103	355	166	795	238	984	9	32	15	72	21	89
Макс	138	398	193	884	298	998	12	36	17	80	27	90

Таблица 3.4 – Результаты эксперимента после стадии отбеливания древесных образцов по яркости и светопоглощению

№ образца	L, кд / м ²						A, %					
	сух./влаж. сост.						сух./влаж. сост.					
	1 отб.		2 отб.		3 отб.		1 отб.		2 отб.		3 отб.	
1	2400	16380	3900	38400	9840	59400	97	77	95	47	86	18
2	5280	13800	8880	36600	13200	53100	93	81	88	49	82	26
3	4920	21480	9000	47400	13980	59760	93	70	88	34	81	17
4	6900	23520	10800	48600	15000	59580	90	67	85	33	79	17
5	6300	23280	11160	49200	14160	59880	91	68	85	32	80	17
6	6840	23820	11220	51000	13440	59700	91	67	84	29	81	17
7	7080	23040	11280	50400	17280	59640	90	68	84	30	76	17
8	6120	23880	8340	51600	13680	59700	92	67	88	28	81	17
9	6180	20280	11160	50100	15960	59880	91	72	85	30	78	17
10	8280	23880	11340	53040	17880	59880	89	67	84	26	75	17
11	6600	19500	11580	51900	12900	59880	91	73	84	28	82	17
12	6960	22380	10680	43800	13680	58200	90	69	85	39	81	19
Мин	2400	13800	3900	36600	9840	53100	89	67	84	26	75	17
Срзнач	6155	21270	9945	47670	14250	59050	92	71	86	34	80	18
Макс	8280	23880	11580	53040	17880	59880	97	81	95	49	86	26

- освещенность древесных образцов, по итогам трех отбеливаний, в сухом и влажном состояниях увеличивалась в среднем на 6,1 и 28,3 лк соответственно;
- светимость образцов, при тех же их состояниях, после всех делигнификаций, равна 67,5 и 314,8 лм / м² соответственно;
- сила, с которой исходил свет из древесных образцов как в сухом, так и во влажном состоянии, с каждым последующим отбеливанием, увеличивалась в среднем на 6,1 и 28,3 кд соответственно;
- яркость образцов в сухом состоянии демонстрировала рост в среднем на 4 047,5 кд / м², во влажном состоянии – 18 890 кд / м² с заметным замедлением прироста по итогу каждого отбеливания.

Светопоглощение древесных образцов, как противоположная характеристика светопроницаемости, с каждым последующим отбеливанием понижалось в среднем на 6 и 26 % для сухого и влажного состояний соответственно. Образцы имели самые большие и малые значения по этому показателю только после первого и последнего отбеливания.

После отбеливания проводилась промежуточная промывка и сушка образцов.

Цель проведения экстракции – нейтрализация, выведение и освобождение проводящих анатомических элементов древесных образцов от образовавшейся в них кальцинированной соды (Na_2CO_3) после сушки из-за остатков отбеливающего раствора в их внутренней структуре и экстрактивных веществ, которые, по большей части, находятся в полостях клеток и межклеточных каналах, оказывающие довольно большое влияние на проницаемость древесины, следовательно, на качество пропитывания химических веществ.

В соответствии с проведенными экспериментами (таблица 3.5) по всем фотометрическим характеристикам партии различных образцов никаких изменений по снижению светопропускания не обнаружено.

Таблица 3.5 – Результаты эксперимента после стадии экстракции древесных образцов по физико-механическим и фотометрическим свойствам

№ образца	Масса, m, кг		Плотность, ρ , кг / м ³		Твердость, Н, НА		Е, лк		Т, %		А, %		М, лм / м ²		I, кд		L, кд / м ²	
	сух./влаж. сост.		сух./влаж. сост.		сух./влаж. сост.		сух./влаж. сост.		сух./влаж. сост.		сух./влаж. сост.		сух./влаж. сост.		сух./влаж. сост.		сух./влаж. сост.	
1	0,00228	0,00342	430	650	98,0	91,5	185	1020	15	85	85	15	185	1020	17	92	11100	61200
2	0,00238	0,00366	450	690	99,0	92,5	263	1062	22	89	78	12	263	1062	24	96	15780	63720
3	0,00210	0,00332	400	630	97,5	85,0	271	1000	23	83	77	17	271	1000	24	90	16260	60000
4	0,00225	0,00364	430	690	98,5	92,5	281	1042	23	87	76	13	281	1042	25	94	16860	62520
5	0,00210	0,00332	400	630	97,5	91,0	282	1020	24	85	76	15	282	1020	25	92	16920	61200
6	0,00214	0,00357	400	670	98,5	89,0	247	1058	21	88	79	12	247	1058	22	95	14820	63480
7	0,00228	0,00340	430	640	97,0	93,5	332	1077	28	90	72	10	332	1077	30	97	19920	64620
8	0,00220	0,00359	410	680	98,0	88,0	259	1051	22	88	78	12	259	1051	23	95	15540	63060
9	0,00220	0,00337	420	640	98,0	92,5	331	1045	28	87	72	13	331	1045	30	94	19860	62700
10	0,00200	0,00321	380	610	97,5	90,5	332	1038	28	87	72	14	332	1038	30	93	19920	62280
11	0,00200	0,00321	380	610	98,0	89,5	342	1035	29	86	71	14	342	1035	31	93	20520	62100
12	0,00218	0,00327	410	620	95,0	92,0	258	1045	22	87	78	13	258	1045	23	94	15480	62700
Мин	0,00200	0,00321	380	610	95,0	85,0	185	1000	15	83	72	10	185	1000	17	90	11100	60000
Срзнач	0,00216	0,00342	410	650	97,71	90,63	282	1041	23	87	77	13	282	1041	25	94	16915	62465
Макс	0,00238	0,00366	450	690	99,0	93,50	342	1077	29	90	84	17	342	1077	31	97	20520	64620

По сравнению с предыдущими этапами средние значения светопроницаемости, освещенности, светопоглощения, светимости, яркости и силы света примерно одинаковы. В таблицах 3.2, 3.3, 3.4 и 3.5 приводится детальный сравнительный анализ результатов эксперимента по изменению массы, плотности, твердости, светопропусканию и др. характеристикам химически обработанной древесины.

По вышеприведенным характеристикам можно сделать вывод, что среднее значение массы высушенных экстрагированных древесных образцов равно среднему значению массы сухих отбеленных образцов, что свидетельствует о факте отсутствия влияния на процессы их сушки и соблюдении всех соответствующих испытаниям условий. В плане световых характеристик образцов экспериментально установлено, что при среднем содержании воды в них в 55–57 %, на этапе экстракции, достигнуты примерно те же высокие значения по данным характеристикам, что и на стадии отбеливания, когда процентное содержание делигнифицирующего раствора в них составляло в среднем 76 %. Это позволило, на обоих этапах, довести светопроницаемость древесины, после делигнифицирования и экстрагирования, в среднем до 82 и 87 % соответственно.

По результатам сравнительного анализа установлено, что экстрагирование древесины и отходов на ее основе водой, после отбеливания и сушки, не приводит к существенным изменениям свойств. Результаты проведенной экстракции продемонстрировали сохранение всех свойств древесины, как в сухом, так и во влажном состоянии. После экстракции проводилась сушка образцов для осуществления следующего этапа – дегидратации.

Цель дегидратации – выведение остатков нативного лигнина и экстрактивных веществ из химически обработанной древесины и обезвоживание для ускорения сушки.

Далее изучалось влияние органических растворителей на светопропускание и др. характеристики древесины. Исследовано семь видов растворителей: уайт-спирит, толуол, ксилол, сольвент, технический ацетон, скипидар и этанол. Данные

растворители выбраны как самые распространенные и доступные. Древесные образцы готовились для следующих видов обработки:

- пропитка этиловым спиртом;
- ацетоном;
- скипидаром;
- сольвентом;
- ксилолом;
- толуолом;
- уайт-спиритом.

В ходе испытаний установлено, что наибольшее среднее значение светопропускаемости у образцов после дегидратации этанолом, которое составило 86 % во влажном и 16 % в сухом состоянии, т.к. поверхностное натяжение этилового спирта самое низкое – 22,1 мН/м против 23,7 мН/м технического ацетона, 24,8 мН/м уайт-спирита, 27,3–28,5 мН/м толуола, 27,8–29,4 мН/м скипидара, 28 мН/м ксилола и 29,7 мН/м сольвента.

Результаты эксперимента после стадии дегидратации древесных образцов этиловым спиртом по физико-механическим и фотометрическим свойствам представлены в таблице 3.6.

Для проверки влияния органических растворителей на физико-механические, свойства и светопропускание древесины, проведены дополнительные комплексные исследования (рисунок 3.3). На графике видно, что после сушки древесных образцов идут заметные потери их светопропускания, особенно у образцов, пропитанных этанолом, скипидаром, ацетоном и сольвентом. Например, абсолютные потери светопропускания, в частности, древесного образца, пропитанного ацетоном меньше, чем образца, пропитанного скипидаром, т.к., изначально, содержание ацетона в древесине составляло 41,50 % против 17,18 % скипидара.

Таблица 3.6 – Результаты эксперимента после стадии дегидратации древесных образцов по физико-механическим и фотометрическим свойствам

№ образца	Масса, m, кг		Плотность, ρ , кг/м ³		Твердость, Н, НА		Е, лк		Т, %		А, %		М, лм/м ²		I, кд		L, кд/м ²	
	сух./влаж. сост.		сух./влаж. сост.		сух./влаж. сост.		сух./влаж. сост.		сух./влаж. сост.		сух./влаж. сост.		сух./влаж. сост.		сух./влаж. сост.		сух./влаж. сост.	
1	0,00226	0,00361	430	680	99,0	93,0	235	1110	20	93	80	7	235	1110	21	100	14100	66600
2	0,00237	0,00367	450	690	100,0	95,5	322	1104	27	92	73	8	322	1104	29	99	19320	66240
3	0,00210	0,00338	400	640	100,0	95,0	337	1098	28	92	72	8	337	1098	30	99	20220	65880
4	0,00206	0,00335	390	630	99,0	95,5	356	1000	30	83	70	17	356	1000	32	90	21360	60000
5	0,00208	0,00334	390	630	99,0	93,0	351	1080	29	90	71	10	351	1080	32	97	21060	64800
6	0,00201	0,00324	380	610	100,0	95,0	304	1068	25	89	75	11	304	1068	27	96	18240	64080
7	0,00211	0,00337	400	640	97,0	93,0	332	1077	28	90	72	10	332	1077	30	97	19920	64620
8	0,00210	0,00339	400	640	98,5	95,0	315	1051	26	88	74	12	315	1051	28	95	18900	63060
9	0,00222	0,00351	420	660	100,0	95,0	397	1090	33	91	67	9	397	1090	36	98	23820	65400
10	0,00198	0,00328	370	620	99,5	93,0	395	1057	33	88	67	12	395	1057	36	95	23700	63420
11	0,00200	0,00333	380	630	98,5	94,5	396	1100	33	92	67	8	396	1100	36	99	23760	66000
12	0,00213	0,00330	400	620	98,0	92,5	308	1045	26	87	74	13	308	1045	28	94	18480	62700
Мин	0,00198	0,00324	370	610	97,0	92,5	235	1000	20	83	67	7	235	1000	21	90	14100	60000
Срзнач	0,00212	0,00340	400	640	99,0	94,2	337	1073	28	89	72	11	337	1073	30	97	20240	64400
Макс	0,00237	0,00367	450	690	100,0	95,50	397	1110	33	93	80	17	397	1110	36	100	23820	66600

При сравнении образцов с сольвентом и ксилолом, ацетоном и этанолом, процентное содержание смесей ароматических углеводородов в них меньше, чем растворителей, но, их больше, чем скипидара в древесине, поскольку, во-первых, 23,11 % и 28,80 % против 17,18 %, во-вторых их плотность при 20 °С 880,2 кг/м³ и 867 кг/м³ против 857 кг/м³ соответственно.

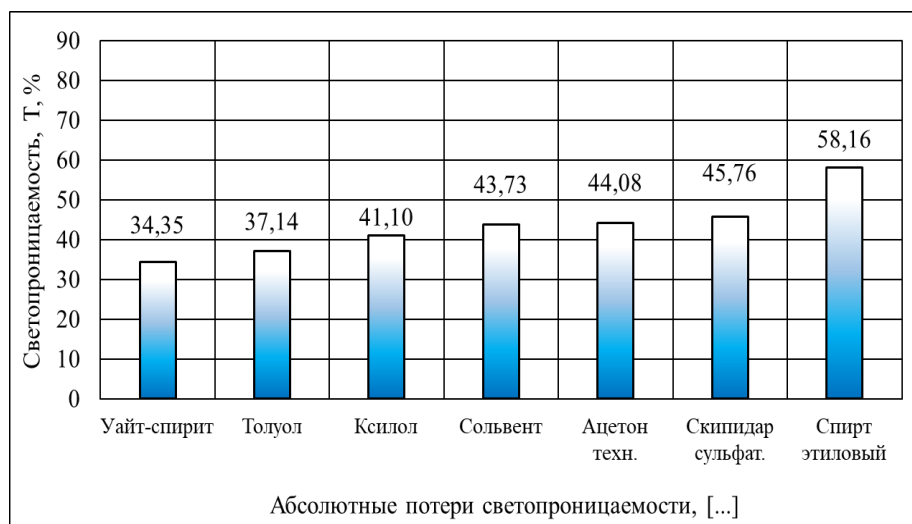


Рисунок 3.3 – Влияние растворителей на потери светопропускания древесины

Рассчитаны потери светопроницаемости древесных образцов после сушки (рисунок 3.4). Тенденция сохраняется, как и на предыдущем графике. Отмечено, что после сушки древесных образцов, потери светопроницаемости образцов с уайт-спиритом, ксилолом, сольвентом и скипидаром оказались меньше, чем у образцов с этанолом и ацетоном. Объясняется это тем, что в процессе сушки древесины, из нее не полностью выводятся смеси ароматических углеводородов, следовательно, ее анатомические элементы остаются в большей степени заполненными этими смесями, чем с последними двумя растворителями. Это обеспечивает один и тот же тип распространения света по всему образцу, в т.ч., за счет показателей преломления уайт-спирита, толуола, ксилола, скипидара и сольвента, которые составляют: 1,42400, 1,49690, 1,50540, 1,5100 и 1,58400 соответственно.

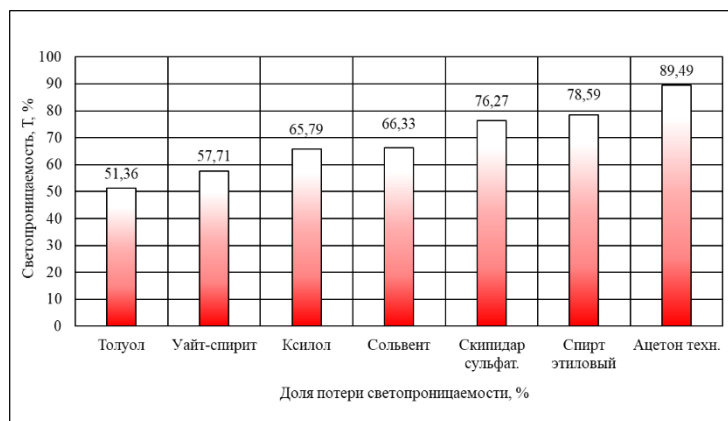


Рисунок 3.4 – Влияние вида растворителей на светопропускание древесины

Анализируя полученные данные на рисунках 3.3 и 3.4, можно отметить, что процентное содержание органических растворителей влияют на светопрозрачность древесины, поскольку с увеличением содержания этих растворителей в древесине, ее светопрозрачность растет и, наоборот, с уменьшением их содержания, у нее светопрозрачность падает, т.к. процентное содержание органических жидкостей влияет на изменение показателя преломления древесины.

Чем больше коэффициент преломления и поверхностное натяжение органических растворителей, тем ниже светопропускание образцов по причине возрастания отражательной способности среды. По показателю преломления (рисунок 3.5), наименьшее влияние на светопропускающую способность древесных образцов обладают этанол (1,36242) и технический ацетон (1,35880). Наибольшее – ксилол (1,50540) и сольвент (1,58400). Также, на графике видно, что светопрозрачность древесных образцов постепенно понижается, с повышением поверхностного натяжения органических веществ. Это объясняется тем, что чем больше сила поверхностного натяжения органических растворителей, тем меньше они смачивают капилляр, соответственно, повышается капиллярное давление, которое не позволяет повышать уровень данных растворителей в капилляре и его заполнить. Поэтому, во внутренней структуре древесины одни участки заполнены полностью, др. лишь частично.

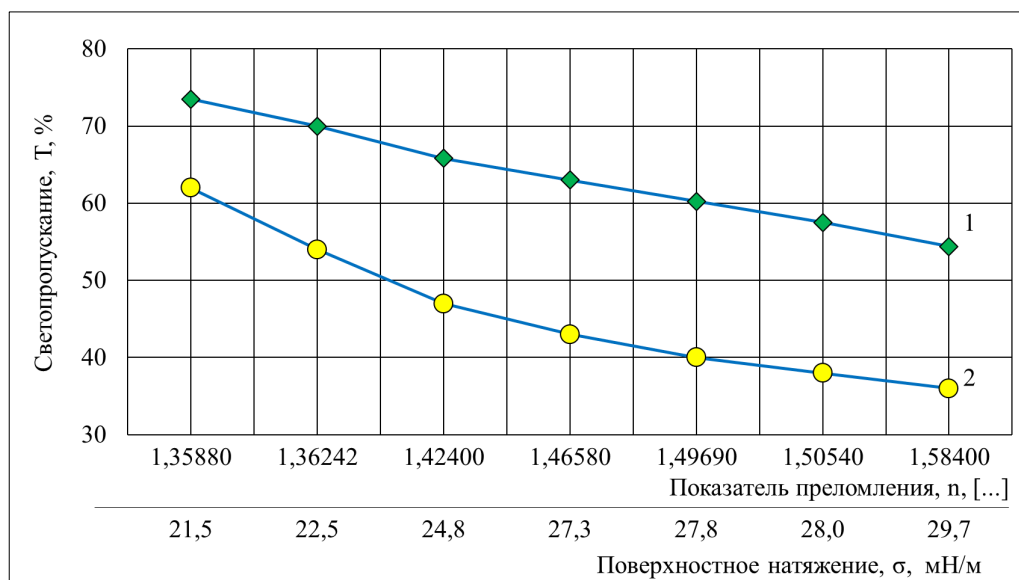


Рисунок 3.5 – Влияние показателя преломления (1) и поверхностного натяжения (2) органических растворителей на светопропускание древесины

По результатам исследований установлено, что наименьшим поверхностным натяжением обладает этанол и наибольшие абсолютные потери светопрозрачности имеют образцы, пропитанные данным растворителем, следовательно, его практически не остается в них, что отвечает цели дегидратации. Поэтому для стадии обезвоживания древесных образцов, принято использовать этиловый спирт.

После пропитки всех древесных образцов этанолом, фиксировались и сравнивались физико-механические и фотометрические свойства как в сухом, так и во влажном состоянии. Результаты эксперимента после стадии дегидратации партии древесных образцов березы представлены в таблице 3.6.

На основании проведенных экспериментальных исследований, на стадии обезвоживания партии древесных образцов, установлено, что их усредненные значения массы и плотности практически не имеют заметных изменений в сравнении с данными образцов по экстракции. Однако, усредненная твердость всех образцов в сухом и во влажном дегидратированном состоянии оказалась на 1,33 НА и 3,54 НА больше, чем у образцов в тех же состояниях в экстрагированном виде, т.к. в процессе дегидратации древесины, из нее, с помощью этанола, вымывается остаточный лигнин, нативный лигнин, легкогидролизуемые и экстрактивные вещества, и, как следствие, происходит набухание волокна,

приводящее к возрастанию его пластичности и гибкости. Выявленная закономерность считается положительной.

В плане фотометрических свойств по всем характеристикам зафиксирован рост. Так после стадии дегидратации, светопроницаемость всей партии древесных образцов в сухом и влажном состояниях, увеличилась на 4,62 % и 2,69 %, освещенность на 55,42 лк и 32,25 лк, светимость на 55,42 лм/м² и 32,25 лм/м², сила света на 4,99 кд и 2,90 кд и яркость на 3 325 кд/м² и 1 935 кд/м² при среднем содержании C₂H₅ОН в них, 60,52 %, по сравнению с результатами предыдущего этапа – экстракция. После этапов экстрагирования и дегидратирования, у древесных образцов во влажном состоянии достигнут высокий уровень светопроницаемости 87 % и 89 % при тех же средних значениях содержания воды в и этанола соответственно. Это подтверждает факт, что подавляющее количество лигнина, нативного лигнина, легкогидролизуемых и экстрактивных веществ растворено и выведено из них. Приведенные значения светопроницаемости свидетельствуют о том, что у химически обработанной древесины действительно могут появиться потенциальные возможности применения в системах энергосбережения.

Далее, древесные образцы проходили сушку для проведения заключительного этапа обработки – инфильтрация, цель которой – повышение и сохранение фотометрических свойств химически обработанной древесины. Перед проведением инфильтрации химически обработанных древесных образцов, изучалась условная вязкость и поверхностное натяжение как моно веществ, так и масляно-скипидарных композиций. Кроме того, изучались зависимости снижения условной вязкости и поверхностного натяжения от соотношения растительного масла и скипидара.

Условная вязкость и поверхностное натяжение пропитывающих составов играют важную роль в особых условиях нахождения жидкости в капиллярах, т.к. происходят сложные процессы в узком пространстве цилиндрических трубок диаметром менее миллиметра – капиллярные явления. Жидкость, проходя по капиллярам и проникая в пористое тело, поднимается или опускается по

капиллярам. В случае смачивающей жидкости силы притяжения между молекулами жидкости и твердого тела превышают силы взаимодействия между молекулами самой жидкости, поэтому она втягивается в капилляр, и поднимается в нем до тех пор, пока результирующая сила, действующая на жидкость вверх, уравнивается силой тяжести самой жидкости. На скорость движения жидкости по капиллярам влияют физические свойства самой жидкости – вязкость и сила поверхностного натяжения. Таким образом, одной из важных составляющих в достижении светопропускания является оптимальное поверхностное натяжение, обеспечивающее равномерное распределение по всему объему древесины [156-158].

В рамках экспериментов, при инфильтрации древесины, использовались двадцать четыре вида растительных масел: подсолнечное, рапсовое, аргановое, льняное, кунжутное (сезамовое), абрикосовое, горчичное, рыжиковое, кедровое, тыквенное, облепиховое, камфорное, касторовое, виноградное, кукурузное, оливковое, чесночное, рисовое, хлопковое, арахисовое, конопляное, масло грецкого ореха, расторопши, дикого нанайского лимонника и четыре нерастительных масла: вазелиновое, детское – «Алоэ», моторное и бытовое смазочное (индустриальное). Также использовались девять жидкостей – глицерин, меновазин, формидрон, полиэтиленгликоль, уксус, жидкость для снятия лака «Ласка», силикатный клей, защитный акриловый водно-дисперсионный тонированный глянцевый лак с антисептическими свойствами и уайт-спирит.

Для дальнейших исследований, в силу доступности и целесообразности использования с технической и экономической точки зрения из всех изученных жидкостей приняты десять растительных масел: подсолнечное, кукурузное, горчичное, оливковое, кунжутное, рапсовое, хлопковое, льняное, арахисовое и рисовое. Самое низкое поверхностное натяжение у тыквенного масла, самое высокое – у рыжикового масла. Сравнивая поверхностное натяжение растительных масел, можно сделать вывод, что самым низким поверхностным натяжением обладает тыквенное масло, самым высоким – рыжиковое масло. Поскольку отобранные растительные масла – продукты вязкие и имеют достаточно высокое

поверхностное натяжение по сравнению со спиртосодержащими и полимерсодержащими веществами, в дальнейшем ставилась задача снизить данные показатели выбранных растительных масел путем модификации органическими жидкостями.

В качестве разбавителей с низкими показателями вязкости использовались полиэтиленгликоль и скипидар. Принимая во внимание тот факт, что полиэтиленгликоль обладает способностью очень сильно снижать светопропускание между сухими и влажными образцами (78–80 %), выбор сделан в пользу скипидара, имеющего меньшее снижение этих показателей. Из всех вариантов масляно-скипидарных композиций, на основе растительного масла и скипидара, в таблице 3.2 представлены наиболее рациональные из них.

Исходное значение поверхностного натяжения скипидара составляет 28,01 мН/м, что может способствовать снижению поверхностного натяжения растительного масла. Из всех вариантов масляно-скипидарных композиций, на основе растительного масла и скипидара, в таблице 3.7 представлены наиболее приемлемые из них.

Таблица 3.7 – Результаты по условной вязкости и поверхностному натяжению веществ и композиций при температуре 20 ± 2 °С

№ вещества/композиции	Вещества/композиции		Условная вязкость, μ , с	Поверхностное натяжение, σ , мН/м
1	Подсолнечное масло		20,36	54
2	Кукурузное масло		19,9	54
3	Соевое масло		20,6	58
4	Скипидар		9,66	28,01
	Состав композиции			
	Подсолнечное масло	Скипидар		
1	50 %	50 %	11,1	51,2
2	33 %	67 %	10,26	46,2
3	67 %	33 %	11,93	52,6
4	90 %	10 %	16,67	51,4
5	85 %	15 %	15,32	50,3
6	80 %	20 %	13,97	49,6
	Состав композиции			
	Кукурузное масло	Скипидар		
1	50 %	50 %	11,24	49,6
2	33 %	67 %	10,65	47
3	67 %	33 %	13,49	52,4
4	90 %	10 %	17,53	51,8
5	85 %	15 %	16,17	50,5
	80 %	20 %	14,87	49,9
	Состав композиции			
	Соевое масло	Скипидар		
1	50 %	50 %	11,5	51,8
2	33 %	67 %	10,9	47,5
3	67 %	33 %	13,75	52,9
4	90 %	10 %	17,96	55,2
5	85 %	15 %	16,64	54
6	80 %	20 %	15,47	52,2

Анализируя происходящее снижение условной вязкости и поверхностного натяжения масляно-скипидарной композиции, был сделан вывод о детальном рассмотрении пропиточной композиции в диапазоне расхода скипидара в пределах от 10 до 20 %. Полученное при этом снижение условной вязкости более чем на 6 секунд по ВЗ-4 и величины поверхностного натяжения на 5 мН/м могло дать эффект за счет лучшего проникновения в капилляры древесины, тем самым улучшая светопропускание образцов.

Высказанная гипотеза подтверждена экспериментальными данными. Результаты испытаний на светопроницаемость древесных образцов, пропитанных масляно-скипидарными композициями из масла и скипидара, показывали увеличение светопроницаемости в пределах от 10 до 20 % с максимумом при 15 % скипидара. При этом отмечено сближение показателей светопропускаемости между влажными и сухими образцами от 40 % для чистого растительного масла до 20 % при отмеченном максимуме. Установлено, что в дальнейшем, с увеличением доли скипидара в масляно-скипидарной композиции, разница растет. На рисунках 3.6 и 3.7 представлены графики зависимостей светопропускания древесины от соотношения вязкости и поверхностного натяжения масляно-скипидарной композиции.

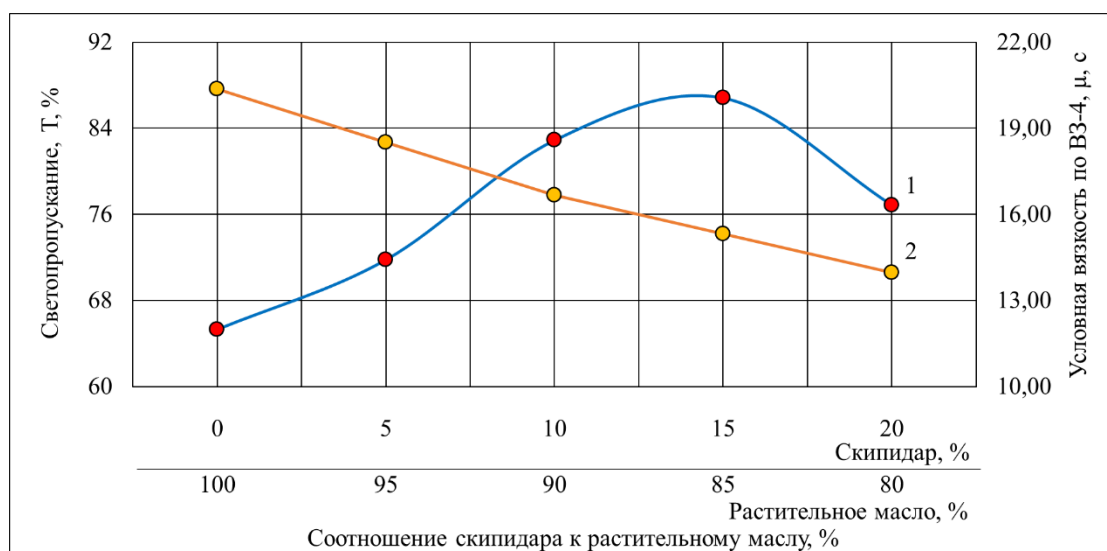


Рисунок 3.6 – Зависимость светопропускания древесины (1) от условной вязкости (2) при различном соотношении скипидара и растительного масла

По рисунку 3.6 при содержании скипидара в композициях в интервале от 10 до 20 %, с максимумом 15 %, древесные образцы показывали увеличение светопроницаемости со значениями 83, 87 и 77 % соответственно.

Отмечено также снижение показателей поверхностного натяжения масляно-скипидарных композиций с 51,4 до 49,6 мН/м при процентном содержании скипидара в данных композициях в диапазоне 10–20 %, при максимуме равном 15%, также наблюдался рост светопропускания образцов (рисунок 3.7).

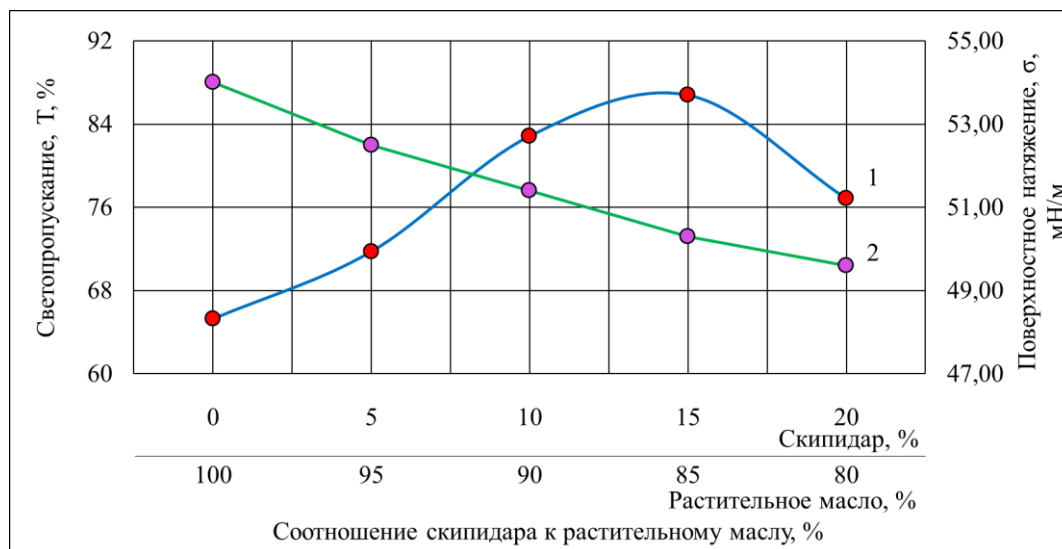


Рисунок 3.7 – Зависимость светопропускания древесины (1) от поверхностного натяжения (2) при различном соотношении скипидара и растительного масла

Поставленная задача по снижению условной вязкости и поверхностного натяжения растительных масел решается путем модификации органическими жидкостями. В качестве разжижающих жидкостей, имеющих низкие показатели вязкости, использованы: полиэтиленгликоль, олифа, ксилол, сольвент, уайт-спирит и скипидар. Выбор сделан в пользу скипидара, как менее токсичного и изготавливаемого из древесины, что могло способствовать его совместимости с растительным маслом. Начальная величина поверхностного натяжения скипидара равняется 28,01 мН/м, что должно обеспечить снижение поверхностного натяжения растительного масла.

После проведенных исследований, инфильтровывались уже химически обработанные древесные образцы. Доза каждого вида растительного масла составляла примерно 80–90 %.

Светопроницаемость древесных образцов, пропитанных различными маслами, зависит от их вязкости и имеет достаточно высокую степень снижения при сушке, составляющую несколько десятков процентов. Однако не все виды растительных масел дают одинаковый уровень снижения светопропускания образцов. Так, ПЭГ имеет большое абсолютное снижение показателя светопропускания – 78%. Оливковое масло имеет значительное абсолютное снижение светопроницаемости, что составляет менее 38%.

Минимальное снижение по данному показателю отмечено для образцов, пропитанных льняным маслом – 16 %. Оригинальные и малоиспользуемые масла имеют средние показатели снижения качества до 30%. Это арахисовое, горчичное, хлопковое и кунжутное масла.

Важными технологическими характеристиками растительных масел считаются их вязкость и поверхностное натяжение, которые влияют на полноту и интенсивность прохождения масла по капиллярам в образцах древесины. Контроль таких характеристик, а именно, условной вязкости – проводили на вискозиметре ВЗ-4. Все испытанные растительные масла имели значения условной вязкости от 18 до 23 секунд по ВЗ-4. Исключение составили такие вещества, как ПЭГ и скипидар, условная вязкость которых получилась от 10 до 12 секунд.

Корреляции между реологическими характеристиками растительных масел и светопроницаемостью древесных образцов не установлено, но обнаружилась связь между величиной их поверхностного натяжения и светопропусканием. В большинстве случаев, зафиксировалось влияние поверхностного натяжения данных масел на светопроницаемость древесных образцов (рисунок 3.8), т.е. при увеличении этого показателя отмечено резкое снижение светопропускания как для сухих, так и для влажных образцов. Светопропускание древесины (кривая 2) падает ввиду меньшей смачиваемости данными маслами капилляров, следовательно, увеличивается капиллярное давление, не позволяющее повышать уровень растительных масел в капилляре и его заполнение. Во внутренней структуре древесины одни участки заполнены полностью, другие лишь частично. По кривой 1 ситуация примерно та же, только добавляется еще один влияющий на

светопропускание древесины фактор – снижение содержания растительных масел в древесине после ее сушки из-за их постепенного испарения и выведения из органического целлюлозного материала [150, 159].

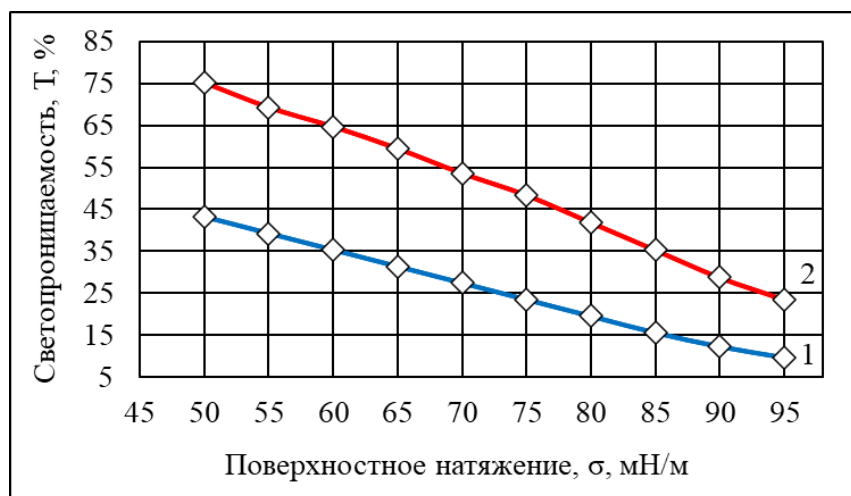


Рисунок 3.8 – Зависимость светопропускания древесных образцов от поверхностного натяжения растительных масел: 1) – в сухом состоянии, 2) – во влажном состоянии

Для проверки влияния растительных масел на светопропускание древесины, проведены экспериментальные исследования (рисунок 3.9) [150]. Показано, что после сушки образцов происходят потери их светопропускания. Особенно, у образцов, инфильтрованных рисовым, рапсовым, подсолнечным, кукурузным и оливковым маслами, а также ПЭГ.



Рисунок 3.9 – Влияние растительных масел на светопропускание древесины

Обосновывается это тем, что в процессе сушки древесины, из нее не полностью выходит растительное масло, следовательно, ее фрагменты остаются в определенной мере заполненными данным маслом, что обеспечивает один и тот же

тип распространения света по древесному образцу, в т.ч., за счет показателей преломления масла. Но, поскольку в древесине его остается достаточно мало, следовательно, показатель преломления света в образце получается практически таким же, что и до его инфильтрации. Решение данной проблемы – использовать те масла, которые после сушки древесины, остаются в ней в наибольшем количестве. А именно, льняное, арахисовое и горчичное масло.

Чтобы уточнить найденные результаты, рассчитаны доли потери светопрозрачности древесных образцов после сушки (рисунок 3.10) [150]. На графике остается приблизительно та же картина, что и на предыдущем где после сушки образцов, доля потери светопропускаемости, в частности, образца с подсолнечным маслом оказалась в два раза меньше, чем у образца с ПЭГ.

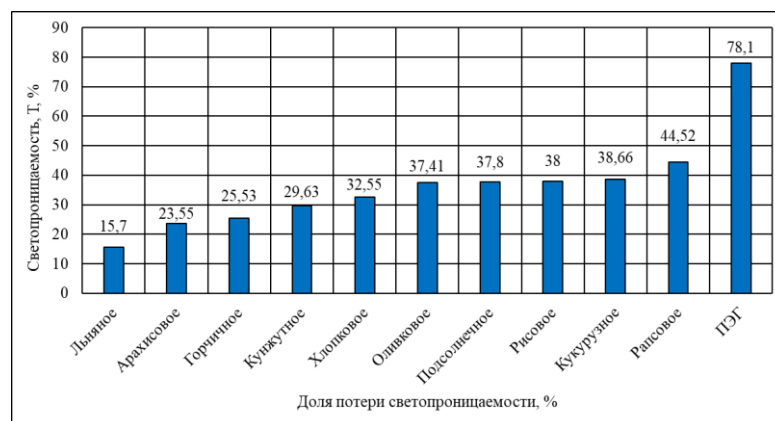


Рисунок 3.10 – Влияние растительных масел на светопропускание древесины

Установлено, что содержание растительных масел и ПЭГ влияют на светопрозрачность древесины, т.к. с увеличением содержания этих пропитывающих жидкостей в древесине, ее светопрозрачность растет и, напротив, с уменьшением их содержания, у нее светопропускание падает, поскольку процентное содержание масел и полиэтиленгликоля влияет на изменение показателя преломления древесины (рис. 3.9, 3.10).

Установлена также зависимость светопропускания древесных образцов от показателя преломления растительных масел в них (рисунок 3.11) [150, 159]. Светопрозрачность образцов неуклонно падает. Вызвано это тем, что чем больше показатель преломления и отражательная способность этих масел, тем светопропускаемость древесных образцов ниже (кривая 1), по кривой 2, спад

данной характеристики происходит также по причине оставшейся отражательной способности плюс понижения содержания масел в древесине после ее сушки из-за их постепенного испарения и выведения из органического целлюлозного материала. Из графика предлагается следующее, что для получения светопропускаемости древесины в пределах от 30 до 50 %, надо применять масла с коэффициентом преломления примерно не более 1,474 единицы. Показатель преломления масляно-скипидарной композиции, при соотношении 80, 85 и 90 % подсолнечного масла к 20, 15 и 10 % скипидара, составил 1,465, 1,468 и 1,471 соответственно, что отвечает вышеприведенному условию.

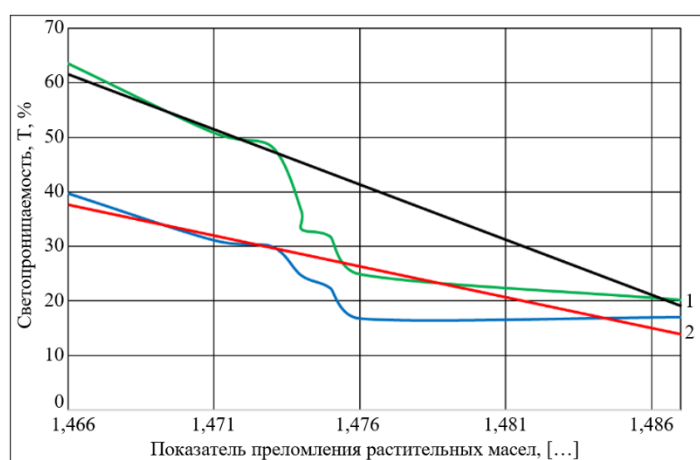


Рисунок 3.11 – Влияние показателя преломления растительных масел на светопропускание древесных образцов во влажном (1) и сухом (2) состоянии

Следует отметить, что среднее значение массы всех древесных образцов, после сушки, снизилось на 25–27 %. Связано это с тем, что при термопрогреве, растительное масло не полностью извлекалось при температуре 75–85 °С в течение 25–35 минут. По плотности, у всех образцов, данный показатель понизился в среднем на 230 кг/м³, по твердости – на 1,8 НА. Оценивая световые свойства, светопропускание древесных образцов увеличилась при их переходе из влажного состояния в сухое на 8–10 %, т.е. составила 90 %. При этом содержание масляно-скипидарной композиции было 38–40 %. Соответственно, по остальным фотометрическим величинам: освещенность повысилась в среднем на 56 лк; светимость на 56 лм/м²; сила света на 5 кд; яркость на 3 365 кд/м²; светопоглощение уменьшилось приблизительно на 10 %.

Сравнивая экспериментальные данные по светопропусканию инфильтрованных с термопрогревом образцов, после пропитки масляно-скипидарной композицией, с высушенными образцами предыдущих этапов (делигнификация, экстракция и дегидратация) зафиксирован рост светопропускания на 71, 67 и 62 % соответственно (таблица 3.8). Сопоставляя значения по этому показателю основных стадий – отбеливание и инфильтрация, светопропускная способность образцов повысилась с 20 до 90 %, а именно, на 70 %. Сопоставляя значения по этому показателю основных стадий – отбеливание и инфильтрация, светопропускная способность образцов повысилась с 20 до 90 %, а именно, на 70 %. Рассматривая древесные образцы во влажном состоянии по этим же этапам, их светопроницаемость выросла с 80 до 90%, т.е. на 10%.

Таким образом, инфильтрация древесины с термопрогревом способствует повышению и сохранению ее светопропускания, т.к. в процессе сушки идет достаточно активное окисление и, как следствие, высыхание с затвердеванием, за счет скипидара и растительного масла, что приводит к появлению прозрачной маслянистой пленки на внутренней поверхности сосудов и капилляров.

Чтобы обнаружить структурные изменения в объеме древесных образцов, проведены термомеханические исследования. Они являются одними из доступных физико-химических методов. Термомеханические исследования проводились методом измерения деформации одноосного сжатия под действием постоянно действующей нагрузки при условиях нагрева образцов с непрерывной скоростью в диапазоне температур от комнатной до + 300 °С. Для снятия термомеханических показателей, готовились образцы из химически обработанной древесины диаметром 6 мм и толщиной 2,5 мм. Величина сжимающей нагрузки на термомеханических весах академика В.А. Каргина составила 8,3 г/мм². Нагрев проводился со скоростью 3 градуса в минуту. Кривые строились по точкам, снятым с прибора [160].

Таблица 3.8 – Результаты эксперимента после стадии инфильтрации древесных образцов по физико-механическим и фотометрическим свойствам

№ образца	Масса, т, кг		Плотность, ρ , кг/м ³		Твердость, Н, НА		Е, лк		Т, %		А, %		М, лм/м ²		I, кд		L, кд/м ²	
	сух./влаж. сост.		сух./влаж. сост.		сух./влаж. сост.		сух./влаж. сост.		сух./влаж. сост.		сух./влаж. сост.		сух./влаж. сост.		сух./влаж. сост.		сух./влаж. сост.	
1	0,00290	0,00440	550	830	101,0	99,5	1090	1045	91	87	9	13	1090	1045	98	94	65400	62700
2	0,00300	0,00445	570	840	100,0	98,5	1068	1008	89	84	11	16	1068	1008	96	91	64080	60480
3	0,00350	0,00468	660	880	101,0	98,5	1101	1016	92	85	8	15	1101	1016	99	91	66060	60960
4	0,00325	0,00430	610	810	99,5	97,0	1070	1020	89	85	11	15	1070	1020	96	92	64200	61200
5	0,00315	0,00420	600	790	99,5	97,5	1104	1035	92	86	8	14	1104	1035	99	93	66240	62100
6	0,00332	0,00437	630	830	101,0	99,0	1100	1021	92	85	8	15	1100	1021	99	92	66000	61260
7	0,00328	0,00435	620	820	99,0	98,0	1065	1020	89	85	11	15	1065	1020	96	92	63900	61200
8	0,00340	0,00458	640	870	101,0	99,0	1077	1030	90	86	10	14	1077	1030	97	93	64620	61800
9	0,00308	0,00453	580	860	101,0	99,5	1098	1027	92	86	8	14	1098	1027	99	92	65880	61620
10	0,00310	0,00455	590	860	99,5	98,0	1058	1040	88	87	12	13	1058	1040	95	94	63480	62400
11	0,00321	0,00426	610	810	100,5	98,5	1083	1021	90	85	10	15	1083	1021	97	92	64980	61260
12	0,00348	0,00453	660	860	100,5	99,0	1090	1048	91	87	9	13	1090	1048	98	94	65400	62880
Мин	0,00290	0,00420	550	790	99,0	97,0	1058	1008	88	84	8	13	1058	1008	95	91	63480	60480
Срзнач	0,00320	0,00440	610	840	100,3	98,5	1084	1028	90	86	10	14	1084	1028	98	92	65020	61655
Макс	0,00350	0,00468	660	880	101,0	99,5	1104	1048	92	87	12	16	1104	1048	99	94	66240	62880

На рисунке 3.12 [150, 159] представлены термомеханические кривые древесных образцов, которые пропитаны масляно-скипидарной композицией из растительного масла и скипидара. В зависимости от характера пропиточной жидкости, для обработки древесины, термомеханическая кривая будет смещаться в сторону более низких или более высоких температур, отдаляясь от кривой не обработанной древесины, что может свидетельствовать о снижении ее качественных показателей или повышении термостойкости и, как следствие, улучшении физико-механических свойств. Образец, пропитанный растительным маслом, имеет повышенную деформацию, а термостойкость ограничивается на уровне 220 °С (кривая 1). Образцы, инфильтрованные растительным маслом со скипидаром, имеют меньшие значения деформации и более высокую термостойкость (кривые 2 и 3), что свидетельствует о лучшем проникновении жидкостей и химическом взаимодействии с внутренней поверхностью капилляров древесины. Древесные образцы, с растительным маслом и 15 % скипидара (кривая 4), имеют самые низкие показатели деформации, температурный переход в текучее состояние происходит после 250–260 °С, что говорит о высокой степени термостойкости и достаточно прочного связывания компонентов.

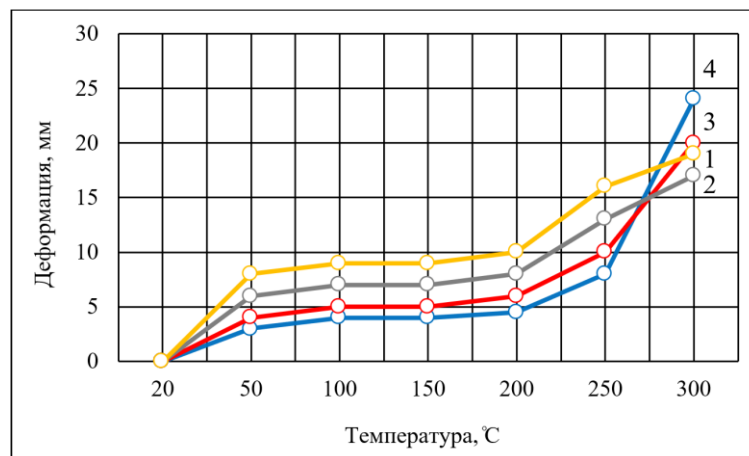


Рисунок 3.12 – Термомеханические кривые древесных образцов, пропитанных растительным маслом и скипидаром: 1 – без модификатора; 2 – с добавлением скипидара 5 %; 3 – то же, 10 %; 4 – то же, 15 %

На основании проведенных исследований сделан вывод, что при пропитке растительным маслом, модифицированным скипидаром, можно получить высокий результат светопропускания. Поэтому рекомендуется масляно-скипидарная

композиция из растительного масла с 10–20 % скипидара, обеспечивающая значительно лучшее светопропускание при достаточно низкой деформируемости и высокой термостойкости. Кукурузное или подсолнечное растительное масло, используемые в этом составе, считаются вполне доступными и широко распространенными продуктами, а скипидар также является недефицитным химическим продуктом, который хорошо сочетается как с маслом, так и с древесиной.

3.3 Оптимизация получения древесины с фотометрическими свойствами

Для применения отходов деревообработки в древобетоне с фотометрическими свойствами, разработана последовательность получения цельной и измельченной древесины светопропускающей.

Для обеспечения стабильных высоких результатов светопроницаемости древесины, от 85 до 92 %, разработана масляно-скипидарная композиция из растительного масла (80–90 %) и скипидара (10–20 %). Данная композиция имеет значительно меньшую условную вязкость (на 20–25 % меньше, чем у растительного масла) и пониженный показатель поверхностного натяжения (меньше на 6–8 %), что способствует ускорению прохождения ее через капилляры, лучшему показателю светопропускания и низкой деформативности по результатам термомеханических исследований. Используемые в этой композиции подсолнечное или кукурузное масло являются вполне доступными и широко распространенными продуктами, а скипидар также считается недефицитным химическим продуктом, хорошо совмещаемым как с маслом, так и с древесиной.

Основными компонентами древесины светопроницаемой являются:

- подсолнечное масло или кукурузное масло рафинированное дезодорированное;
- скипидар.

Ниже (таблица 3.9) представлен биохимический состав древесины и отходов деревообработки светопропускающих.

Таблица 3.9 – Характеристики пропиточных композиций

№ состава	Название	Плотность, ρ , кг/м ³	Условная вязкость, μ , с	Поверхностное натяжение, σ , мН/м
1	Подсолнечное масло и скипидар	896	13,97	49,6
2	Кукурузное масло и скипидар	895	14,87	49,9

Ниже приведен разработанный алгоритм получения цельной древесины оптически светопроницаемой в плане обрезков пиломатериалов и заготовок в общем виде (рисунок 3.13). По представленному алгоритму дается подробное описание каждого этапа [161].



Рисунок 3.13 – Алгоритм для получения цельной древесины оптически светопроницаемой

Подготовка.

Готовятся древесные образцы породы береза размером $0,3 \cdot 0,5 \cdot 0,003$ м, усредненной массой 0,0021 кг, плотностью равной 400 кг/м³.

Делигнификация (отбеливание).

- Устанавливаются древесные образцы в обойму пропиточной емкости и фиксируются прозрачными стеклами.
- Каждая емкость заполняется пероксидом водорода ($\omega_{\text{H}_2\text{O}_2} = 35 \%$) с водным раствором щелочного агента.
- Емкости с образцами помещаются под непрерывное УФ-излучение мощностью 48 Вт на 10 минут.
- Затем вливается следующая порция пероксида водорода по 4-5 раз через каждые 5 минут продолжении УФ-излучения древесные образцы. Отбеливание древесины проводится до 3 раз.

Проведение промежуточных этапов.

- Сушатся делигнифицированные образцы в сушильной камере при 100 °С в течение 1 часа, после чего процесс может быть продолжен.

Инфильтрация.

- Высушенные древесные образцы в кассетах и пропиточных емкостях подвергаются насыщению масляно-скипидарной композицией, которая готовится заранее. Смешивание растительного масла (подсолнечного или кукурузного) и скипидара происходит в течение 1,5 минут. Пропитываются данные образцы этой композицией, повышая уровень жидкости каждые 10 минут, после чего осуществляется их сушка в сушильной камере при 75–85 °С в течение 25–35 минут.

Вышепредставленный алгоритм для получения цельной древесины оптически светопроницаемой в виде обрезков пиломатериалов и заготовок, с одной стороны, имеет неоспоримые преимущества в виду сохранения текстуры и фактуры дерева, нет нужды в склейке ее отдельных частей, остается структура, устойчивость к раскалыванию, сохраняются формы и размеры, поперечное и продольное направление волокон, из-за чего примерно та же довольно высокая прочность, что и у естественной древесины. За счет оставшейся неповторимой текстуры, изделию придается определенная красота и индивидуальность. С др. стороны, т. к. отбеливание цельной древесины проводится до трех раз, следовательно, экстракция, дегидратация и сушка, после них, реализуется столько же раз. В связи с чем, у алгоритма получения имеются заметные недостатки:

довольно трудоемкий, материалоемкий и энергоемкий подход создания цельной древесины оптически светопроницаемой по причине достаточно высоких расходов на нее реагентов: пергидроль до 0,74 кг, водного раствора щелочного агента до 0,63 кг, щелочного агента до 0,03 кг, воды, при экстрагировании, до 0,6 кг, этанола до 0,48 кг и отбеливающего раствора до 1,37 кг; многостадийность (12 стадий); многократность ее обработки: делигнификация, экстракция и дегидратация до 3 раз, сушка до 3 раз после каждого этапа, кроме инфильтрации (1 раз); затратность времени: делигнифицирование до 105 минут, экстрагирование и дегидратирование по 60 минут, инфильтрация 70 минут, сушка до 570 минут, приготовление делигнифицирующего раствора примерно от 0,5 до 1 минуты (в производственных условиях), масляно-скипидарной композиции от 1 до 2 минут. Весь алгоритм получения, в чистое время, занимает, не учитывая промежуточные процессы: подготовка, установка, фиксация и дальнейшее извлечение древесных образцов, в среднем, до 600–800 минут.

Внедрение и применение в практике последовательности для получения цельной древесины оптически светопропускающей в виде обрезков пиломатериалов и заготовок, затем ее дальнейший перевод в отходы деревообработки светопропускаемые (древесную дробленку), видится несколько затруднительным, по крайней мере, с точки зрения техничности и технологичности.

Предлагается настоящий прорыв в оптимизации получения древесины с фотометрическими свойствами, заключающийся в следующем:

Подготовка.

– Готовится естественная цельная древесина в виде обрезков пиломатериалов и заготовок.

Дробление.

– Дробление цельной древесины осуществляется за 1–2 минуты.

Делигнификация (отбеливание).

— Пропитывается древесная дробленка фракции 10–20 мм отбеливающим раствором за 30–35 минут (однократное отбеливание). Состав отбеливающего раствора: щелочной агент, пероксид водорода и вода.

Проведение промежуточных этапов.

— Сушится отбеленная дробленка в сушильной камере при 100 °С в течение 1 часа.

— Промывается дробленка водой в течение 20–30 минут.

— Сушится экстрагированная дробленка в сушильной камере при 100 °С в течение 1 часа.

Инфильтрация.

— Готовится масляно-скипидарная композиция смешиванием растительного масла (подсолнечного или кукурузного) и скипидара в течение 1,5 минут. Пропитывается дробленка этой композицией в течение 40–45 минут. Сушится инфильтрованная дробленка в сушильной камере при 75–85 °С в течение 25–35 минут.

Последовательность получения дробленки светопропускающей фракции 10–20 мм приведена на рисунке 3.14. Данный алгоритм позволяет изготовить эту дробленку, обеспечивающую наибольшие значения по физико-механическим и фотометрическим свойствам.



Рисунок 3.14 – Алгоритм для получения древесной дробленки светопропускающей фракции 10–20 мм

Для ускорения получения дробленки светопроницаемой при той же последовательности могут быть снижены размеры частиц до фракций 5-10 мм. Алгоритм получения этой дробленки представлен на рисунке 3.15.



Рисунок 3.15 – Алгоритм для получения древесной дробленки светопропускающей фракции 5-10 мм

Алгоритм для получения дробленки светопропускаемой фракции 3-5 мм приведен на рисунке 3.16.



Рисунок 3.16 – Алгоритм для получения древесной дробленки светопропускающей фракции 3-5 мм

В таблице 3.10 представлен сравнительный анализ последовательностей для получения цельной древесины оптически светопроницаемой (алгоритм 1) и дробленки светопропускающей фракций 3-5, 5-10, 10-20 мм (алгоритмы 2, 3 и 4).

Таблица 3.10 – Сравнение последовательностей для получения цельной древесины и дробленки светопроницаемых

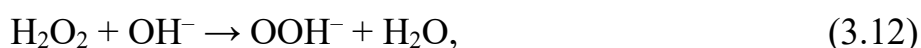
Аспекты алгоритма получения	Алгоритм получения			
	1	2	3	4
Количество раз технологической операции, шт.:				
– отбеливание:	3	1	1	1
– экстракция:	3	1	1	1
– дегидратация:	3	–	–	–
– инфильтрация:	3	1	1	1
– сушка:	1	1	1	1
Затраты времени технологической операции, мин:				
– отбеливание:	105	30–35 (32,5)	20–25 (22)	10–15 (12,5)
– экстракция:	60	30	20	10
– дегидратация:	60	–	–	–
– инфильтрация:	70	40	30	20
– сушка:	570	150	150	150
– приготовление отбеливающего раствора:	0,75	0,75	0,75	0,75
– приготовление масляно-скипидарной композиции:	1,5	1,5	1,5	1,5
– измельчение цельной естественной древесины:	–	1,5	1,5	1,5
Расход реагентов, кг:				
– вода:	0,6	0,3	0,3	0,3
– перекись водорода:	0,74	0,25	0,25	0,25
– щелочной агент:	0,03	0,0095	0,0095	0,0095
– водный раствор щелочного агента:	0,63	0,21	0,21	0,21
– отбеливающий раствор:	1,37	0,46	0,46	0,46
– этанол:	0,48	–	–	–
– масляно-скипидарная композиция:	0,16	0,16	0,16	0,16
Затраты времени на алгоритм получения, мин:	867	256	226	196

По таблице 3.4, сравнивая алгоритм изготовления 1 со 2, 3 и 4, результатом оптимизации получения древесины с фотометрическими свойствами считается: уменьшение количества стадий алгоритмов 2, 3 и 4 с 12 до 9; сокращение числа отбеливания в 3 раза; сушки в 3 раза; сокращение времени отбеливания в 3, 5 и 8 раз; экстракции в 2, 3 и 6 раз; инфильтрации в 2–3,5 раза; сушки в 4 раза и всего алгоритма 2 – в 3 раза, 3 и 4 – в 4 раза соответственно (с и без учета времени на

дегидратацию алгоритма 1); сокращение расхода реагентов: воды в 2 раза; перекиси водорода, щелочного агента, водного раствора щелочного агента и отбеливающего раствора в 3 раза соответственно. Общее время на алгоритм получения 4, в сравнении со 2 и 3, сокращено на 30 и 60 минут. Однако, для большего снижения расхода пероксида водорода, и, следовательно, отбеливающего раствора, рекомендуется использование стабилизаторов и хелаторов, в частности, (например, 3 % мас.) силиката натрия, (допустим, 0,1 % мас.) сульфата магния и (в пример, 0,1 % мас.) ДТПА (противоядие плутония) [153]. Также, рекомендуемые вещества, в отбеливающем растворе, способствуют минимизации или устранению загрязнения окружающей среды. Данный подход считается экологически безвредным процессом с возможностью масштабирования цельной древесины и отходов деревообработки светопроницаемых до промышленного масштаба.

Чтобы разобраться с тем, какие процессы протекают в древесине, во время ее обработки, рассмотрим детальнее каждый из них.

На этапе отбеливания, при пропитке древесины делигнифицирующим раствором, он проникает в ее гетерокапиллярную структуру, такие как сосуды, мелкие и крупные капилляры, сердцевинные лучи, ранние трахеиды (если древесина молодая), сосудистые трахеиды (расположены между трахеидами и сосудами), простые и окаймленные поры. Вначале, отбеливающий раствор проходит в лучевые клетки и затем попадает через мембраны пор в полости иных клеток. Далее, он контактирует со вторичной стенкой, потом с первичной и, в последнюю очередь, со срединной пластинкой и вызывает делигнифицирование данных слоев клеточной стенки древесины. Наличие в делигнифицирующем растворе перекиси водорода, она формирует гидропероксид-ионы по формуле (3.12), благодаря чему пероксид водорода обретает белящее действие на древесину, за счет чего древесные образцы уже на первых минутах отбеливания постепенно приобретают белый цвет [85]:



где H_2O_2 – пероксид водорода; OH^- – гидроксильный ион; OOH^- – гидропероксид-ион; H_2O – вода.

После хранения образцов, важно провести сушку над ними для удаления влаги из них. В противном случае, высушивание их в естественных условиях, во-первых, займет более длительное время на данный этап, во-вторых, не гарантирует сто процентного испарения воды и может повлиять на качество реализации следующего этапа.

В процессе инфильтрации древесины масляно-скипидарной композицией на основе подсолнечного или кукурузного масла (80–90 %) и скипидара (10–20 %), происходит взаимное проникновение, т.е. диффузия этой композиции в клеточные стенки древесины и структуру остаточного лигнина благодаря скипидару, который способствует проявлению реакции связывания. А за счет достаточно глубокого и лучшего проникновения данной композиции в древесину, при ее меньшей условной вязкости и поверхностном натяжении, чем у растительного масла без модификатора, обеспечивается высокое светопропускание древесных образцов, равное 85-90% в сочетании с довольно низким светопоглощением – 10-15 % (рисунок 3.13).

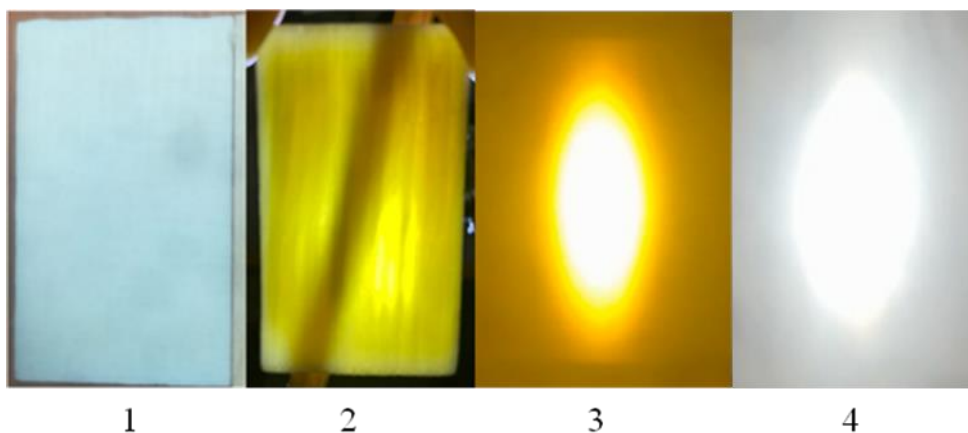


Рисунок 3.13 – Светопропускание древесных образцов: 1 – контрольный; 2 и 3 – инфильтрованные растительным маслом; 4 – оптически светопроницаемый пропитанный масляно-скипидарной композицией из растительного масла и скипидара ($T = 90 \%$)

Заключительный этап – сушка инфильтрованных древесных образцов. В период высушивания происходит контакт растительных масел с кислородом воздуха и скипидаром. При этом ускоряются процессы окисления и испарения, вследствие чего растительные масла уменьшаются в объеме. При термообработке

растительное масло со скипидаром может переходить к эпоксидированию, образуя прочную прозрачную тонкую пленку, устойчивую к светопропусканию во времени, что обеспечивает сохранению и повышению ее фотометрических свойств.

В результате получилась древесина оптически светопроницаемая с усредненными значениями освещенности, светопроницаемости, светопоглощения, светимости, силы света и яркости представленные в таблице 3.11.

Таблица 3.11 – Физико-механические и фотометрические свойства цельной древесины оптически светопроницаемой

Состояние	Физико-механические свойства			Фотометрические свойства					
	Масса, m, кг	Плотность, ρ , кг/м ³	Твердость, НА	E, лк	T, %	A, %	M, лм/м ²	I, кд	L, кд/м ²
Сухое	0,00320	610	100,3	1084	90	10	1084	98	65 020
Влажное	0,00440	840	98,5	1028	86	14	1028	92	61 655

На основе разработанной масляно-скипидарной композиции, состоящей из растительного масла (80–90 %) и скипидара (10–20 %), имеющей значительно меньшую условную вязкость (на 20–25 % меньше, чем у растительного масла) и пониженный показатель поверхностного натяжения (меньше на 6–8 %), в целом, достигнуты стабильные высокие результаты светопроницаемости древесины в сухом и влажном инфильтрованном состоянии, от 84 до 92 %. В т.ч., получены достаточно высокие результаты по остальным фотометрическим характеристикам: освещенность 1 008–1 104 лк, светимость 1 008–1 104 лм / м², сила света 91–99 кд и яркость 60 480–66 240 кд / м². Светопоглощение составило минимальное значение, равное 15–8 %. Твердость, как одна из важнейших физико-механических характеристик древесины, осталась на достаточно высоком уровне и составила от 97 до 101 НА.

3.4 Оптимизация состава декоративного бетона светопроницаемого на древесном заполнителе

Внедрение в практику проектирования и строительства древесины и древобетона светопроницаемых на её основе открывает новые горизонты для архитекторов, проектировщиков дизайнеров и строителей. Известно, что данный технологический прием позволяет утилизировать крупнотоннажные кусковые отходы лесопиления, которых ежегодно образуются примерно 100 тысяч м³ и в основном они сжигаются или выбрасываются в отвалы. Открывающиеся новые направления применения древобетона хорошо согласуется с курсом страны на экономию ресурсов в строительстве. Древобетон светопропускающий дает возможность осуществить ранее недоступные дизайнерские замыслы и решения по оформлению интерьеров и экстерьеров зданий и сооружений. Значимым вопросом получения качественного древобетона являются оптимальные рецептурно-технологические параметры формирования такого материала [162, 163], что вероятно при тщательном подборе состава с наиболее плотной упаковкой органического заполнителя. Для этого есть различные методы и формулы по формированию композиционных материалов с различной степенью дисперсности, что, реализуется на начальном этапе расчета состава декоративного бетона [162, 163].

Математические модели, широко используемые для улучшения рецептур и получения максимально плотной структуры разных строительных композитов, дают возможность принять наилучшее соотношение составляющих – заполнителей, наполнителей и вяжущего. Наиболее распространенной считается трехмерная объемная модель с тремя фракциями, в которой заполнение единичного объема между отдельными гранулами происходит посредством частиц меньшей гранулометрии. На практике такие смеси могут быть представлены набором компонентов бетонов: щебнем, песком и наполнителем (добавкой) с минеральным или органическим связующим, заполняющим оставшееся свободное пространство [162].

Главная задача при проектировании составов из дисперсных структур – поиск оптимального соотношения размеров фракций и создание максимальной упаковки заполнителем объема изделия, а именно, обеспечение минимального расхода связующего в процессе обеспечения обволакивания связующим всех зерен каждой фракции.

Известно, что наиболее плотная упаковка дисперсных частиц для одного фракционного состава в заданном объеме может составлять от 0,52 до 0,74, тогда как пустотность будет в пределах от 0,26 до 0,48. Если принять средние значения, то это будет соответственно 0,63 и 0,37. Следовательно, на такую часть объема следует рассчитывать суммарно расход средней и мелкой фракций заполнителя с учетом раздвижки зёрен, принимаемым для легких бетонов, а именно, древобетона. Данный подход позволяет рассчитать удельную поверхность заполнителей, приходящуюся на единичный объем древобетона, определять ориентировочный (теоретический) расход вяжущего и сопоставить с практическим (экспериментальным) расходом связующего в древобетонной смеси [162]. В качестве древесного заполнителя для древобетона использована дроблёнка трёх фракций: менее 5 мм, 5-10 мм и 10-20 мм. В виду того, что фракция размером менее 5 мм имела очень много мелких частиц (более 65 % размером до 0,1 мм), имеющих повышенную впитываемость от масляно-скипидарной композиции, производился рассев с оставлением частиц в пределах 3-5 мм. На рисунке 3.14 представлен внешний вид древесного светопроницаемого заполнителя.



Рисунок 3.14 – Древесный отбеленный заполнитель
разного гранулометрического состава для декоративного бетона:

1 – 3-5 мм; 2 – 5-10 мм; 3 – 10-20 мм

Для теоретического расчета вяжущего использовалась формула [163], по которой рассчитывалась толщина пленки связующего в зависимости от массы, условной вязкости и плотности композиции с учетом удельной поверхности заполнителя. Суммарный расход вяжущего состава определен по формуле (3.13) [163]:

$$G_{\text{связ.}} = (S_3 \cdot m_3 \cdot \rho_{\text{св}} \cdot \delta \cdot \eta_{\text{усл}}) \cdot 10^{-3}, \quad (3.13)$$

где $G_{\text{связ.}}$ – оптимальный расход жидкого стекла, кг; S_3 – удельная поверхность заполнителя, $\text{м}^2/\text{кг}$; m_3 – масса заполнителя, кг; $\rho_{\text{св}}$ – плотность связующего, $\text{кг}/\text{м}^3$; δ – толщина пленки связующего (0,00025-0,00035 см); $\eta_{\text{усл}}$ – условная вязкость связующего по вискозиметру ВЗ-4, с.

Рассчитав по выше приведенной формуле расход вяжущего (жидкого стекла), получаем среднее соотношение между ним и подготовленной древесиной светопропускаемой в пределах 1:1,5-1:2,0 по массе. Таким образом, оптимальный расход, в частности, натриевого жидкого стекла для древобетона принят в пределах 270-320 $\text{кг}/\text{м}^3$, что обеспечивало полный охват поверхности всех частиц древесного заполнителя жидким связующим. Далее, проведено улучшение состава декоративного бетона с древесным светопропускающим заполнителем путем проведения полного двухфакторного эксперимента (тип 2^n) с оставлением неизменными величины основных технологических параметров. При этом каждый из изменяемых факторов (расход жидкого стекла и органического заполнителя) принимал два уровня значений – верхний и нижний. При полнофакторном эксперименте рассматривается зависимость функции (отклика) – Y от n – переменных $X_1, X_2, \dots, X_n$ факторов, т.е. $Y = f(X_1, X_2, \dots, X_n)$. Условия проведения полного двухфакторного эксперимента (тип 2^n) представлены в таблице 3.6.

Таблица 3.6 – Условия проведения полного двухфакторного эксперимента (тип 2ⁿ)

№ опыта	Матрица планирования				Результаты эксперимента Y_i
	X_0	X_1	X_2	X_3	
1	+	+	+	+	Y_1
2	+	+	-	-	Y_2
3	+	-	+	-	Y_3
4	+	-	-	+	Y_4
	b_0	b_1	b_2	b_3	

Для построения матрицы математического планирования экспериментов принято следующее кодирование факторов: на верхнем уровне значение фактора равно +1, на нижнем – -1, или «+» и «-». Условия проведения полного факторного эксперимента для двух изменяемых факторов с выполнением всех возможных сочетаний на их верхних и нижних уровнях представлены в таблице 3.7.

Для анализа взаимосвязи минимальное и достаточное число опытов (N) должно быть равно $N = 2^n$. В результате проведения экспериментов по поиску оптимального состава древобетона с древесным светопропускаемым заполнителем получены результаты, приведенные в таблице 3.7. Рассчитаны и оптимизированы составы древобетона с данным заполнителем как для класса легкого бетона В5,0. Условия проведения эксперимента и оптимизации по теплофизическим параметрам сведены в таблице 3.7. Количество жидкого стекла принято в виде среднего показателя – 295 кг/м³.

В качестве независимых переменных (факторов варьирования) приняты:

- X_1 – расход крупной фракции заполнителя (K), кг/м³ в смеси;
- X_2 – структурный фактор (S);
- X_3 – расход древесной массы (крупной и средней фракций) заполнителя в смеси (З).

Структурный фактор (S) определяется по формуле (3.14):

$$S = M : (Z + C + K), \quad (3.14)$$

где M – доля мелкой фракции; C – доля средней фракции; K – доля крупной фракции заполнителя; X_3 – расход древесной массы (крупной и средней фракций) заполнителя в смеси (З).

Таблица 3.7 – Условия оптимизации состава по плотности древобетона

Наименование фактора	Условное обозначение	Среднее значение фактора, X_i	Интервал ΔX_i	Значения фактора	
				+1	-1
Содержание древесного заполнителя, кг/м ³	X_1	375	50	425	325
Структурный фактор, [...]	X_2	0,30	0,05	0,35	0,25
Объёмное содержание древесной массы в смеси, %	X_3	0,6	0,1	0,7	0,5

Мелкая фракция (М), т.е. частицы размером менее 5 мм, представлена древесной дроблёнкой или силикагелем со средним значением от 3 до 5 мм. Ниже, в таблице 3.7, приводится матрица уровней варьирования факторов декоративного бетона.

Результаты испытаний при оптимизации составов древобетона по степени заполнения объема древесным заполнителем, интерпретированным через плотность материала, при обеспечении заданного минимального уровня его прочности с заполнителем позволили получить следующие значения (таблица 3.8).

Таблица 3.8 – Результаты эксперимента

№ п/п	Значение плотности, кг/м ³				Y_i
	X_0	X_1	X_2	X_3	
1	882	901	887	873	Y_1
2	837	868	841	859	Y_2
3	803	794	785	788	Y_3
4	758	732	774	725	Y_4

Вычисление коэффициентов уравнения регрессии проводится по ранее описанным формулам:

$$b_0 = \frac{1}{4} \cdot (882 + 901 + 887 + 873) = 885,75;$$

$$b_1 = \frac{1}{4} \cdot (837 + 868 - 841 - 859) = 1,25;$$

$$b_2 = \frac{1}{4} \cdot (803 - 794 + 785 - 788) = 1,50;$$

$$b_3 = \frac{1}{4} \cdot (758 - 732 - 774 + 725) = -5,75.$$

Уравнение регрессии, отражающее зависимость плотности древобетона от содержания древесного заполнителя и соотношения органической и минеральной фазы имеет следующий вид (3.15):

$$Y = 885,75 + 1,25 \cdot X_1 + 1,50 \cdot X_2 - 5,75 \cdot X_3, \quad (3.15)$$

где X_1 – расход древесного светопропускаемого заполнителя, кг/м³; X_2 – структурный фактор, т.е. относительное объемное содержание мелкой фракции в смеси [...]; X_3 – объёмное содержание древесной массы в смеси, %.

Аналогичным образом проведены эксперименты по получению уравнения регрессии прочности получаемого древобетона. Основная задача – оптимизация состава, т.е. создание материала с прочностью не ниже 5,0 МПа и плотностью не более 900 кг/м³ при минимальном расходе жидкого стекла. Уравнение регрессии представлено в виде равенства (3.16):

$$5,0 = 4,32 + 1,79 \cdot X_1 - 0,87 \cdot X_2 - 0,31 \cdot X_3, \quad (3.16)$$

где в данном уравнении:

- X_1 – расход жидкого стекла, кг/м³;
- X_2 – расход крупного древесного заполнителя, кг/м³.

Сделав преобразования для выражения X_1 как функции от X_2 , записывается формула (3.17):

$$0,68 + 0,87 X_1 = X_1 \cdot (1,79 - 0,31 \cdot X_2) \quad (3.17)$$

или (3.18):

$$0,68 + 0,87 \cdot X_2 : X_1 = 1,79 - 0,31 \quad (3.18)$$

Далее, находится производная функции X_1 от аргумента X_2 по формуле (3.19):

$$0,87 \cdot (1,79 - 0,31 \cdot X_2) - 0,31 \cdot (0,68 + 0,87 \cdot X_2) \cdot X_1 = (0,68 - 0,31 \cdot X_2)^2 \quad (3.19)$$

При экстремальном значении функции X_1 производная становится равной нулю, соответственно, подставив в предыдущее уравнение вместо X_1 «ноль», можно решить уравнение относительно X_2 . В результате преобразования находится из квадратного уравнения значение $X_2 : X_2 = 4,2$, что может быть при $X_1 = 0$, и, значит, X_1 принимает минимальное значение. Затем, с учетом численного значения X_2 в точке оптимума, вычисляется оптимальное значение $X_1 = 3,1$.

По данным планирования эксперимента найдено оптимальное соотношение компонентов исследуемых древобетонных смесей для требуемой прочности 5,0 МПа: связующего 310 кг и крупного древесного заполнителя светопроницаемого

420 кг, равное 3,1 / 4,2, что обеспечивает требуемую прочность при минимальном расходе минерального вяжущего вещества.

При проведении испытаний древобетонных образцов светопропускающих на огнестойкость, оценивались такие показатели как горючесть, воспламеняемость, дымообразование и токсичность продуктов горения. Данные испытания показали следующие результаты: при температуре 300–350 °С никаких изменений не обнаружено. При температуре 650–700 °С происходят возгорания внешних слоев под действием огня. При температуре 850–900 °С отмечено обугливание поверхности, а при удалении огня зафиксировано самозатухание с продолжительностью самостоятельного горения 0 секунд, температуре дымовых газов ≤ 135 °С, степенью повреждения по длине и массе ≤ 65 % и ≤ 20 % соответственно, горение не наблюдается согласно таблице 1 ГОСТ 30244-94.

Следовательно, при установленной группе горючести Г1, на древобетонные образцы светопропускающие оказывалась начальная поверхностная плотность теплового потока (ППТП) в 30 кВт/м² в течение 15 минут. По истечении данного времени, у образцов воспламенение отсутствует. При ППТП равное 40 кВт/м² воспламенение не обнаружено, но есть возгорания внешних слоев. При ППТП в 50 кВт/м² с первых нескольких секунд, из заданных 15 минут, происходит заметное воспламенение внешних слоев образцов, вспучивание (вспенивание) связующего с образованием пористого слоя неорганической пены. Следовательно, критическая поверхностная плотность теплового потока (КППТП) оказалась равной в 50 кВт/м². В соответствии с таблицей 1 ГОСТ 30402-96, где КППТП 35 кВт/м² и более, группа воспламеняемости образцов древобетонных светопропускаемых В1 (трудновоспламеняемый).

Коэффициент дымообразования (D_m) образцов определялся через их испытание в двух режимах – тления (360 ± 20 м² · кг⁻¹) и горения (360 ± 20 м² · кг⁻¹) с применением газовой горелки. Плотность теплового потока равнялась 35 кВт · м⁻². При испытании в режиме тления самовоспламенения древобетонных образцов не обнаруживалось. В результате, коэффициент дымообразования составил менее 50 м² · кг⁻¹, в соответствии с пунктом 2.14.2 ГОСТ 12.1.044-89 образцы

древобетонные светопроницаемые относятся к группе с малой дымообразующей способностью (Д1). По показателю токсичности продуктов горения древобетон светопропускающий относится к классу малоопасных материалов – Т1 по пункту 2.16.2 таблицы 2 ГОСТ 12.1.044-89.

В соответствии с вышеопределенными показателями пожарной безопасности, древобетон светопропускаемый имеет предел огнестойкости от 45 до 90 минут.

Определение регрессионной зависимости с назначенными условиями эксперимента и принятым планом проведения обработки полученных данных позволили выявить степень влияния отдельных факторов при обработке результатов испытаний. Полученные полиномиальные уравнения второго порядка по плотности и прочности древобетона и модели двухфакторного эксперимента по рецептурным параметрам оценены по средним значениям опытов, дисперсии (критерию Кохрена), адекватности модели (критерию Фишера) с учетом результатов проверки значимости коэффициентов уравнения регрессии. Физико-химические методы исследований древобетона светопропускающего подтвердили высокое качество и стойкость разработанного инновационного материала эксплуатационным воздействиям [162].

Выводы по главе 3

1. Сконструирована установка для определения фотометрических свойств древесины и декоративного бетона светопропускаемых.
2. Установлено, что с каждым последующим отбеливанием древесины, ее светопроницаемость, в сухом состоянии, увеличивается в среднем от 9 до 21 % и во влажном состоянии от 30 до 82 %. С одной стороны, светопропускаемость образцов древесины в сухом и влажном отбеленном состоянии неуклонно растет в среднем на 6 и 20–30 % соответственно. Темпы роста светопропускания образцов в обоих состояниях, после каждого отбеливания, понижались по сравнению с предыдущими. Примерно та же закономерность отмечена у остальных фотометрических показателей древесины.

3. Экспериментально установлено, что с увеличением показателя преломления и поверхностного натяжения органических растворителей светопроницаемость древесины падает. По результатам термомеханических исследований определено, что наибольшие потери по данному показателю у древесных образцов, пропитанных этанолом, ацетоном и скипидаром.

4. Экспериментально подтверждено повышение светопроницаемости древесины с понижением условной вязкости и поверхностного натяжения масляно-скипидарной композиции из растительного масла (80–90 %) и скипидара (10–20 %).

5. Экспериментально доказана зависимость светопроницаемости древесины от поверхностного натяжения растительных масел. Наименьшие значения светопропускаемости отмечены у древесных образцов, пропитанных льняным (89,2 мН/м), хлопковым (86,8 мН/м) и горчичным (82,6 мН/м) маслами. Наибольшие значения светопроницаемости образцов древесины зафиксированы при пропитке их подсолнечным (54 мН/м), кукурузным (54 мН/м) и оливковым (51,60 мН/м) маслами соответственно.

6. На основании термомеханических исследований установлено, что наибольшие абсолютные потери светопропускаемости обнаружены у древесных образцов, пропитанных рисовым (11,18 %), рапсовым (16,24 %), подсолнечным (18,24 %), кукурузным (19,65 %), оливковым (23,76 %) маслами, а также ПЭГ (41,53 %). Наименьшие абсолютные потери данного показателя качества у образцов древесины, инфильтрованных льняным (3,18 %), арахисовым (6,71 %), хлопковым (8,12 %), горчичным (8,47 %) и кунжутным (9,41 %) маслами соответственно.

7. Установлен характер влияния показателя преломления растительных масел на светопроницаемость древесины. С увеличением данного показателя, ее светопропускаемость неуклонно падает, и, наоборот, с уменьшением – возрастает.

8. Экспериментально подтверждено, что у образцов древесины в инфильтрованном с термопрогревом состоянии, обеспечивается оптическая светопроницаемость в усредненном значении 90 % при 38–40 % масляно-скипидарной композиции. В максимальных значениях, она составляет 92 % при 50–52 % этой же композиции.

9. При сравнении инфильтрованных с термопрогревом образцов, после пропитки масляно-скипидарной композицией, с высушенными отбеленными, экстрагированными и дегидратированными образцами, зафиксирован рост светопропускания на 71, 67 и 62 % соответственно. По основным химическим этапам, отбеливанию и инфильтрации, светопропускаемость образцов в сухом состоянии увеличилась с 20 до 90 %, а именно, на 70 %.

10. Установлено, что пропитанные растительным маслом с 15 % скипидара древесные образцы, имеют низкую деформацию, а температурный переход в деструктивное состояние происходит после 260 °С, что свидетельствует о высокой степени термостойкости и достаточно прочному связыванию компонентов.

11. Разработаны алгоритмы для получения цельной и измельченной древесины светопроницаемой, по результатам которых оптимизирована последовательность изготовления древесины с фотометрическими свойствами: количество стадий в алгоритмах 2, 3 и 4 уменьшено с 12 до 9; сокращено число отбеливания и сушки в 3 раза; времени отбеливания в 3,5 и 8 раз; экстракции в 2, 3 и 6 раз; инфильтрации в 2–3,5 раза; высушивания в 4 раза и всех алгоритмов 2, 3 и 4 в сравнении с 1 – в 3 и 4 раза (без учета времени на дегидратацию технологии); сокращены расходы реагентов: воды в 2 раза, пероксида водорода, щелочного агента, водного раствора щелочного агента и отбеливающего раствора по 3 раза, соответственно. Общее время на технологию 4, в сравнении со 2 и 3, сокращено на 30 и 60 минут.

12. Установлено, что после пропитывания древесины разработанной масляно-скипидарной композицией, достигнута светопроницаемость 84–92 %, освещенность 1 008–1 104 лк, светимость 1 008–1 104 лм / м², сила света 91–99 кд, яркость 60 480–66 240 кд / м² и светопоглощение 15–8 % соответственно.

13. Получены уравнения регрессии, описывающие взаимосвязь между компонентами древобетонной смеси. Найдено оптимальное соотношение компонентов исследуемых древобетонных смесей для требуемой прочности 5,0 МПа: связующего 310 кг и крупного древесного светопропускаемого заполнителя

420 кг, равное 3,1 / 4,2, что обеспечивает требуемую прочность при минимальном расходе минерального вяжущего вещества.

14. По результатам испытаний древобетона светопропускаемого, по показателям пожарной безопасности, группа горючести Г1, воспламеняемости В1, дымообразующей способности Д1 и классу опасности по токсичности продуктов горения Т1. Предел огнестойкости от 45 до 90 минут.

ГЛАВА 4. ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В ДЕКОРАТИВНОМ БЕТОНЕ С ФОТОМЕТРИЧЕСКИМИ СВОЙСТВАМИ

4.1 Физико-химические процессы при делигнифицировании древесины

Последние годы наукой и практикой разработаны разные варианты делигнификации древесины, что дает возможность использовать её в новых ранее не применяемых конструкциях, в т.ч. при оформлении интерьеров объектов различного назначения. Внедрение светопроницаемой древесины позволяет эффективно утилизировать кусковые отходы деревообработки и открывает интересные направления в архитектурно-декоративном оформлении зданий при их строительстве и ремонте, а также в дизайнерских проектах. Рассмотрено влияние технологических факторов при обработке древесины на физико-химические свойства делигнифицированного органического материала. Установлены закономерности отражения и поглощения электронных спектров в широком диапазоне 380–770 нм, что позволило определить последовательность обработки образцов древесины для дальнейших исследований их свойств. Представлены результаты фотоэлектроколориметрических и спектральных исследований, которые дают полное представление о рациональности выбранных режимов обработки древесных материалов и обеспечения светопропускания [139].

Декоративные бетоны с эффектом светопропускания получили в последнее время широкое распространение в современном строительстве, обеспечивающие эстетичность, выразительность, декоративность, подчеркивающие облик объектов, располагающие к отдыху и творчеству. Широкие архитектурно-декоративные возможности таких бетонов определяются разнообразием интерьеров зданий, создаваемых архитекторами и дизайнерами. Возможным решением задачи повышения эффективности декоративных бетонов и изделий на их основе может стать комплексное применение светопрозрачных заполнителей, модифицирующих добавок, композиций и ранее неиспользуемых отходов растительного происхождения. Увеличить возможности применения данных бетонов и повысить их показатели качества можно внедрением отходов деревообработки

светопропускающих из древесины светопроницаемой. Однако, для широкого внедрения такого материала требуются комплексные исследования по отработке рецептурно-технологических режимов обработки и сохранении полученных свойств во времени. Учитывая экологичность и эстетичность древесины, а также возобновляемость в природе, можно считать, что древобетон с заполнителем из древесины светопропускаемой может иметь широкие перспективы для применения в современном строительстве [12, 139].

В работе использовались березовые и осиновые кусковые отходы деревообработки, из которых готовились образцы размерами $0,05 \cdot 0,03 \cdot 0,005$ м. Они проходили сушку, делигнификацию; пропитывались водой, этиловым спиртом, масляно-скипидарными композициями и окончательно высушивались, т.е. были подготовлены для дальнейших исследований [80-82, 86, 139, 143].

Характеристики индикаторных растворов для изучения адсорбции древесных образцов к нейтральным растворам определялись с помощью фотометра КФК-3–«ЗОМЗ» [141]. В качестве красителя использовался метиленовый синий ($C_{16}H_{18}N_3Cl \cdot 3H_2O$) выбранный из нескольких разных наиболее распространенных красящих веществ (конго красный, родамин 6Ж, родамин С, метиленовый синий и метиловый фиолетовый). Древесные образцы измельчались до фракций 1-2 мм и навески материалов по 1 грамму (в трех параллелях) встряхивались в течение 15 минут в 20 мл раствора красителя; после выдержки в течение суток; осуществлялся отбор раствора по 10 мл в стандартную кювету фотоэлектроколориметра для определения коэффициента пропускания. Показания о силе света, проходящего через кюветы с исследуемым и контрольным раствором, фиксировались на электронном табло в виде процентного содержания красителя в растворах, что соответствовало плотности красящей композиции после пребывания в ней древесных образцов [139, 164-167].

Образцы в виде порошка помещали в кварцевую кювету с длиной оптического пути 2 мм. Спектры регистрировали относительно стандарта отражения – $BaSO_4$ в диапазоне 190-900 нм. Полученные коэффициенты отражения

переводили в коэффициенты поглощения. Конечные данные ЭСДО представлены в координатах: функция Кубелки-Мунка, $F(R)$ – длина волны [139, 167-170].

На всех этапах исследований для каждой партии образцов фиксировались их физико-механические свойства, а также проводилось определение светопропускания образцов на специально разработанном устройстве для определения прозрачности материалов, сконструированном авторами (патент РФ № 2791849) [139, 143].

Принцип измерения коэффициента пропускания, состоит в сравнении светового потока Φ_0 , прошедшего через кювету с контрольной жидкостью, со световым потоком Φ , прошедшего через кювету с исследуемой жидкостью. Определяется отношение данных световых потоков. Коэффициент пропускания τ рассчитывается по формуле (2.3) [139, 158, 167].

Оптическая плотность, D , определяется по формуле (2.4) [139, 141].

Светопропускание древесины зависит от наличия остаточного лигнина, связующих, применяемых для получения декоративных бетонов из органических наполнителей, являются показатели прочности и адгезии с органическим заполнителем. На первом этапе устанавливалось процентное отношение поглощения древесиной красителя из раствора. С этой целью предварительно испытаны обработанные по различным вариантам древесные образцы, позволившие выявить определенные закономерности в сорбционной способности отдельных фрагментов древесины (рисунок 4.1) [139].

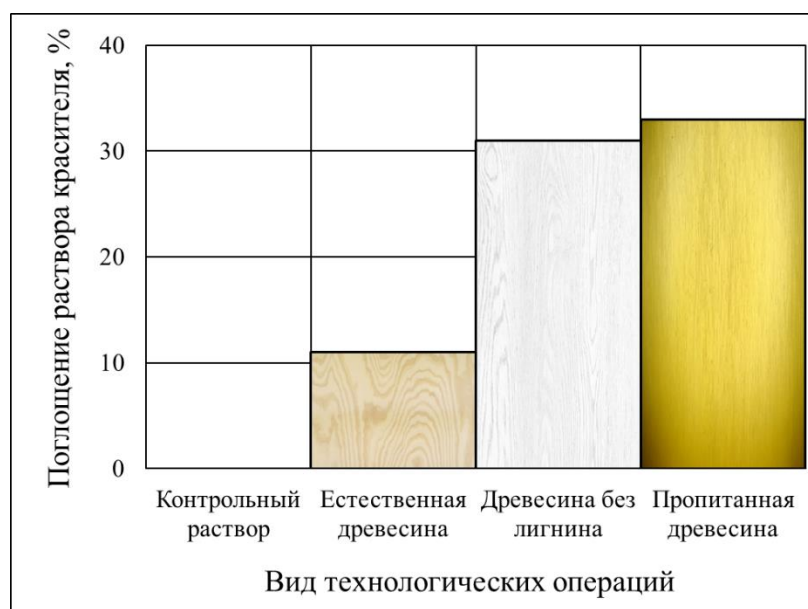


Рисунок 4.1 – Влияние видов технологических операций на поглощательную способность древесины

Отмечено резкое увеличение поглощательной способности древесины для образцов, после проведения делигнификации. Этот факт объясняется различием сорбционной способности компонентов древесины. Известно, что лигнин имеет самую низкую сорбционную способность (коэффициент 0,6) по сравнению с необработанной древесиной (коэффициент 1,0). Кроме того, лигнин, как правило, покрывает все внутренние полости сосудов и капилляров древесины, препятствуя доступу раствора с красителем к целлюлозе. Наибольшей сорбционной способностью обладает гемицеллюлоза (коэффициент 1,56). Учитывая тот факт, что гемицеллюлозы и целлюлозы в составе древесины содержится около 65–75 %, можно сделать вывод, что освобожденная от лигнина древесина проявляет большую поглощательную способность по сравнению с необработанными образцами [80-82]. Этот вывод хорошо согласуется не только с поглощательной способностью, но и подтверждается анализом образцов на светопропускание, график которого представлен на рисунке 4.2 [139].

Интенсивность прохождения светового потока через древесные образцы связана, в первую очередь, с наличием лигнина в древесине, т.к. общий коэффициент поглощения биополимера составляет от 80 до 95 %. В т.ч., светопоглощение углеводов от 5 до 20 % и экстрактивных веществ около 2 %.

Данное утверждение справедливо как в отношении УФ-поглощения, так и поглощения видимого света, которое применяют для характеристики белизны целлюлозы. В частности, энергия УФ-излучения в диапазоне от 200 до 400 нм вызывает процессы деструкции лигнина. Поглощение связано с хромофорными структурными элементами молекулярной сетки лигнина [113].

В соответствии с вышеописанным, важно сказать, что поскольку лигнин – основное светопоглощающее вещество, общий коэффициент поглощения которого составляет 80–95 %, содержащийся в древесине примерно от 20 до 30 %, то после ее делигнификации биополимера остается от 1 до 8 %, благодаря чему светопроницаемость древесного образца повышается.

Существующие методы оценки остаточного лигнина химическим способом весьма сложные и длительные. Прозрачный при визуальном рассмотрении раствор после центрифугирования заливают в кювету толщиной 1 см и измеряют на фотометре поглощение при длине волны 280 нм [139].

Концентрацию раствора лигнина в кадоксен-воде, г/дм³, определяют по градуировочному графику или по рассчитанному с помощью графика удельному коэффициенту поглощения по формуле (2.1). Массовую долю остаточного лигнина древесины, в процентах, к исходной абсолютно сухой целлюлозе, рассчитывают по формуле (2.2) [140].

Использование спектральных методов позволяют проводить опыты значительно быстрее, поэтому в наших исследованиях использован спектрофотометр UV-2501 с приставкой диффузного отражения ISR–240 А с электронными спектрами диффузного отражения (ЭСДО) [139].

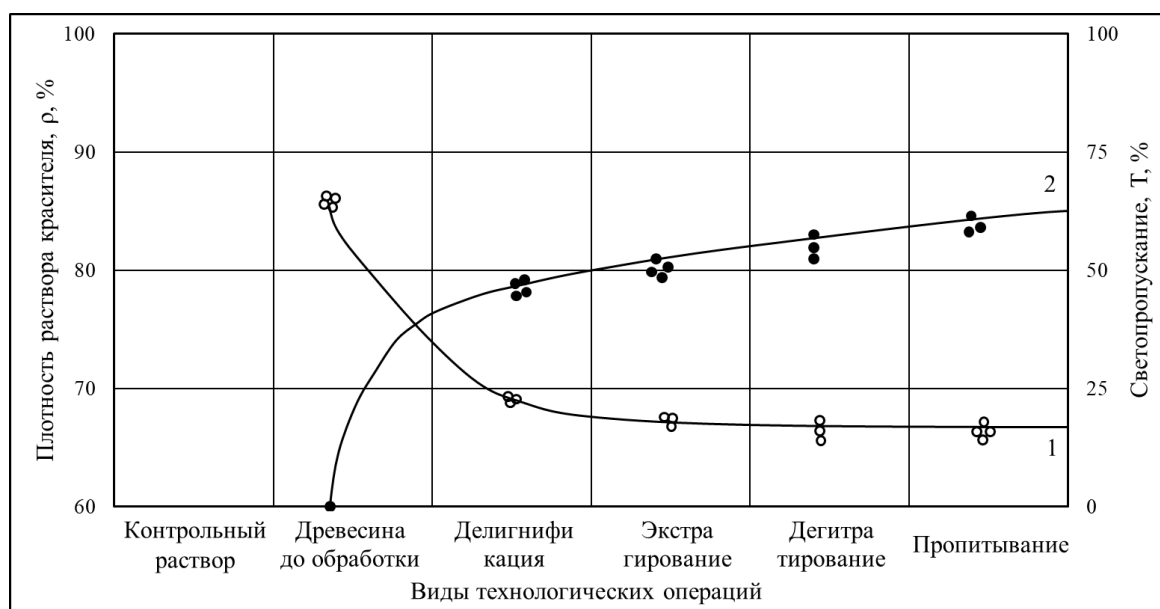


Рисунок 4.2 – Влияние плотности раствора красителя (1) и видов технологических операций на светопропускаемость древесины (2)

Приготовленные серии образцов для испытаний приняты следующие: 1 – естественная древесина; 2 – делигнифицированная; 3 – экстрагированная; 4 – дегидратированная; 5 – пропитанная маслом. На рисунках 4.3 и 4.4 представлены спектры сорбционной емкости и поглощения образцов древесины на разных стадиях обработки [139].

Из анализа спектров сорбционной емкости хорошо видно два параметра: степень прозрачности образцов и степень поглощения света. С наибольшим количеством примесей, являются образцы под номером 2, т. к. у них наибольший коэффициент сорбционной емкости. Образцы с самым большим содержанием примесей – необработанные под номером 1, т.е. необработанная древесина, поскольку содержит примесь, которая стабилизируется в более глубоких слоях волокон, зафиксированная в области 410–700 нм и уменьшающая степень общей сорбционной емкости материала в этом диапазоне, т.к. он в естественном состоянии, где примесные факторы более упорядоченные, что отвечает реальной структуре древесины. [139].

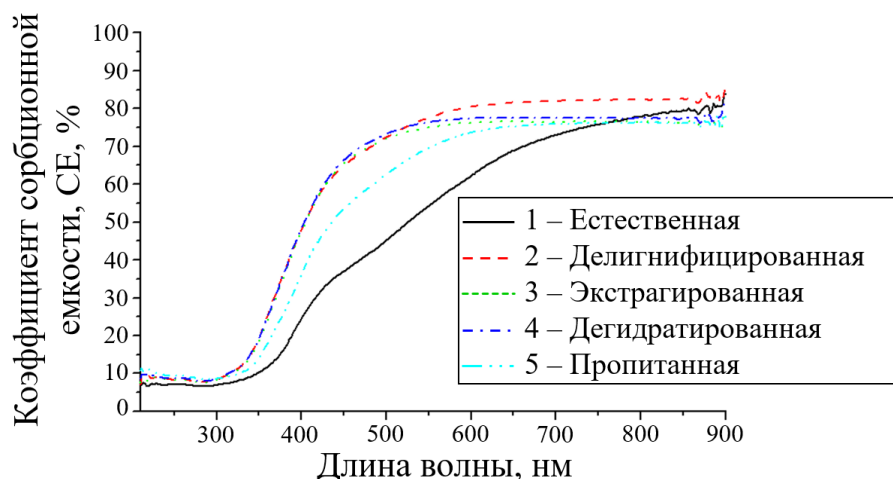


Рисунок 4.3 – Спектры сорбционной емкости древесных образцов после различных этапов обработки

В образцах номер 5 тоже присутствует примесь, находящаяся в приповерхностных слоях волокон и уменьшающая степень сорбционной емкости этого образца из-за наличия растительного масла со скипидаром. Можно также сделать вывод, что степень сорбционной емкости незначительно растет от образца к образцу по мере прохождения технологических операций, что свидетельствует об уменьшении количества примесей в образцах. Наличие примеси понижает степень прозрачности образцов, что следует из увеличения значения длины волны от 316 нм (для образцов 2–4) до 325 нм (для образцов 5) и далее до 334 нм (для образцов 1). [139].

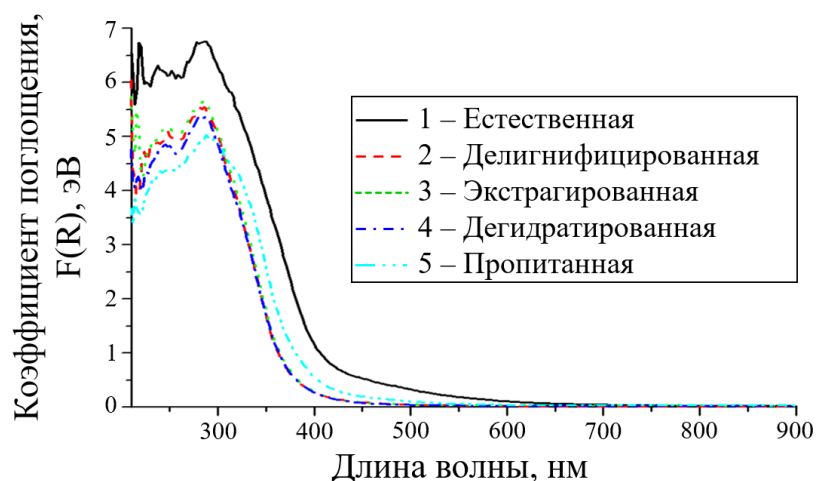


Рисунок 4.4 – Спектры поглощения древесных образцов после различных этапов обработки

Из анализа спектров поглощения в диапазоне 300–400 нм (рисунок 4.4) видно два параметра: глубина проникновения примеси в объем волокна и степень

рыхлости образцов в целом, т. е. значение его сорбционной емкости. Для всех образцов наиболее вероятно можно обсуждать край поглощения системы как целого, т.е. можно определить ширину запрещенной зоны всей системы, имеющей значение E_g , как это обычно рассматривают для полупроводниковых и диэлектрических материалов. В таком случае, из анализа спектров поглощения в диапазоне $25\ 000\text{--}33\ 300\ \text{см}^{-1}$ ($300\text{--}400\ \text{нм}$) видно, что наименьшее значение E_g (в эВ) наблюдается для образца 1. Промежуточное значение E_g для образца 2. В то время как для остальных трех образцов (3, 4 и 5) значение E_g очень близкое или почти одинаковое ($\pm 0,1\ \text{эВ}$). Наименьшее значение E_g свидетельствует о наибольшем количестве примеси, присутствующей в образцах 1, что придает им оранжевый цвет [139].

Интенсивность поглощения в области выше $25\ 000\ \text{см}^{-1}$ (ниже $400\ \text{нм}$), а именно, в области $33\ 300\text{--}53\ 000\ \text{см}^{-1}$ ($190\text{--}300\ \text{нм}$) обычно свидетельствует о содержании влаги в образце или наличии в нем пустот (порового пространства), характеризующих сорбционную емкость. Из анализа данной области можно сделать вывод, что образцы под номером 5 являются более плотными, имеющими меньшую сорбционную емкость за счет введения в них растительного масла со скипидаром. Образцы 2, 3 и 4 по степени рыхлости или сорбционной емкости представляются менее плотными, что вполне закономерно, т.к. после делигнификации обеспечивается открытый доступ к целлюлозе коэффициент сорбции которой значительно выше лигнина (коэффициент 1,56 против 0,60 у лигнина).

Подтверждением результатов проведенных исследований явились выполненные микроструктурные исследования, результаты которых представлены на рисунке 4.5 [139].

Изучение микроструктуры древесины на различных этапах обработки для придания способности к светопропусканию показало следующее. Структура клеток древесины практически полностью законсервирована лигнином по рисунку 4.5 (1), 4.5 (2) и 4.5 (3), что свидетельствует о достаточно большом его количестве в массиве необработанного образца.

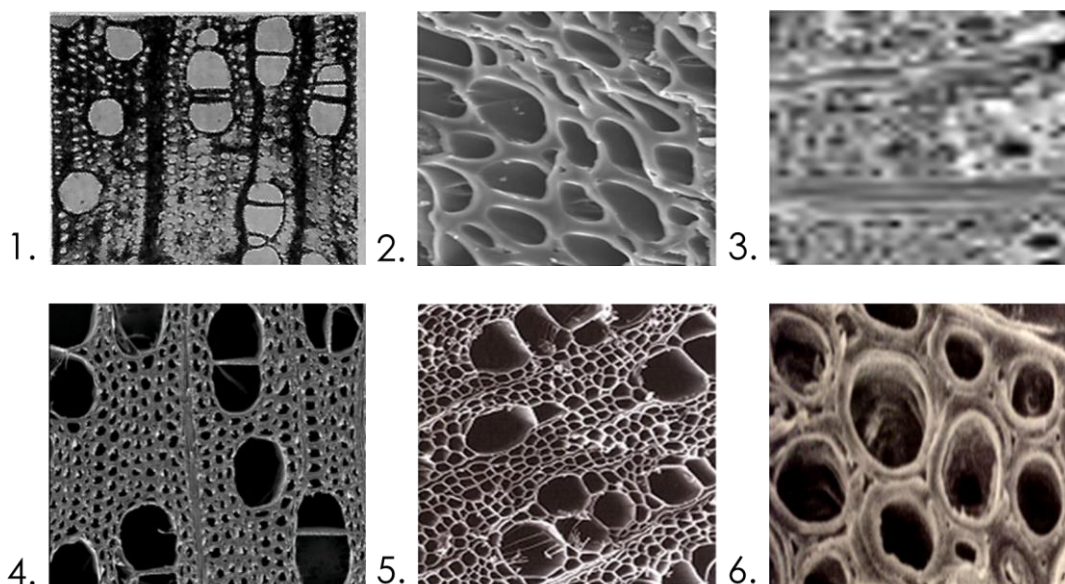


Рисунок 4.5 – Микрофотографии структуры древесины на различных этапах обработки для обеспечения светопропускания: 1) – строение березы (поперечный разрез), x750; 2) – структура клеток древесины с лигнином, x1200; 3) – то же, продольный разрез, x1200; 4) – структура древесины после делигнификации, x1200; 5) – структура древесины после дегидратации, x1200; 6) – то же, после пропитки масляно-скипидарной композицией, x1500

После отбеливания (делигнификации) и дегидратации на срезах остаются в основном фрагменты сосудов и капилляров, состоящие из целлюлозы в соответствии с рисунками 4.5 (4) и 4.5 (5). Пропитка образцов масляно-скипидарной композицией приводит к появлению на внутренней поверхности сосудов и капилляров масляной пленки, просматриваемой на рисунке 4.5 (6). Следует отметить, что процесс делигнификации практически не изменяет структуру древесины, а лишь освобождает от создающих завесу прохождения светового потока лигниновых включений. Проведение пропитки масляно-скипидарной композицией выполняет структурирующую и защитную роль в древесине, улучшая фотометрические свойства и не изменяя её физико-механических характеристик [139].

При делигнификации древесины отбеливающим раствором, происходят следующие процессы взаимодействия между этим раствором и лигнином:

- гидропероксид-ионы пероксида водорода и щелочной агент разрушают лигнин, т.е. деградируют его трехмерную сетчатую пространственную структуру,

т.к. в нем начинают расщепляться α - и β - эфирные связи, кислород-углеродные (простые эфирные) связи C–O–C (алкил–O–арил (связи алкиларилового простого эфира), арил–O–арил (связи диарилового эфира) и алкил–O–алкил (связи диалкилового эфира)), углерод-углеродные связи C–C (алкил–арил (алкиларильные); арил–арил (диарильные) и алкил–алкил (диалкильные)), ароматические кольца, функциональные группы (гидроксильные (–OH), метоксильные (–OCH₃), карбонильные (–CO) и карбоксильные (–COOH)); под действием делигнифицирующего раствора возникает отщепление метоксильных групп в данном биополимере по уравнению химической реакции, представленной ниже (4.1);



где $R_{\text{лиг}}$ – щелочноземельный или щелочной металл в лигнине; –OCH₃ – метоксильная группа; NaOOH – делигнифицирующий раствор; CH₃OOH – гидропероксид метила (метанедиол); $R_{\text{лиг}}\text{--ONa}$ – натронный лигнин; ONa – фенолят.

В результате реакции образуются свободные фенольные гидроксилы, с которыми делигнифицирующий раствор образует феноляты (рисунок 4.6).

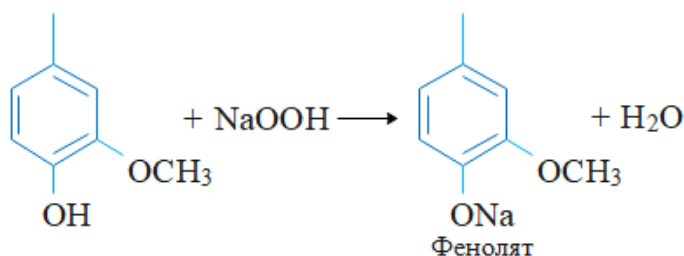


Рисунок 4.6 – Химическая реакция между метоксильной группой лигнина (–OCH₃) и отбеливающим раствором с формированием фенолятов

– при взаимодействии делигнифицирующего раствора и гидроксильной группой формируются следующие продукты химической реакции (4.2);



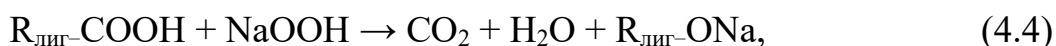
где –OH – гидроксильная группа; NaOOH – делигнифицирующий раствор; H₂O – вода.

— при вступлении в реакцию отбеливающего раствора с карбонильной группой образуется следующее (4.3);



где $-\text{CO}$ – карбонильная группа; HCO_2 – формиат (метаноат).

— действие NaOOH на карбоксильную группу лигнина происходит по уравнению химической реакции, приведенной ниже (4.4);



где $-\text{COOH}$ – карбоксильная группа; CO_2 – углекислый газ.

— процесс химического взаимодействия делигнифицирующего раствора с целлюлозой может протекать с образованием аддитивных или молекулярных соединений, где связь целлюлозы и этого раствора характеризуется молекулярными силами, конкретно, водородными связями (4.5):



где R – щелочноземельный или щелочной металл; $R_{\text{цел}}-\text{OH}$ – химическая формула щелочной целлюлозы; $R_{\text{цел}}-\text{OH} \cdot \text{NaOOH}$ – аддитивные (молекулярные) соединения щелочной целлюлозы с отбеливающим раствором.

Из данных метода УФ-спектрофотометрии можно сделать вывод о степени светопрозрачности образцов, наличии примеси в них и расположении порового пространства. Данные выводы подтверждаются результатами фотоэлектроколориметрических и микроструктурных исследований. Установлено, что разработанная масляно-скипидарная композиция, на основе растительного масла и скипидара, для обработки древесины, обладает высоким светопропусканием образцов и считается экологически безопасным и доступным. Рациональный подбор технологических и рецептурных параметров химически обработанной древесины позволяет рекомендовать такой материал для изготовления декоративного бетона, обладающего светопропусканием, что очень важно для архитектурно-декоративного оформления интерьеров зданий и сооружений [139].

4.2 Исследование взаимодействия в контактной зоне между заполнителем и связующим

Повышение эффективности применения декоративных бетонов нового поколения, а именно, древобетона светопроницаемого в производстве декоративных строительных изделий связано с использованием модификаторов разного вида. В настоящее время, все большую известность и распространенность получают нанодисперсные модификаторы, которые позволяют значительно улучшить физико-механические характеристики безцементных декоративных бетонов.

Особый интерес для модификации древобетона с фотометрическими свойствами, через повышение адгезии между связующим и отходами деревообработки, пропитанные масляно-скипидарной композицией, представляют золи, а именно, кремнезоль и алюмозоль.

Практика показывает [129, 134, 171-175], что в выборе модификатора предпочтение лучше отдавать именно вышеприведенным нанодобавкам. Т. к. их использование дает возможность улучшить прочностные свойства древобетона, уменьшить экологическую нагрузку, обеспечить более высокую чистоту поверхности изделий, увеличить выпуск готовой продукции.

Ниже рассматриваются особенности каждого золя.

Кремнезоль (гидрозоль диоксида кремния) представляет собой коллоидный раствор диоксида кремния (SiO_2), который состоит из дисперсионной среды (вода) и дисперсной фазы из мицеллы аморфного кремнезема. Мицеллы кремнезоля насыщены молекулами воды и имеют полимерную природу, а также обладают высокоразвитой поверхностью и большим числом функциональных, т.е. силанольных групп, что обеспечивает высокую реакционную способность и дает возможность модифицирования (видоизменения) поверхности частиц посредством адсорбирования разных ионов. Мицеллы кремнезоля представляют собой сферические частицы, которые насыщены водой и ионами щелочных металлов, в частности, Li, Na, NH_4 и K. Этот коллоидный раствор характеризуется

опалесценцией (рассеянием света мутной средой, обусловленное её оптической неоднородностью) и белесым цветом [128, 174].

Частицы кремнезоля имеют развитую поверхность и наличие на ней силанольных групп обеспечивает стабильность золя и возможность видоизменения за счет сорбции молекул с определенными функциональными группами [128].

Коллоидный кремнезём считается достаточно высокоэффективным коллоидным раствором диоксида кремния, выполняющий ряд функций, в частности [132, 134]:

- 1) придание средствам дополнительных гидрофобных или гидрофильных, антистатических и грязеотталкивающих свойств;
- 2) повышение влаго- и водостойкости древесины, а также ее огнестойкости;
- 3) улучшение теплостойкости до 300 °С и термостойкости связующих и древобетона (при 0,5 % содержании нанодобавки);
- 4) снижение (минимизация) горения древесины.

Компоненты, входящие в состав кремнезоля: коллоидный раствор SiO_2 , вода и дисперсная фаза из наноразмерных частиц аморфного кремнезема.

Алюмозоль.

Он представляет собой водный коллоидный раствор оксида алюминия (Al_2O_3) с размером частиц от 3,5 до 4 нм и от 80 до 200 нм [133, 134].

Гидрозоль оксида алюминия – достаточно высокоэффективный коллоидный раствор оксида алюминия, реализующий ряд функций [134]: улучшение прочностных характеристик, в частности, прочности при сжатии и изгибе; улучшение теплостойкости до 285 °С и термостойкости связующих и бетонов; обеспечение средствам дополнительных антистатических и грязеотталкивающих, гидрофобных или гидрофильных свойств; улучшение эффективности составов; повышение влаго- и водостойкости древесины, в т.ч. огнестойкости для решения проблем ее горючести.

Базовый состав алюмозоля: коллоидный раствор Al_2O_3 , вода и стабилизирующий ион NO_3 .

На основе рассмотренных особенностей кремнезоля и алюмозоля, проведены исследования по повышению адгезии между связующим (жидким стеклом) и компонентом декоративного бетона светопроницаемого – отходами деревообработки.

Для этого готовились партии образцов-таблеток. Составы данных образцов представлены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Варианты составов связующего из натриевого жидкого стекла и модификаторов (нанодобавок)

Модификаторы (нанодобавки)	Масса нанодобавки, %	Связующее	Масса связующего, %
Алюмозоль	1	Натриевое жидкое стекло	99
	5		95
	10		90
Кислый кремнезоль	1		99
	5		95
	10		90
Щелочной кремнезоль	1		99
	5		95
	10		90
Алюмозоль	1	Калиевое жидкое стекло	99
	5		95
	10		90
Кислый кремнезоль	1		99
	5		95
	10		90
Щелочной кремнезоль	1		99
	5		95
	10		90

Уравнение химической реакции между данными реактивами выглядит следующим образом (4.6):



где $\text{Na}_2\text{O}(\text{SiO}_2)_n$ – натриевое жидкое стекло; Al_2O_3 – оксид алюминия; m – количество оксида алюминия, моль; NaAlSiO_4 – алюмосиликат натрия (нефелин).

В результате химического взаимодействия, образовался нефелин.

Следующая партия образцов сделана на основе натриевого жидкого стекла и кислого кремнезоля (4.7):



где SiO_2 (кисл.) – кислый кремнезоль; n – количество кислого кремнезоля, моль; $\text{Na}_2\text{O}(\text{SiO}_2)_{n+1}$ – натриевое жидкое стекло с увеличенным силикатным модулем.

При смешении натриевого жидкого стекла со щелочным кремнезолем, также идет увеличение силикатного модуля данного жидкого стекла (4.8):



где SiO_2 (щел.) – щелочной кремнезоль, n – количество щелочного кремнезоля, моль.

После контакта водного раствора силиката калия и алюмозоля происходит реагирование по следующему уравнению химической реакции (4.9):



где $\text{K}_2\text{O}(\text{SiO}_2)_n$ – калиевое жидкое стекло; KAlSiO_4 – алюмосиликат калия (силикоалюминат калия).

В результате химического взаимодействия, образовался алюмосиликат калия.

В процессе взаимодействия калиевого жидкого стекла с кислым кремнезолем происходит возрастание силикатного модуля этого жидкого стекла (4.10):



$\text{K}_2\text{O}(\text{SiO}_2)_{n+1}$ – калиевое жидкое стекло с увеличенным силикатным модулем.

При контакте калиевого жидкого стекла и щелочного кремнезоля увеличивается силикатный модуль водного раствора силиката калия (4.11):



$\text{K}_2\text{O}(\text{SiO}_2)_{n+1}$ – калиевое жидкое стекло с увеличенным силикатным модулем.

Как видно, из уравнений химических реакций (4.7), (4.8), (4.10) и (4.11) новых продуктов не образуется, а происходит лишь увеличение силикатного модуля самого натриевого и калиевого жидкого стекла, если при этом увеличивается количество добавляемого кремнезоля в них. Например, при $n < 2$, получают высокощелочные системы, при $n = 2-4$ – жидкие стекла, при $n = 4-25$ – полисиликаты, а при $n > 25$, формируются золи [131]. При введении кислого кремнезоля в натриевое жидкое стекло, происходит увеличение доли

высокополимерных фракций кремнекислородных анионов в его структуре по сравнению с жидким стеклом в чистом виде, что способствует формированию пленок, обладающих более высокой прочностью при растяжении, а значит, может положительно повлиять на прочностные свойства древобетона светопропускающего. Также, данный кремнезоль выбран по той причине, что щелочной золь кремниевой кислоты содержит в своем составе определенное количество примесей катионов щелочных металлов, из-за чего при взаимодействии с жидким натриевым стеклом не позволяет получить термостойкое твердое связующее. Тогда как в кислом кремнезоле данные катионы отсутствуют, поэтому его применение предпочтительнее. В процессе смешивания кремнезема и жидкого стекла происходит связывание гидроксид-ионов, т.е. подкисляется водный щелочной раствор силикатов натрия, в результате чего, в нем возрастает количество полимерных структур, которое состоит в том, что ионы создают циклические формы, объединяющиеся в параллельных плоскостях в плотные трехмерные структуры с наименьшим числом силанольных групп (Si-OH). Еще кремнезоль выбран потому, что по результатам исследований, у отвержденных связующих, на основе гидрозоль диоксида кремния, обеспечена наибольшая теплостойкость, примерно 300 °С (при 0,5 % его содержании). Следовательно, данное связующее, с точки зрения создания тепло- и термостойких материалов, представляет наибольший интерес. Основной причиной выбора алюмозоля стало то, что по данным [134] образцы из отвержденных связующих, на основе гидрозоль оксида алюминия, имеют прочность при сжатии 80–88 МПа. Что больше, чем у образцов на основе связующего из золя кремниевой кислоты в твердом состоянии – 60–63 МПа.

Жидкое стекло, как наполнитель и минерализатор для получения древобетона светопроницаемого, отвечает всем требованиям по экологии, сырьевому обеспечению технологичности и возможности использования. Оно имеет достаточно высокую термостойкость и одно из наиболее доступных, распространенных и недорогих связующих для изготовления модифицированных составов требуемой прочности и плотности от 1 360 до 1 450 кг/м³.

В исследованиях приняты древесные образцы породы берёза с масляно-скипидарной композицией, обладающие светопропусканием после соответствующей технологической обработки: делигификации, экстракции, дегидратации и инфильтрации. Фиксация светопропускания проводилась на специальной установке для определения светопроницаемости древесины (Патент РФ № 2791849). В работе использовали натриевое и калиевое жидкое стекло.

Одним из недостатков декоративного бетона на древесном заполнителе является недостаточная адгезия между древесиной и жидким стеклом, которая не превышает 0,3–0,5 МПа. Поэтому поставлен вопрос по повышению адгезионной прочности в контактной зоне. Известно, что наноразмерные частицы способствуют увеличению адгезии материалов, создавая активные центры кристаллизации и усиления материала, было предположено использовать нанодобавки для усиления адгезионной прочности. В качестве добавок применяли: алюмозоль, кремнезоль кислый и щелочной [176, 177].

Подготовленные для испытаний образцы испытывали на адгезиметре – автоматическом приборе «Posi Test AT–A» в соответствии с инструкцией по его применению.

Естественные образцы без химической обработки, при контакте с жидким стеклом без нанодобавок, имели адгезию к связующему в пределах от 0,4 до 0,5 МПа. После проведения процессов делигнификации и последующей пропитки адгезия снижалась в полтора-два раза и составляла не более 0,1–0,3 МПа. Инфильтрованные растительным маслом древесные образцы продемонстрировали адгезионную прочность с жидким стеклом только от 0,35 до 0,45 МПа. Инфильтрованные масляно-скипидарной композицией, после термопрогрева, образцы показали адгезию с водным щелочным раствором и кислым кремнезолью, в контактной зоне, до 0,6–0,8 МПа. Меньшее превышение адгезионной прочности зафиксировано при введении щелочного кремнезоля в жидкое стекло с этими образцами – от 0,3 до 0,4 МПа. При введении в жидкостекольное вяжущее алюмозоля отмечалось ещё меньшее увеличение адгезии, не превышающее 0,3 МПа. После проведения комплекса испытаний выбрана добавка кислого

кремнезоля, повышающего адгезионную прочность обработанной древесины к жидкому стеклу (таблица 4.2) [176, 177, 178].

Наилучшая адгезионная прочность вяжущего с древесным светопропускаемым наполнителем обеспечена при его взаимодействии с кислым кремнеземом, поскольку, во-первых, в золе кремниевой кислоты примеси катионов щелочных металлов отсутствуют, во-вторых, в процессе их смешивания возникает связывание гидроксид-ионов, т.е. подкисляется натриевое жидкое стекло, в результате этого, в нем возрастает количество полимерных структур, которое состоит в том, что ионы создают циклические формы, связывающиеся в параллельных плоскостях в плотные трехмерные структуры с наименьшим числом силанольных групп (Si-OH). Плюс ко всему, с точки зрения протекания химических процессов в материале, нашлись достаточно веские объяснения. В процессе введения гидрозоля диоксида кремния в связующее, в его структуре происходит увеличение доли высокополимерных фракций кремнекислородных анионов по сравнению с жидким стеклом в чистом виде, что способствует формированию пленок, обладающих более высокой прочностью при растяжении [176, 177].

Таблица 4.2 – Определение адгезии между древесным светопропускаемым заполнителем и жидкостекольным вяжущим методом отрыва

№ п/п	№ образца	Состояние древесины	Т, %	Плотность, ρ , кг/м ³	Характер отрыва	Адгезионная прочность, А, МПа	
						Частное	Среднее
1	1	Естественное	0	500	Адгезионный	0,99	1,18
	2			530		1,22	
	3			560		1,34	
2	1	Делигнифицированное (отбеленное)	78–81	480	Адгезионный	0,74	0,63
	2			400		0,70	
	3			500		0,45	
3	1	Экстрагированное	84–87	470	Когезионный	1,03	1,08
	2			420	Адгезионный	0,99	
	3			430	Когезионный	1,21	
4	1	Дегидратированное	86–89	500	Когезионный	1,24	1,79
	2			530		2,03	
	3			500		2,11	
5	1	Инфильтрованное	85–87	600	Адгезионный	1,11	1,10
	2			640		1,10	
	3			570		1,10	
6	1	Инфильтрованное после термопрогрева	88–92	560	Адгезионно-когезионный	1,29	1,57
	2			580		1,67	
	3			580		1,75	

Следует отметить, что наименьшей адгезией обладает делигнифицированная древесина, что выражается в значениях данного показателя от 0,45 до 0,74 МПа. После прогрева пропитанной масляно-скипидарной композицией древесины, при температуре 75–85 °С в течение 25–35 минут, отмечено увеличение адгезионной прочности на 30–40 %.

В эксперименте, по изучению адгезионной прочности древесного светопропускаемого заполнителя в декоративном бетоне в присутствии наноразмерных добавок, проведены термомеханические исследования, представленные в таблице 4.3 и на рисунке 4.7.

Таблица 4.3 – Адгезия натриевого жидкого стекла с нанодобавками к древесному заполнителю в декоративном бетоне

Вид нанодобавки	Дозировка, %	Адгезия, А, МПа
Без добавки	–	0,41–0,52
Алюмозоль (Al_2O_3)	1,0	0,37–0,42
	5,0	0,40–0,43
	10,0	0,35–0,38
Кремнезоль кислый (SiO_2)	1,0	0,92–1,12
	5,0	1,21–1,62
	10,0	1,14–1,51
Кремнезоль щелочной (SiO_2)	1,0	0,47–0,48
	5,0	0,49–0,54
	10,0	0,43–0,49

Данный факт фиксируется снижением величины деформации на термомеханической кривой при повышении температуры нагрева (рисунок 4.7, кривая 4) [176, 177].

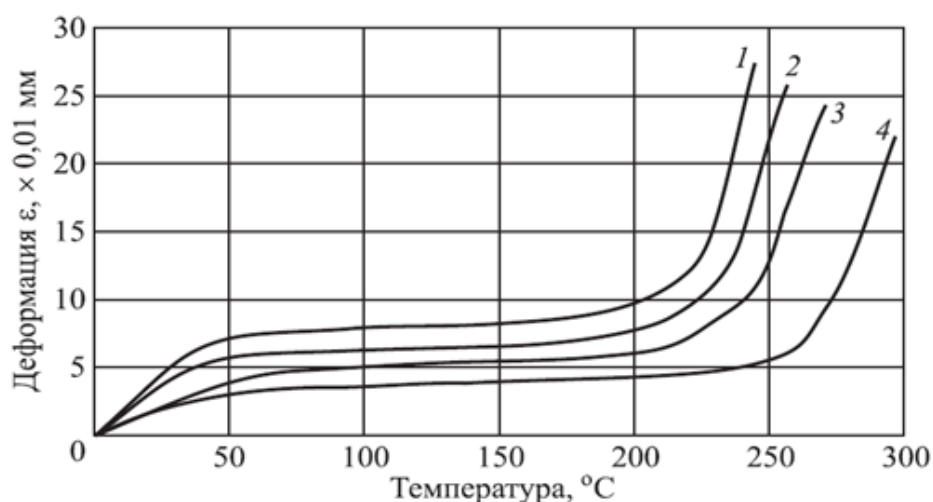


Рисунок 4.7 – Термомеханические кривые жидкостекольного связующего с нанодобавками: 1 – без добавок; 2 – с алюмозолем; 3 – со щелочным кремнезолем; 4 – то же, с кислым кремнезолем

На графике, рисунка 4.7, образцы со связующим без добавок, имеют повышенную деформацию, термостойкость ограничивается на уровне 200 °C

(кривая 1), при этом адгезия составила от 0,41–0,52 МПа. Образцы с вяжущим в присутствии алюмозоля и щелочного кремнезоля в содержаниях 1, 5 и 10 %, в отдельных случаях, имеют меньшие значения деформации и более высокую термостойкость (кривые 2 и 3), значения адгезии в первом случае, от 0,37 до 0,43 МПа, во втором, от 0,43 до 0,54 МПа. Образцы со связующим и кислым кремнезolem (кривая 4), имеют самые низкие показатели деформации, температурный переход в жидкое состояние происходит после 240–250 °С, что говорит о высокой степени термостойкости и, как следствие, высокой адгезии жидкостеклового вяжущего с древесным светопропускаемым наполнителем, которая составила 0,9–1,6 МПа.

Выбор кислого кремнезоля позволяет, при отверждении связующих, обеспечивать повышенную термостойкость, что отмечается на термомеханической кривой через повышение температурных переходов. Вяжущее на основе жидкого стекла с добавкой кислого кремнезоля способствует созданию композиционных связующих на натриевом жидком стекле и кислом кремнезole. Такая композиция повышает адгезионную прочность между вяжущим и древесными образцами светопроницаемыми в полтора-два раза, что обеспечивает длительные свойства: прочность древобетона и его светопропускаемость [177].

4.3 Повышение светопропускающей способности делигнифицированной древесины при пропитке растительным маслом

Известно, что пропитка отбеленного древесного материала эпоксидными вяжущими обеспечивает стойкое светопропускание, поэтому сделана попытка повысить данный показатель у древесины, инфильтрованной масляно-скипидарной композицией. Для решения данной задачи предварительно подготовленную древесину берёзы, обработанную разными химическими реактивами по ранее установленным режимам, дополнительно подвергали термической обработке при постоянной фиксации уровня светопропускания [179].

Ранее показано, что при инфильтрации делигнифицированной древесины масляно-скипидарной композицией из подсолнечного или кукурузного масла и

скипидара идет проникновение этой композиции в клеточные стенки древесины и структуру остаточного лигнина благодаря терпентинному маслу, способствующее проявлению реакции связывания, в частности, с гидроксилами и карбоксилами, понижая деформируемость и повышая термостойкость древесных образцов в целом. А за счет низких показателей условной вязкости и поверхностного натяжения происходит глубокое проникновение масляно-скипидарной композиции в древесину, в которой ее процентное содержание становится достаточно высоким до 52-55 %, за счет чего обеспечивается довольно высокий первоначальный уровень светопроницаемости образцов древесины до 84–87 % в сочетании с довольно низким светопоглощением – 16–13 % [179].

Важнейшей стадией получения инфильтрованных древесных образцов после термопрогрева – сушка. В этот момент, из-за медленного высыхания и испарения растительных масел, поглощения ими кислорода, происходит уменьшение в объеме. В то же время, образуется тонкая жировая прозрачная пленка, способствующая сохранению ее фотометрических свойств. Но, со временем, такая пленка подвержена помутнению, что приводит через несколько лет к заметному снижению светопропускания.

На первом этапе определены конкретные технологические свойства растительных масел и пропитывающих композиций (таблица 4.4).

Ранее авторами освещены вопросы промежуточных химических стадий и химической обработки древесины, с описанием всех этапов ее обработки и объемного расхода составляющих, в т.ч. разработана алгоритм для получения древесины светопроницаемой в общем виде [179].

Таблица 4.4 – Свойства растительных масел и пропитывающих композиций

№ состава	Название	Плотность, кг/м ³	Условная вязкость, μ , с	Поверхностное натяжение, σ , мН/м
1.	Подсолнечное масло	917-929	20,34-20,37	54,03-54,08
2.	Кукурузное масло	914-918	19,89-19,92	54,02-54,09
3.	Скипидар	852-871	9,63-9,66	28,01-28,05
4.	Подсолнечное масло и скипидар	895-897	13,95-13,97	49,40-49,62
5.	Кукурузное масло и скипидар	894-896	14,85-14,88	49,87-49,91

Один из эффективных методов оценки состояния и структурного превращения органических материалов – спектральный анализ.

На рисунке 4.8 показана спектрограмма подсолнечного масла с характерными полосами поглощения. Валентные колебания С-Н замечены при 2923, 2854 см⁻¹; валентные колебания С-О – 1740 см⁻¹; деформационное колебание СН₃ – 1452 см⁻¹; и валентное и деформационное колебание С-CO-C – 1238 см⁻¹. Анализируя спектрограмму скипидара (рисунок 4.9), можно обозначить валентные колебания С-Н в области 2800-2900 см⁻¹; валентное и деформационное колебание С-CO-C при 1187-1205 см⁻¹; интенсивные валентные и деформационные колебания СН=СН в диапазоне 700-1150 см⁻¹ [179].

При перемешивании подсолнечного масла со скипидаром происходит реакция взаимодействия, которая приводит к изменениям характера полос поглощения (рисунок 4.10), т.е. валентные колебания С-Н располагаются практически в таких же областях (2920, 2815 см⁻¹), что и у чистого подсолнечного масла; валентные колебания С-О перемещаются с 1740 см⁻¹ в зону 1580 см⁻¹, что говорит о взаимодействии компонентов и происходящих в этой системе реакциях. Деформационное колебание СН₃, зафиксированные при 1452 см⁻¹, переходят в зону 1493 см⁻¹; и валентное и деформационное колебание С-CO-C при 1238 см⁻¹ смещается в сторону меньших значений (1044 см⁻¹) [179].



Рисунок 4.8 – ИК-спектр подсолнечного масла

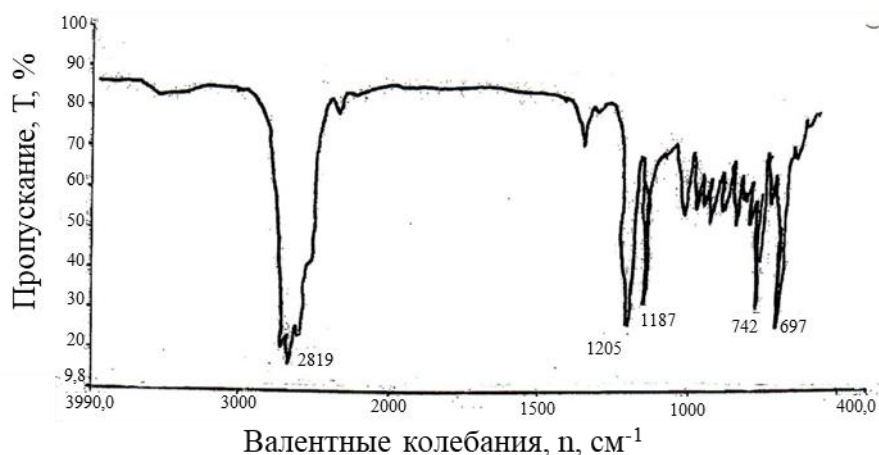


Рисунок 4.9 – ИК-спектр скипидара

Как упоминалось прежде, в процессе пропитки делигнифицированной древесины эпоксидной смолой наблюдается длительная способность материала к пропусканию светового потока. Ранее было установлено, что термопрогрев инфильтрованной отбеленной древесины разработанной данной композицией дает возможность достичь лучших результатов светопроницаемости, повышая эту световую характеристику на 12-15 % по сравнению с непрогретыми образцами. Сушка пропитанной масляно-скипидарной композицией древесины при температуре 75–85 °С в течение 25–35 минут способствует эпоксидированию растительного масла (рисунок 4.11).



Рисунок 4.10 – ИК-спектр растительного масла со скипидаром



Рисунок 4.11 – ИК-спектр эпоксидированного растительного масла

Этот эффект свидетельствует о формировании в смеси эпоксидных групп и подтверждается ИК-спектральными исследованиями (рисунок 4.11). Сравнение спектров подсолнечного и эпоксидированного подсолнечного масел показало, что полос, присущих двойным связям в диапазонах $2923\text{--}2854\text{ см}^{-1}$, 1740 см^{-1} на спектре эпоксидированного масла отсутствует, однако появляется полоса поглощения в интервале $820\text{--}840\text{ см}^{-1}$, характерная для эпоксидных групп.

Появление на спектрограмме полос в области $820\text{--}840\text{ см}^{-1}$, а при детальном увеличении спектрограммы зафиксированное при 823 и 841 см^{-1} , свидетельствующие о деформационных колебаниях, напрямую относящихся к появлению эпоксидных групп. Химический анализ проб дал возможность установить возрастание йодного числа на $47\text{--}62\text{ г I}_2/100\text{ г}$, в т.ч. образование эпоксидного числа в смеси на $14\text{--}18\text{ г/экв}$. Одновременно с этим, плотность

композиции и светопропускание определенно возрастают, что говорит о положительной роли масляно-скипидарной композиции в улучшении свойств древесины светопроницаемой.

Отмеченное повышение светопропускания сопровождается увеличением адгезии древесного заполнителя к жидкостекольному связующему, изменяя характер отрыва с адгезионного на адгезионно-когезионный. К положительным эффектам можно отнести, в т.ч., устойчивость к изменениям светопропускаемости во времени без снижения световых свойств. На рисунке 4.12 продемонстрирован характер изменения светопропускания декоративных бетонных образцов на измельченной делигнифицированной древесине березы при пропитывании растительным маслом, масляно-скипидарной композицией и этой же композицией с термопрогревом [179].



Рисунок 4.12 – Характер изменения светопропускания декоративных бетонных образцов на делигнифицированной древесине березы при пропитывании и пропитывании с термопрогревом: А – пропитывания растительным маслом; Б – тем же, со скипидаром; В – то же, с термопрогревом в течение 30 минут при температуре 75 °С

Установлено, что наибольшими значениями по фотометрическим свойствам обладают разработанные составы декоративного бетона светопроницаемого с термопрогревом инфильтрованной древесины с соотношением компонентов 1 : 2 : 1, а именно, светопропускаемость 76–79 % (на 26–29 % выше цементного бетона светопроводящего с оптическими призмами ($T = 50 \%$) (по данным Italcementi Group)) [24], освещенность 912–948 лк, светимость – 912–948 лм / м², сила света – 82–85 кд, яркость – 4 560–4 740 кд / м² и светопоглощение 24–21 %. Тогда как наибольшими значениями по прочности при изгибе и сжатии обладают те же составы, но с соотношением компонентов 3 : 1 : 1 – 1,9–2,0 МПа и 5,7–5,9 МПа

соответственно, что подтверждает ранее полученные результаты по увеличению адгезии.

На рисунках 4.13 и 4.14 показаны образцы декоративного бетона светопропускающего с тремя фракциями древесного заполнителя на всех стадиях технологической обработки с направленным светом и с более рассеянным светом.

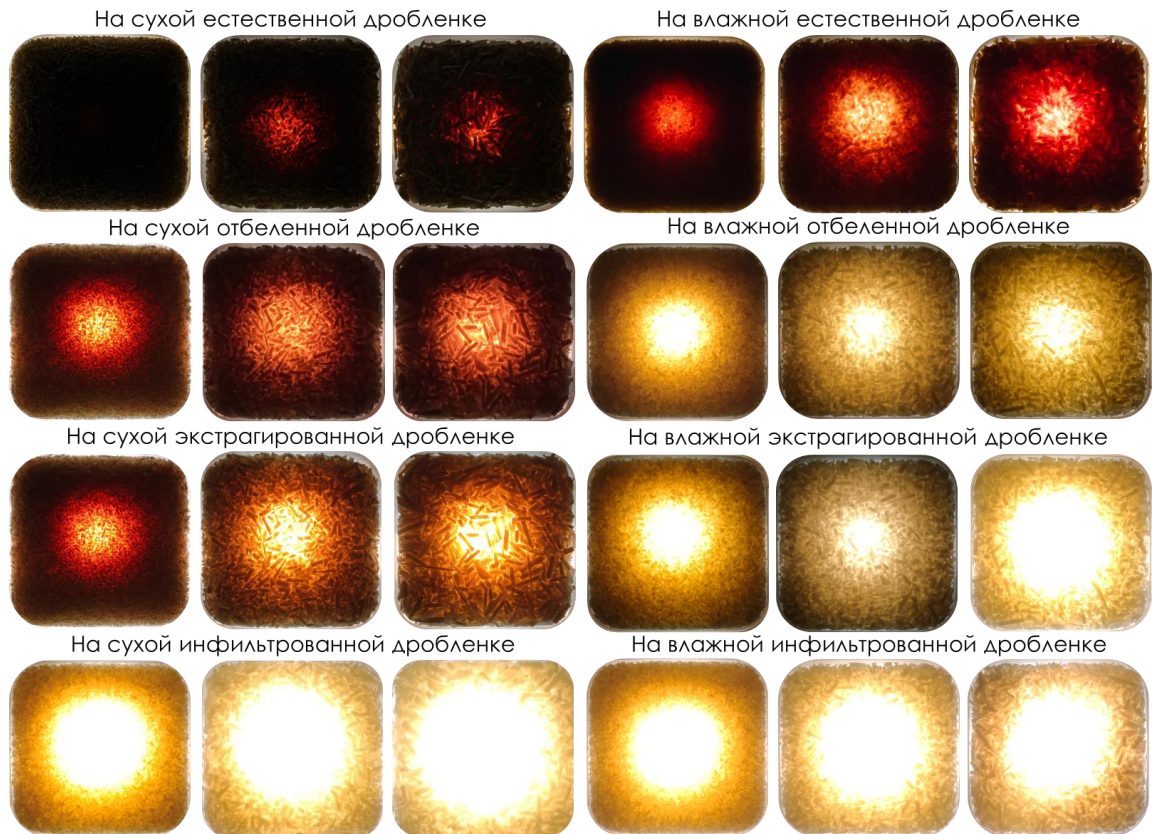


Рисунок 4.13 – Характер изменения светопропускания декоративных бетонных образцов на древесине березы трех фракций на всех стадиях технологической обработки в общем виде с направленным светом

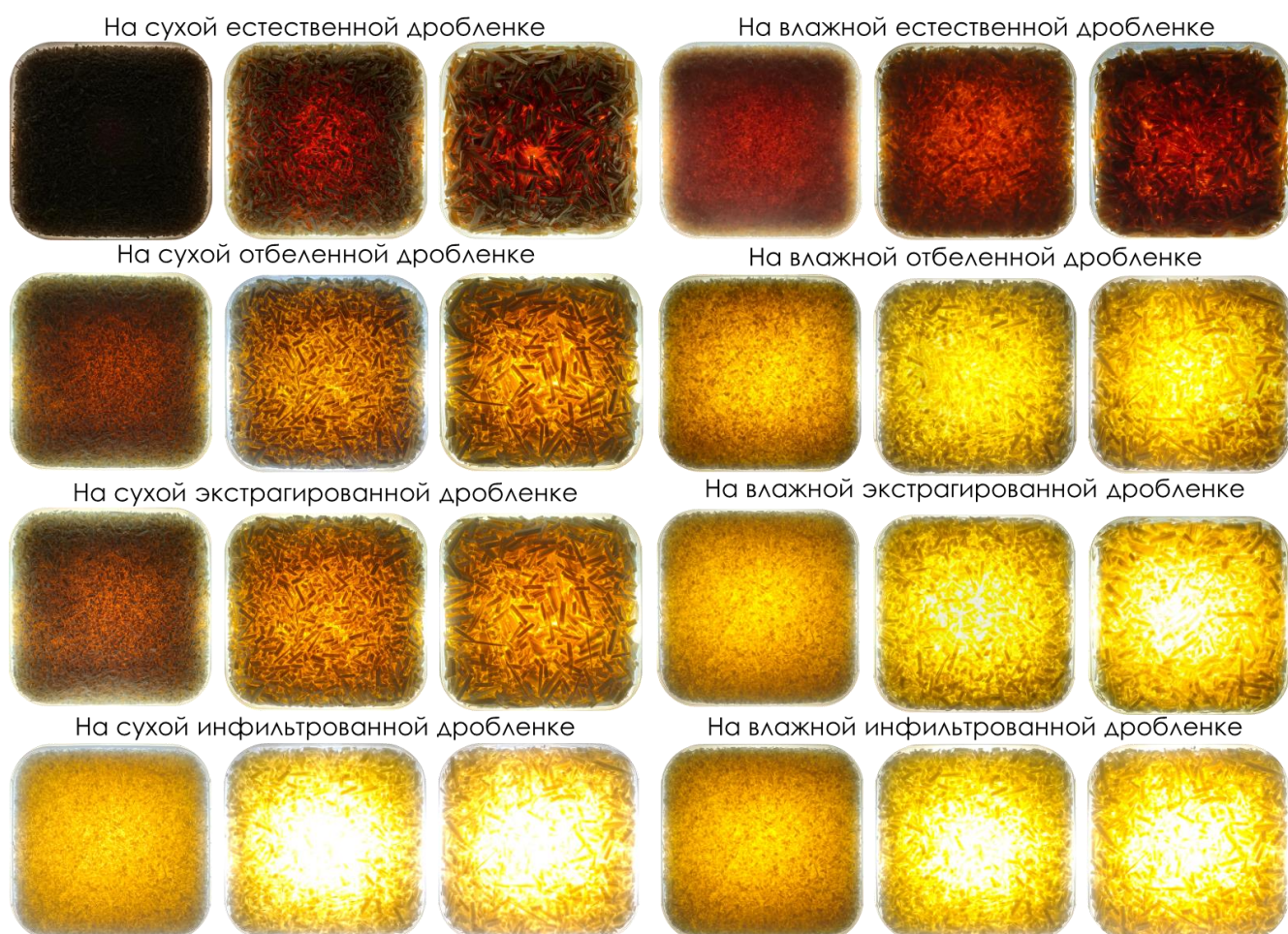


Рисунок 4.14 – Характер изменения светопропускания декоративных бетонных образцов на древесине березы трех фракций на каждой стадии технологической обработки в общем виде с более рассеянным светом

Исходя из вышеизложенного, следует, что прогрев пропитанной масляно-скипидарной композицией древесины позволяет обеспечить высокие прочностные и фотометрические свойства древесного композита за счет эпоксидирования растительного масла при обеспечении повышенной светопроницаемости.

Выводы по главе 4

1. Отмечено резкое увеличение поглощательной способности делигнифицированных древесных образцов, т.к. освобожденная от лигнина древесина, после отбеливания, экстракции и дегидратации, проявляет большую сорбцию по сравнению с необработанными образцами, что объясняется различием поглощательной способности компонентов древесины, в частности, лигнина, коэффициент 0,6 по сравнению с необработанной древесиной (коэффициент 1,0), а

также гемицеллюлозы (коэффициент 1,56), при ее содержании с целлюлозой около 65–75 %.

2. Установлено, что с увеличением плотности раствора с 60 % до 86–87 %, светопроницаемость древесных образцов на каждом этапе химической обработки повышается до 48–62,5 %.

3. Отмечено, что наибольший коэффициент сорбционной емкости имеет делигнифицированный, экстрагированный и дегидратированный древесные образцы при длине волны от 316 до 700 нм. Наименьший – у естественных (334 нм) и инфильтрованных масляно-скипидарной композицией образцов (325 нм), что объясняется наличием примеси в глубоких слоях волокон.

4. Интенсивность поглощения в области ниже 400 нм, а именно, в области 190–300 нм свидетельствует о содержании влаги в образце или наличии в нем пустот (порового пространства), характеризующих сорбционную емкость, т.к. после делигнификации появляется открытый доступ к целлюлозе, коэффициент сорбции которой значительно выше лигнина (1,56 против 0,60 у лигнина).

5. Изучение микроструктуры древесины на различных этапах обработки, показало, что после отбеливания (делигнификации) на срезах остаются фрагменты сосудов и капилляров, состоящие из целлюлозы, не изменяющий структуру древесины, а лишь освобождает от создающих завесу прохождения светового потока лигниновых включений. Пропитка образцов масляно-скипидарной композицией приводит к появлению на внутренней поверхности сосудов и капилляров масляной пленки, выполняющей защитную роль в древесине, улучшая фотометрические свойства.

6. Разработанный материал с пропитывающим составом на основе масляно-скипидарной композиции, для обработки древесины, обладает высоким светопропусканием образцов и является экологически безопасным и доступным, позволяет рекомендовать такой материал для изготовления декоративного бетона.

7. Введение нанодобавки кислого кремнезоля 2–3 % в жидкостекольное вяжущее, используемое в качестве связующего в декоративном бетоне светопропускающем, способствует снижению величины деформации на

термомеханической кривой, температурный переход в текучее состояние происходит после 240–250 °С, что свидетельствует о высокой степени термостойкости и обеспечивает увеличение адгезионной прочности с древесным светопроницаемым заполнителем до 0,9–1,6 МПа.

8. Установлено, что при термопрогреве древесных образцов, пропитанных масляно-скипидарной композицией, происходит образование эпоксидных групп, о чем свидетельствуют результаты ИК-спектральных исследований в районе 820–840 см⁻¹ и подтвержденных химическим анализом.

9. Разработан состав декоративного древобетона с наибольшими значениями фотометрических свойств: светопроницаемость 76–79 %, освещенность 912–948 лк, светимость – 912–948 лм / м², сила света – 82–85 кд, яркость – 4 560–4 740 кд / м². Показатели прочности при изгибе и сжатии декоративного бетона составили 1,9–2,0 и 5,7–5,9 МПа соответственно.

ГЛАВА 5. ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА ДЕКОРАТИВНОГО БЕТОНА С ФОТОМЕТРИЧЕСКИМИ СВОЙСТВАМИ И ЕГО ТЕХНИКО- ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ

5.1 Технология производства изделий из декоративного бетона с фотометрическими свойствами

Основные этапы технологии получения декоративного бетона с фотометрическими свойствами позволяет создавать высокодекоративные изделия с правильно подобранной структурой и достаточно плотным расположением частиц древесного светопропускаемого заполнителя, с обеспечением высокой архитектурно-декоративной выразительности. Полученный материал со светопропусканием в виде декоративных плит со световыми свойствами и заданными эксплуатационными и физико-механическими параметрами на основе отходов деревообработки, дает возможность вводить в технологический процесс ранее неиспользуемое местное сырье из малоценных пород – березы и осины.

Проведенные исследования показали целесообразность использования древесного светопроницаемого заполнителя определенных фракций для декоративных бетонных изделий в виде плит древобетонных со светопропускающим эффектом «ПАСЭ» размерами $1,2 (0,6) \cdot 0,6 (0,3) \cdot 0,03 (0,025, 0,020)$ м. Результаты испытаний подтвердили возможность получения декоративного бетона с фотометрическими свойствами на основе древесины светопропускающей и обработанных кусковых отходов от нее фракций 3-5, 5-10 и 10-20 мм, а также разработанный способ формирования декоративной поверхности, имитирующей натуральное дерево, позволяют органично интегрировать их не только в городскую среду.

В таблице 5.1 представлена область применения декоративного бетона, пропускающего свет.

Таблица 5.1 – Область применения декоративного бетона, пропускающего свет

Наименование материала	Назначение	Область применения	
1	2	3	
Декоративный бетон, пропускающий свет	Декоративное	Сельскохозяйственное строительство	Панели Плиты Перегородки
		Промышленное строительство	
		Малоэтажное жилищное строительство	
		Культурно-бытовое строительство	
		Декоративные заборы	
		Не несущие стены (раздвижные внутренние стены, стены под коммуникации и сети)	
		Древобетонные щиты	
		Межкомнатные перегородки	
		Большие поверхности остекления – витражи	
		Интерьер	Отделка и облицовка стен, перегородок, столешниц и др.
			Аксессуары
			Декоративные элементы
			Декоративное панно
		Малые архитектурные формы	Стойки баров, тумбы, столешницы, светильники, облицовочные плиты и др.
		Большие архитектурные формы	Подпорные стенки, ограждения, скамейки и др.
		Мебельное производство	Столешницы, столы, стойки ресепшн, тумбы, шкафы, гардеробная, мебель
		Светящийся дизайн интерьера	Художественное оформление (заведения, в которых требуется ярко красочное и необычное оформление)

Продолжение таблицы 5.1

1	2	3	
Декоративный бетон, пропускающий свет	Декоративные	Архитектурный образ	Фасады и фасадные конструкции, технологические центры
		Рекламные стены и стенды	
	Вторичное сырье (переработка отходов, рециклинг)	Ориентированно-стружечные плиты (ОСП)	
		Древесно-стружечные плиты (ДСП)	
		Древесно-волоконистые плиты (ДВП)	
		Древесный композит (ДК)	
		Древесно-полимерный композит (ДПК)	
		Стеклодревесная панель	
		Тырсолит	
		Терос-монолит	
		Терос-гран	
		Опилкобетон	
		Стружкобетон	
		Ксилолит (магнолит)	

На основе проведенных исследований, разработаны рецептуры (составы) и варианты технологий получения декоративного бетона светопропускаемого.

Древобетон светопропускающий изготавливался в виде образцов, основные компоненты были следующие: древесный светопропускающий наполнитель различных фракций: 3-5, 5-10, 10-20 мм; мелкий кремнеземистый наполнитель фракции 2,5-7,0 мм; натриевое (калиевое) жидкое стекло; кремнезоль кислый (нанодобавка).

Варианты составов для изготовления декоративного бетона светопропускаемого представлены в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Варианты составов для изготовления декоративного бетона светопропускаемого

№ п/п	Древесный светопропускаемый наполнитель, в мас. частях	Мелкий кремнеземистый наполнитель, в мас. частях	Натриевое или калиевое жидкое стекло, в мас. частях	Кислый кремнезоль, в мас. частях
1	1	1	1	1
2	1	2	1	1
3	2	1	1	1
4	3	1	1	1

Разработаны варианты технологии получения декоративного бетона светопропускающего (рисунок 5.1). Ниже дается описание каждого основного этапа.

Подготовка и дозирование.

С помощью бункеров и дозаторов происходит автоматическое дозирование требуемого количества компонентов древобетона светопроницаемого.

Подготовка формы.

— Перед укладкой древобетонной смеси светопроницаемой, форма тщательно чистится, смазывается и обертывается слоем водонепроницаемой пленки, далее ее сборка.

Приготовление смеси древобетонной светопропускаемой.

— Все компоненты древобетонной смеси светопропускающей перемешиваются с целью достижения однородной массы. Затем, с помощью дозатора, вводят жидкостекольное связующее и перемешивание продолжается 1,5-2,0 минуты, что обеспечивает равномерное распределение связующего по всему объему смеси.

Укладка смеси древобетонной светопроницаемой в формы.

— Данный этап считается одним из важнейших, поскольку напрямую влияет на физико-механические свойства декоративного бетона светопропускающего. Связано это с качественной укладкой, от которой зависит дальнейшая равномерность распределения компонентов смеси в опалубке, что довольно сильно влияет на фотометрические свойства будущего древобетона.

Уплотнение смеси декоративного бетона в формах.

— Эта стадия – важнейший технологический этап, влияющий на физико-механические и световые свойства декоративного бетона, обладающего светопропусканием.

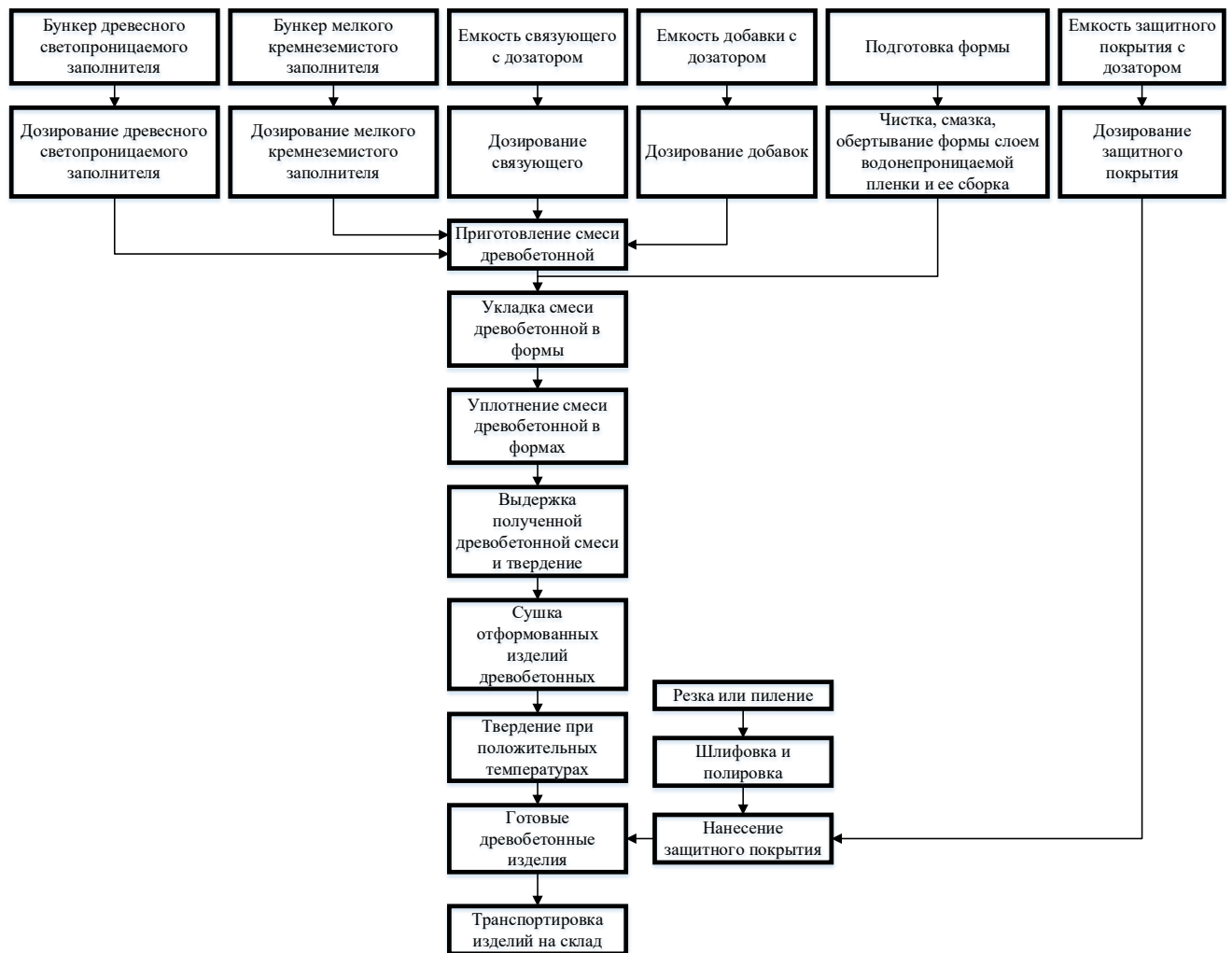


Рисунок 5.1 – Технология производства декоративного бетона светопроницаемого (первый вариант)

Этот фактор, особенно воздействует на макроструктуру, в т.ч., на некоторые ее функции: тепло- и звукопроводность, влагостойкость и среднюю плотность. Данная стадия является самой ответственной из всех в процессе изготовления изделий древобетонных светопроницаемых. Основная задача при укладывании древобетонной смеси с фотометрическими свойствами – равномерное распределение древобетонной массы по всей опалубке.

Выдержка полученной древобетонной смеси светопроницаемой и твердение.

На этом этапе идет выдержка смеси древобетона светопропускаемого до заданного времени для набора его прочности.

Сушка отформованных изделий декоративных светопропускаемых и их твердение при положительных температурах.

— Сушка изделий светопроницаемых из декоративного бетона осуществляется при температуре 40–50 °С и относительной влажности воздуха 70–80 %. При этом режиме древобетон светопропускаемый обретает через 18–20 часов достаточную распалубочную прочность в пределах 25–40 % от расчетной прочности. Дальнейшее увеличение прочности и снижение влажности происходит в нормальных температурно-влажностных условиях в течение 7–14 дней. Определено, что главный фактор, влияющий на прочность древобетона светопроницаемого это адгезия между отдельными частицами древесного заполнителя и жидкостекольным вяжущим.

По окончании работы, готовые изделия светопропускающие извлекаются и проходят резку или пиление на требуемые размеры, затем шлифовку и полировку. Далее, нанесение защитного покрытия для обеспечения водостойкости и сохранения светопропускания декоративного бетона. Долговечность данного покрытия составляет примерно до 15-20 лет [180, 181].

Готовые изделия из декоративного бетона светопроницаемого направляются на склад.

Второй вариант технологии получения декоративного бетона с фотометрическими свойствами представлен на рисунке 5.2.

Отличительная особенность данной технологии от той, что приведена на рисунке 5.1 – она включает в себя нижеописанные основные этапы.

Подготовка фактурного слоя из цельной древесины светопроницаемой.

— На этом этапе готовятся и фиксируются фактурные слои из цельной древесины светопроницаемой площадь которых равна площади древобетонной светопропускающей плиты.

Подготовка и дозирование.

— С помощью бункеров и дозаторов происходит автоматическое дозирование требуемого количества компонентов декоративного бетона светопроницаемого.

Подготовка формы.

— Перед приготовлением и укладкой древобетонной смеси светопроницаемой, форма тщательно чистится, смазывается и обертывается слоем водонепроницаемой пленки, затем ее сборка.

Приготовление бетонной декоративной смеси светопропускаемой.

— Все компоненты смеси светопропускаемой смешиваются для получения однородной массы. Далее, посредством дозатора, вводят жидкостекольное связующее и осуществляется перемешивание всех компонентов в течение 1,5-2,0 минут.

Укладка на дно формы первого фактурного слоя из цельной древесины светопроницаемой.

— С помощью специальной фиксирующей установки подается и укладывается первый фактурный слой из цельной древесины светопроницаемой на дно формы.

Укладка древобетонной смеси светопропускаемой с одновременным уплотнением методом вибрирования.

— В процессе вибрирования бетонной смеси светопропускающей последняя приобретает свойства подвижности и удобоукладываемости. Поверхность, из первого фактурного слоя цельной древесины светопроницаемой, должна быть ровной, т.к. она лицевая.

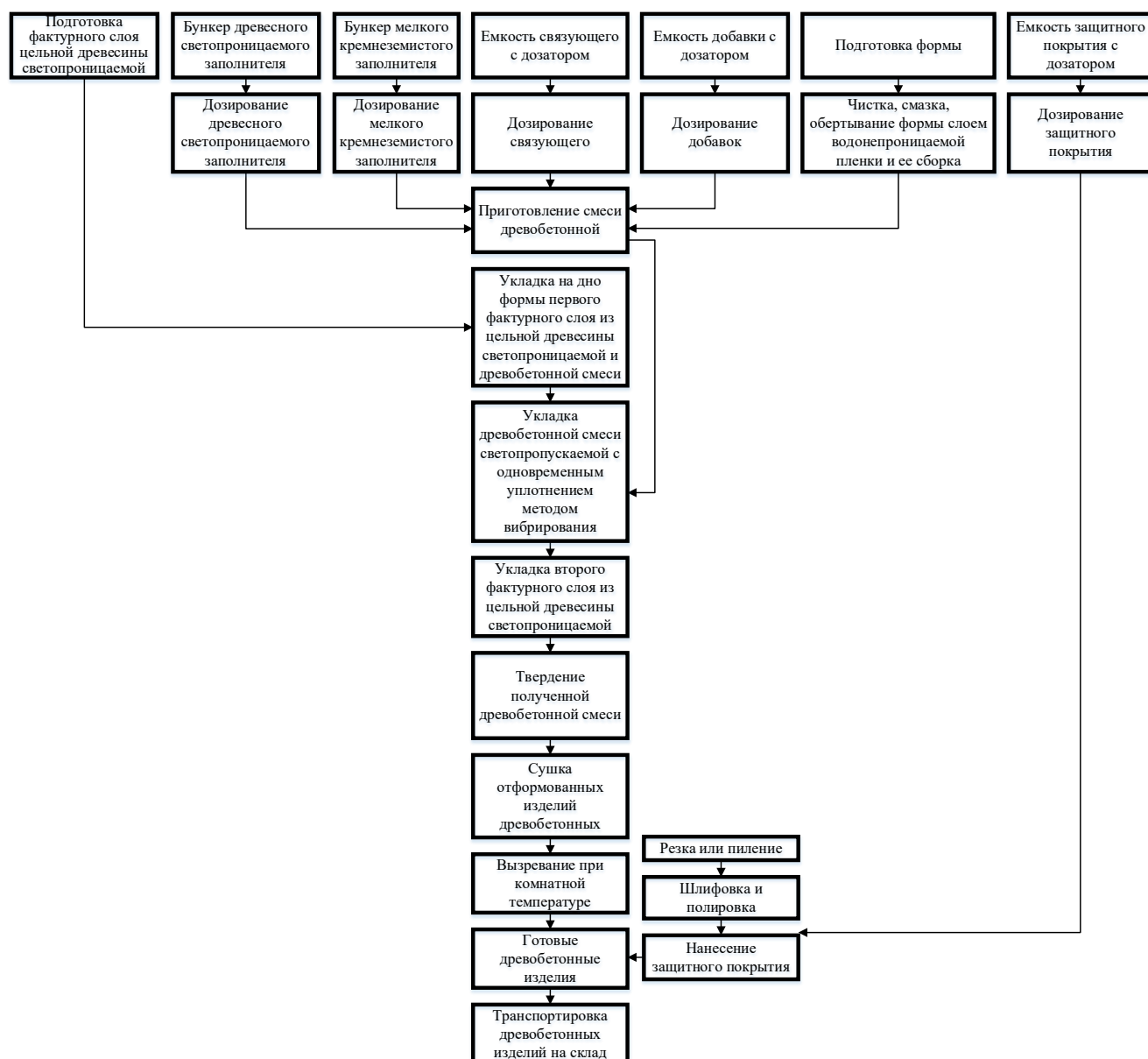


Рисунок 5.2 – Технология производства декоративных бетонных изделий с фотометрическими свойствами (второй вариант)

Укладка второго фактурного слоя из цельной древесины светопропускаемой.

— С помощью специальной фиксирующей установки подается и укладывается второй фактурный слой из цельной древесины светопропускаемой на поверхность смеси.

Выдержка полученной смеси бетона декоративного светопропускаемого и его твердение.

— На этом этапе идет выдержка древобетонной смеси светопропускаемой до заданного времени для набора прочности.

Сушка отформованных изделий и их вызревание осуществляется при комнатной температуре.

— Высушивание изделий светопроницаемых из декоративного бетона. В течение первых суток осуществляется низкотемпературная обработка при температуре 40–50 °С и относительной влажности воздуха 70–80 %. При этом прочность таких изделий достигает 25–40 % от проектной. Через 7-14 суток прочность изделий из декоративного бетона достигает проектных значений.

По завершении работы, изделия светопропускающие извлекаются и проходят резку или пиление на заданные размеры, далее шлифовку и полировку. Далее, осуществляется нанесение защитного покрытия для обеспечения водостойкости и сохранения светопропускания древобетона.

Готовые изделия светопроницаемые транспортируются на склад.

Преимуществом второго варианта технологии является то, что при вибрировании происходит ее уплотнение и снижается количество воздуха между компонентами смеси, увеличивая площадь контакта между ними. Это повышает адгезию, плотность и другие характеристики материала.

Данная технология достаточно проста, но, с др. стороны, все же имеет определенные недостатки: при нарушении технологического режима возможно расслоение материала при эксплуатации.

В результате реализации приведенных технологий (рисунок 5.1 и 5.2) получился декоративный бетон на древесном заполнителе с фотометрическими свойствами. В таблице 5.3 приведены результаты испытаний составов древобетона светопроницаемого. Размер образцов составлял 0,04 · 0,04 · 0,16 м.

Таблица 5.3 – Физико-механические свойства декоративного бетона светопропускающего

№ состава	Соотношение компонентов, [...]	Плотность, кг/м ³	Прочность при изгибе, МПа	Прочность при сжатии, МПа
1	1 : 1 : 1	930	1,4–1,6	4,2–4,6
2	1 : 2 : 1	905	1,2–1,3	3,4–3,7
3	2 : 1 : 1	870	1,7–1,8	4,9–5,5
4	3 : 1 : 1	790	1,9–2,0	5,7–5,9

По результатам испытаний декоративного бетона светопропускающего наибольшими значениями по пределу прочности при изгибе и сжатии обладают четвертые составы, т. к. они содержат наибольшее количество древесного заполнителя, который выдерживает большую разрушающую нагрузку при испытании на прочность при сжатии и изгибе.

Для проверки декоративного бетона светопроницаемого на фотометрические свойства, измерены его освещенность, светопроницаемость, светопоглощение, светимость, сила света и яркость (таблица 5.4). Размер декоративных бетонных образцов светопропускаемых составлял $0,18 \cdot 0,10 \cdot 0,03$ м.

Таблица 5.4 – Фотометрические свойства декоративного бетона светопропускающего

№ состава	Соотношение компонентов, [...]	E, лк	T, %	A, %	M, лм/м ²	I, кд	L, кд/м ²
1	1 : 1 : 1	852–900	71–75	29–25	852–900	77–81	4 260–4 500
2	1 : 2 : 1	912–948	76–79	24–21	912–948	82–85	4 560–4 740
3	2 : 1 : 1	792–828	66–69	34–31	792–828	71–75	3 960–4 140
4	3 : 1 : 1	768–792	64–66	36–34	768–792	69–71	3 840–3 960

По полученным экспериментальным данным сделаны выводы по корректировке состава декоративного бетона на древесном заполнителе, обеспечивающим пропускание света.

Самые высокие значения по светопроницаемости, у второго состава декоративного бетона светопропускаемого с соотношением компонентов 1 : 2 : 1. У данного состава светопропускная способность составила от 76 до 79 %, что на 26–29 % выше светопропускаемости цементного бетона светопроводящего из оптических призм ($T = 50$ %).

5.2 Разработка технологической линии и блок-схемы производства изделий из декоративного бетона светопропускаемого

Для опытно-производственного внедрения декоративного бетона светопропускающего разработана технологическая линия (Приложение 2) и блок-схема производства изделий из данного инновационного материала, составленные на базе рецептур и алгоритмов получения древесного светопроницаемого заполнителя. Спецификация оборудования технологической линии производства изделий из декоративного бетона со световыми свойствами представлена в Приложении 3.

Технология производства изделий из декоративного бетона светопропускающего включает несколько основных этапов, каждый из которых играет важную роль в обеспечении качества и эффективности производства.

Начальный этап – доставка сырьевых компонентов. Заполнители: древесные отходы в виде обрезков пиломатериалов и кремнеземистый мелкий заполнитель доставляются на производственную площадку автомобильным транспортом и хранятся в сухих закрытых складских помещениях.

Пероксид водорода, щелочной агент, растительное масло, скипидар, связующее (жидкое стекло), нанодобавка (кремнезоль) и защитное покрытие хранятся в отдельных закрытых складских помещениях.

Древесные отходы деревообработки через приемную воронку подаются на скребковый конвейер и далее производится их очистка от минеральных и металлических включений.

В процессе перемещения кусковых отходов механической транспортной машиной, установленный над ней в подвешенном состоянии кронштейном магнитный сепаратор (железоотделитель), извлекает металлические частицы и ферромагнитные тела из всего потока таких отходов под действием магнитного поля.

Переработка древесных отходов.

Кусковые отходы направляются в загрузочный патрон молотковой дробилки и после их переработки, под действием напора воздуха, в виде древесной дробленки, выбрасываются вверх по трубопроводу в циклон.

- Очистка древесной дробленки от пыли и ее смесей с сухими стружками и опилками.

Очищается дробленка внутри циклона от не слипающихся, не волокнистых и шлифовальных пылей, в т.ч. ее смесей с сухими стружками и опилками.

- Выгрузка дробленки в бункер.
- Выгрузка древесных отходов в барабанный дозатор.
- Дозирование дробленки по массе.
- Перед высыпанием древесных отходов в сетчатый контейнер, данный контейнер по сетчатому конвейеру подъезжает к установленным на конвейерной линии периллам, задевая под определенным углом двумя верхними ручками, сделанными с боковых противоположных сторон крышки, оба верхних упирающихся механизмов поручней так, что крышка такого контейнера открывается по горизонтали.

- Выгрузка кусковых отходов в сетчатый контейнер.
- Закрытие крышки сетчатого контейнера за счет дальнейшего проскальзывания верхних ручек по упирающимся механизмам под определенным углом при перемещении этого контейнера по сетчатому конвейеру.

- Отбеливание (делигнификация) древесных отходов.

При погружении дробленки с сетчатым контейнером в пропиточную ванну, происходит ее замачивание отбеливающим раствором, под действием УФ-облучения на 10-15, 20-25 или 30-35 минут в зависимости от фракции 3-5, 5-10 или 10-20 мм соответственно. В процессе делигнификации кусковых отходов, происходит удаление из них большей части натуральных светопоглощающих веществ для обеспечения светопроницаемости и ускорения инфильтрации этих отходов др. реактивами на последующих химических этапах. Состав данного раствора: вода, перекись водорода и щелочной агент. Источник УФ-излучения – сменная УФ-лампа мощностью 48 Вт. Для уравнивания химических реакций

отбеливающего раствора, лучшего контроля процесса отбели древесных отходов и снижения или устранения непроизводительного расхода перекиси водорода, значит, самого раствора, могут использоваться стабилизаторы и хелаторы, а именно, (к примеру, 3 % мас.) силиката натрия, (например, 0,1 % мас.) сульфата магния и (допустим, 0,1 % мас.) ДТПА. Однако, в целях обеспечения безопасности от возможного негативного воздействия паров этого раствора в рабочей зоне производства, предусмотрен воздухораспределитель вытяжной четырехсторонний в соответствии с ГОСТ 32548-2023 [182]. В плане меры безопасности и коллективных средств защиты при работе учтены защитные очки, респираторы, защитная специальная одежда согласно ГОСТ 12.1.007-76.

После снижения дозы, концентрации и водородного показателя отбеливающего раствора до определенных уровней в пропиточной ванне, через контроль дозирования химических реагентов посредством датчиков (на схеме не показаны), открывается первый шаровый кран и сливается такой раствор в трубопровод. Затем, открывается второй шаровый кран, чтобы из др. трубопровода выходила вода в ванну для растворения и вымывания остатков делигнифицирующего раствора. Далее, кран закрывается и жидкость до конца сливается в утилизирующую трубу, находящуюся под дном ванны. Только потом перекрывается сливной трубопровод.

Для заполнения пропиточной ванны тем же отбеливающим раствором, химические реагенты, подготовленные в отделении приготовления химических добавок и веществ, по трубопроводам поступают в два бака и один бункер с помощью насосов-дозаторов типа НД (на схеме не показаны). Далее, первые два реактива – перекись водорода и вода, направляются в автоматические дозаторы, третий – щелочной агент, в объемный дозатор, в которых происходит их точное дозирование. После, данные реагенты отправляются в смеситель, в котором они перемешиваются от 0,5 до 1 минуты, потом сразу поступают в реагентный блок для отбеливающего раствора и от него в пропиточную ванну.

В случае повреждения ванны для отбеливающего раствора, останавливается вся технологическая линия производства, открывается шаровый кран третьего

трубопровода и, по нему, этот раствор сливается в бак временного хранения (при условии, если не зафиксировано значительное снижение его дозы, концентрации и водородного показателя ниже определенного уровня). При обнаружении такой ситуации, делигнифицирующий раствор утилизируется. Закрывается кран. После проведенных мероприятий по устранению несоответствий, снова открывается шаровый кран и из данного бака этот раствор опять направляется по трубе в такую ванну.

— Сушка делигнифицированной (отбеленной) дробленки.

Химически обработанные древесные отходы с сетчатым контейнером встают под электрический калорифер и сушатся в течение 1 часа при 100 °С. В этот момент остатки отбеливающего раствора стекают с делигнифицированной дробленки и контейнера на отлив, установленный под определенным углом в сторону ванны с таким раствором (отлив на схеме не показан). Процесс сушки важен потому, что происходит испарение делигнифицирующего раствора из отходов деревообработки, освобождая их анатомические элементы для проведения последующего этапа.

— Экстрагирование делигнифицированной дробленки.

Погружается отбеленная дробленка с сетчатым контейнером в пропиточную ванну, проходит ее замачивание водой на 10, 20 или 30 минут при фракции 3-5, 5-10 или 10-20 мм соответственно. На этом этапе идет нейтрализация и выведение сформировавшегося в химически обработанной дробленке белого порошка после сушки из-за остатков отбеливающего раствора и экстрактивных веществ, которые оказывают немалое влияние на проницаемость такого отхода, следовательно, на качество пропитывания реактивов в них. Таким образом, освобождаются проводящие анатомические элементы делигнифицированной дробленки.

После накопления в воде примесей до определенного уровня, через контроль дозирования химических реагентов с помощью датчиков (на схеме не показаны), открывается первый шаровый кран и стекается жидкость в трубопровод. Далее, открывается второй кран и из следующей трубы выходит вода в ванну для очищения ее от остатков примесей. Затем, боковая труба перекрывается и вся

жидкость сливается в нижний трубопровод. Как только в пропиточной ванне ничего не осталось, закрывается сливная труба.

Заполнение ванны для пропитки водой, она, из отдела приготовления химических добавок и веществ, по трубопроводам направляется в бак посредством насосов-дозаторов типа НД (на схеме не показаны). Далее, H_2O отправляется в автоматический дозатор, в котором данное вещество дозируется и выливается в ванну.

— Сушка экстрагированной дробленки.

Отходы деревообработки с сетчатым контейнером подъезжают к электрическому калориферу и сушатся в течение 1 часа при $100\text{ }^{\circ}\text{C}$. На этом этапе остатки воды стекают с экстрагированной дробленки и контейнера на отлив, установленный под определенным углом в сторону ванны с H_2O (отлив на схеме не показан). Процесс высушивания необходим для устранения воды из экстрагированной дробленки, освобождая ее анатомические элементы для проведения следующего этапа.

Если повреждена ванна для воды, останавливается вся технологическая линия производства, открывается шаровый кран третьего трубопровода и, по нему, H_2O сливается в бак временного хранения (при условии, если не зафиксировано значительное повышение в ней дозы и концентрации остатков отбеливающего раствора выше определенного уровня. При обнаружении данной ситуации, вода утилизируется). Закрывается кран. После проведенных мероприятий по устранению несоответствий, снова открывается шаровый кран и из данного бака вода снова направляется по трубе в такую ванну.

— Инфильтрация экстрагированной дробленки.

Погруженная дробленка с контейнером в ванну пропитывается масляно-скипидарной композицией на 20, 30 или 40 минут при фракции 3-5, 5-10 или 10-20 мм соответственно. Благодаря скипидару, происходит процесс реакции связывания, в частности, с такими функциональными группами остаточного лигнина, как карбоксилы и гидроксилы, способствуя понижению деформируемости и повышению термостойкости отходов деревообработки в

целом. За счет достаточно глубокого и лучшего проникновения масляно-скипидарной композиции в древесину, при ее меньшей условной вязкости и поверхностном натяжении, чем у растительного масла без модификатора, обеспечивается высокая светопроницаемость этих отходов и повышается их уровень экологичности по причине достаточно хорошей совместимости масла с древесиной [183].

По результатам снижения дозы и концентрации данной композиции до определенного уровня, открывается сливной трубопровод и масляно-скипидарная композиция стекает вниз по нему. После этого, от боковой трубы направляется органический растворитель в ванну, чтобы промыть ее от остатков этой композиции и потом закрывается шаровым краном. Вся маслянистая жидкость с растворителем сливается в нижний трубопровод.

Для дальнейшего наполнения ванны масляно-скипидарной композицией, через насосы-дозаторы типа НД, по трубопроводам идут растительное масло и скипидар (на схеме не показаны), которые затем попадают в баки, далее – в автоматические дозаторы, где они отмеряются и поступают в смеситель. Данные компоненты перемешиваются в течение 1,5 минут, в результате получается композиция, направляющаяся в реактивный блок и от него в ванну.

В случае повреждения ванны для масляно-скипидарной композиции, останавливается вся технологическая линия производства, открывается шаровый кран третьего трубопровода и, по нему, эта композиция сливается в бак временного хранения (при условии, если не зафиксировано значительное снижение ее дозы и концентрации ниже установленного уровня. При обнаружении такой ситуации, данная композиция утилизируется). Закрывается кран. После проведенных мероприятий по устранению несоответствий, снова открывается шаровый кран и из данного бака масляно-скипидарная композиция опять направляется по трубе в такую ванну.

В силу летучести скипидара, над пропиточной ванной предусмотрен воздухораспределитель вытяжной четырехсторонний.

— Сушка инфильтрованной дробленки.

Высушивание отходов деревообработки при 75–85 °С в течение 25–35 минут с помощью электрического сушильного туннеля, в котором сушильный агент – нагретый воздух. В дробленке происходит эпоксидирование растительного масла, благодаря чему масляно-скипидарная композиция затвердевает, что гарантирует обеспечение сохранения и повышения ее светопроницаемости. В момент, когда сетчатый контейнер с инфильтрованной дробленкой проходит участок от ванны до сушильного туннеля включительно, остатки данной композиции стекают на отлив, установленный под определенным углом в сторону ванны (отлив на схеме не показан).

Участки сетчатой конвейерной линии, которые находятся между пропиточными ваннами, разделены на две равные части (на схеме не показано) во избежание попадания остатков химических веществ из одной ванны в др. с помощью движущейся сетки.

— Перед высыпанием инфильтрованной дробленки после термопрогрева, сетчатый контейнер переезжает с одного сетчатого конвейера на др., на котором установлены перилла. Данный контейнер задевает двумя нижними ручками, сделанными с боковых противоположных сторон крышки дна, оба нижних упирающихся механизмов поручней под определенным углом так, что крышка такого контейнера открывается по горизонтали. В результате инфильтрованная дробленка высыпается в приемную воронку скребкового конвейера.

— Закрытие крышки дна сетчатого контейнера за счет дальнейшего проскальзывания нижних ручек под определенным углом при перемещении этого контейнера по сетчатому конвейеру.

— Промывание сетчатых контейнеров от остатков эпоксидированного растительного масла.

Направляются контейнеры по сетчатому конвейеру в ванну для очищения от остатков эпоксидированного растительного масла (ванна на схеме не показана). Далее, сетчатые контейнеры возвращаются на этап засыпания в них следующей партии естественной дробленки.

— Транспортирование инфильтрованной дробленки.

Перемещаются отходы деревообработки по скребковому конвейеру вверх под определенным углом и высыпаются через разгрузочную воронку в бункер. Кремнеземистый мелкий заполнитель направляется, с помощью ленточного транспортера (на схеме не показан) с углом наклона от 25° до 30° , в совмещенный с ним бункер. Натриевое жидкое стекло и кремнезоль поступают из отдела приготовления химических добавок и веществ по трубопроводам в баки посредством насосов-дозаторов типа НД (на схеме не изображены).

— Приготовление древобетонной смеси светопроницаемой.

Подается команда на изготовление древобетонной смеси светопропускаемой.

Компоненты, через бункеры и баки, направляются в объемные и автоматические дозаторы, затем сразу отмеряются. Далее, дробленка и кремнеземистый мелкий заполнитель высыпаются в смеситель, в котором они перемешиваются в течение 60 секунд для получения сухой смеси. Одновременно с этим же процессом, натриевое жидкое стекло и кремнезоль, в др. смесителе, смешиваются на протяжении 60 секунд с целью изготовления жидкостекольного связующего. Затем, в бетоносмеситель сначала поступает сухая смесь, только потом вяжущее, обеспечив раствородревесное отношение и подвижность древобетонной смеси, после, смесь перемешивается еще в течение 60 секунд. Полученная древобетонная смесь светопроницаемая направляется в бункер.

— Формование изделий.

Подготовленная смесь выгружается в бетоноукладчик. Далее, укладывается декоративная бетонная смесь в металлическую форму послойно и включается виброплощадка. Частота, амплитуда и продолжительность вибрации задается и контролируется в зависимости от размеров и вида изделия.

Если формование изделия проводится посредством глубинного вибратора, то вибрационное воздействие на древобетонную смесь должно длиться до тех пор, пока из нее не перестанет выходить воздух.

Уплотнение декоративной бетонной смеси светопроницаемой вибрированием выбрано потому, что при этом методе отсутствует разлом частиц заполнителей светопрозрачных, которое обычно приводит к появлению на них

мутно-белого цвета и увеличению показателя преломления между ними, из-за чего повышается светопоглощение, следовательно, ухудшаются остальные фотометрические характеристики. В итоге, негативно отражается на эстетическом виде декоративного бетона.

Продолжительность формования одного декоративного бетонного изделия не должна быть больше 3–5 минут в зависимости от размеров и вида изделия.

— Выдержка изделий для набора прочности.

Металлическая форма с древобетонной смесью перемещается ленточным конвейером из под бетоноукладчика к подготовленному месту и выдерживается в форме до начала тепловой обработки.

Форма с древобетонной смесью передвигается с одной ленточной конвейерной линии на др. При этом длина декоративной бетонной светопропускающей плиты составляет, например, 0,6–1,2 м. Распалубка и очистка форм.

Рабочим персоналом перемещается металлическая форма с древобетонным изделием от сушильного туннеля к пост распалубки. Изделие извлекается из формы и выдерживается при температуре не ниже 15 °С в течение 3–4 дней.

— Цех доводки изделий (приемка продукции).

Приемка продукции проводится в соответствии с правилами и характеристиками, установленными в НТД на каждый вид продукции.

Приемка продукции реализуется поэтапно.

Первая приемка – древобетонное изделие после формования и выдержки (заготовка).

Вторая приемка – после механической обработки и покрытия изделия специальным защитным покрытием.

Выходной контроль – после погрузки продукции заинтересованной стороне.

Продукция упаковывается и маркируется только по завершении всех стадий контроля.

В свою очередь, вышеописанные процессы технологического приема воспроизводятся с помощью следующего оборудования:

- 1) скребковый конвейер представляет собой механическую транспортную машину непрерывного действия, предназначенная для подачи кусковых грузов;
- 2) магнитный сепаратор подвесной с автоматической очисткой (СМПА) – специальное оборудование, применяемое для улавливания частиц (примесей), которые состоят из черных и (или) цветных металлов, что способствует улучшению качества исходного сырья и готового изделия, соответственно, продлению срока службы др. оборудований технологической линии производства;
- 3) молотковая дробилка представляет собой механическое оборудование для измельчения того или иного сырья, в частности, древесных отходов в виде обрезков пиломатериалов и заготовок в дробленку;
- 4) циклон – оборудование, предназначенное для отделения твердых частиц от воздушного потока по принципу центробежной силы;
- 5) бункеры – оборудования, необходимые для обеспечения наилучших условий хранения компонентов. Более распространенными считаются вертикальные бункеры прямоугольного и круглого сечения;
- 6) дозаторы являются устройствами, обеспечивающие периодическую или непрерывную подачу компонента в установленных по массе или объему количествах. Они подразделяются с ручным, дистанционным и автоматическим управлением;
- 7) сетчатый конвейер – один из видов ленточного транспортера, главный элемент конструкции которого – плетеная металлическая сетка;
- 8) баки – емкости для временного хранения, запаса и дальнейшего вытеснения по трубопроводам веществ в др. места;
- 9) реагентные блоки (емкости) – установки, предназначенные для приготовления, поддержания концентрации раствора и его дозирования;
- 10) смесители – технологическое оборудование, которое осуществляет изготовление различных смесей из тех или иных исходных компонентов;
- 11) УФ-лампа – осветительное оборудование, излучающее свет в невидимом для человека спектре;

12) электрические калориферы являются теплообменными устройствами для нагревания воздушного потока;

13) воздухораспределители вытяжные четырехсторонние – устройства, предназначенные для распределения и отвода воздуха в климатических средах тех или иных типов помещений;

14) сушилка туннельная представляет вид оборудования, предназначенный для сушки сырьевых материалов, в частности, древесных отходов;

15) ленточный конвейер представляет из себя один из самых распространенных типов погрузочно-разгрузочного оборудования, которое предназначено для перемещения насыпных или штучных грузов, например, измельченную древесину;

16) смеситель сухих смесей – оборудование для перемешивания разных типов сыпучих материалов для получения сухих строительных смесей, чтобы получить равномерную смесь;

17) бетоносмеситель – устройство, необходимое для приготовления различных смесей из определенных сырьевых материалов;

18) бетоноукладчик является самоходной специальной машиной, предназначение которой принимать, укладывать и распределять бетонные смеси в формы;

19) виброплощадка – стационарное вибрационное формовочное оборудование, предназначение которого – равномерно распределять и уплотнять бетонную смесь в форме;

20) электрический сушильный туннель является оборудованием для высушивания материалов и продуктов в процессе их перемещения;

21) автопогрузчик – подъемно-транспортное оборудование для погрузки, например, штучных грузов, в частности, на разгрузки или их перемещения в хранилища при складировании и распределении.

Характеристики технологических оборудования технологической линии производства декоративного бетона светопропускаемого представлены в Приложении 4.

Блок-схема технологии производства изделий из декоративного бетона светопропускаемого представлена на рисунке 5.3.

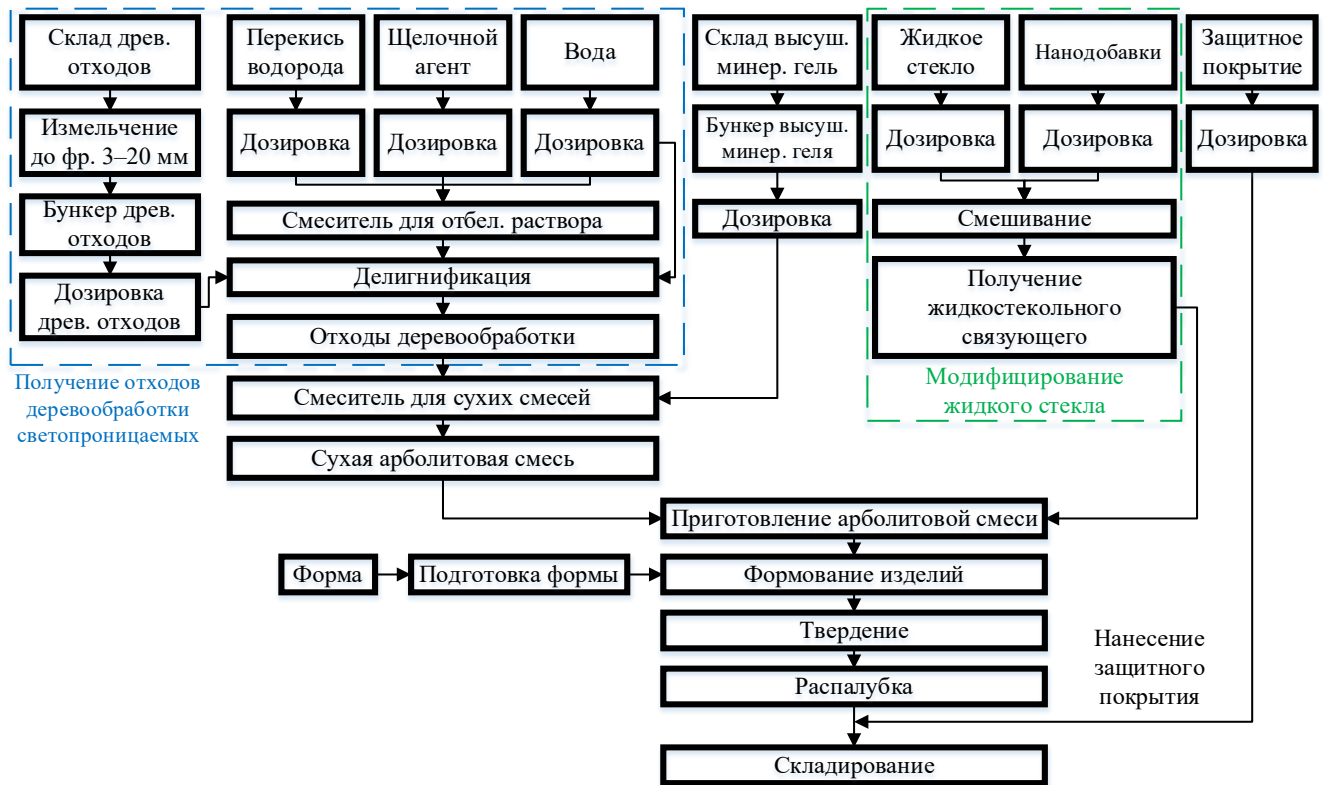


Рисунок 5.3 – Блок-схема технологии производства изделий из декоративного бетона светопропускаемого

По вышепредставленной блок-схеме технологии производства, свойства изделий из декоративного бетона светопропускающего следующие: светопропускаемость 64–79 %, прочность при изгибе и сжатии 1,2–2,0 и 3,4–5,9 МПа соответственно. Для сохранения светопропускания и обеспечения водостойкости декоративного бетона рекомендуется использовать защитное покрытие.

Подводя итог, технология производства декоративных бетонных плит светопропускающих из отходов деревообработки не требует значительной реорганизации существующих производств отделочных материалов и деревообработки.

5.3 Техничко-экономическое обоснование эффективности производства изделий из декоративного бетона с фотометрическими свойствами

Экономическая эффективность применения древесных отходов для изготовления изделий из древобетона: 1 м³ древобетона высвобождает 1 м³ крупномерной деловой хвойной древесины. В то же время, на изготовление 1 м³ древобетона расходуется всего 0,6 м³ плотных отходов деревообработки или 0,74 м³ плотных отходов лесозаготовок. Следовательно, нетрудно посчитать, сколько лесов можно сохранить от вырубки, разумно используя заготавливаемую древесину. По свойствам древобетон схож с деревом, поскольку до 90 % от объема его состава – древесная дробленка. Однако, в отличие от древесины, он не горит и не гниет, влагостойкий, водостойкий (за счет защитного покрытия), не поражается микрофлорой, плесенью, грибами и химическими веществами в условиях достаточно агрессивной среды.

Экспериментально подтверждена возможность получения декоративного древобетона с использованием отходов деревообработки светопроницаемых фракции 3-5, 5-10 и 10-20 мм, жидкого стекла, кремнезоля и кремнеземистого мелкого заполнителя размерностью 2,5-7,0 мм.

Для определения технико-экономической эффективности использования декоративных бетонных изделий с фотометрическими свойствами произведен сравнительный расчет стоимости 1 м³ древобетона светопропускающего, цементного древобетона и бетона светопроводящего с оптическими волокнами (ОВ).

Для подтверждения экономической эффективности использования полученных результатов исследований проведем соответствующие расчеты. На 1 м² бетона светопроводящего расходуется до 5 % ОВ. Получается, площадь, которую занимают ОВ в таком бетоне 0,05 м². Следовательно, площадь поперечного сечения ОВ рассчитывается по формуле (5.1):

$$S_{\text{сечОВ}} = \frac{\pi}{4} \cdot D_{\text{ОВ}}^2, \quad (5.1)$$

где π – постоянная величина, равная 3,14; $D_{ОВ}$ – диаметр полимерного оптического волокна, м².

Например, из всех вышепредставленных значений диаметров ОВ, берется диаметр, равный $0,5 \cdot 10^{-3}$ м. Тогда общее количество оптических волокон на 1 м² бетона светопроводящего находится по формуле (5.2):

$$n_{ОВ} = \frac{S_{ОВ}}{S_{сечОВ}}, \quad (5.2)$$

где $S_{ОВ}$ – площадь оптических волокон, м²; $S_{сечОВ}$ – площадь поперечного сечения полимерного оптического волокна, м².

Определена технико-экономическая эффективность использования декоративного бетона светопропускающего относительно древобетона цементного и бетона светопроводящего с ОВ по сравнительным расчетам стоимости компонентов на 1 м³ готовых изделий и стоимости плит из данных материалов размером $1,2 \cdot 0,6 \cdot 0,03$ м (таблицы 5.5, 5.6, 5.7 и 5.8).

Таблица 5.5 – Расчет стоимости по компонентам 1 м³ декоративного бетона светопропускающего

Компоненты	Стоимость единицы, руб./кг	Расходы компонентов, кг	Стоимость компонентов, руб.
Крупный и средний древесный наполнитель	6,5	410	2 665
Мелкий древесный наполнитель	5	70	350
Вода	0,08	153	12,23
Перекись водорода	30	146	4 468
Щелочной агент	21	0,8	17,25
Подсолнечное масло	10	112	1 120
Скипидар	63	28	1 764
Натриевое жидкое стекло	8	270	2 160
Мелкий синтетический наполнитель	12	100	1 172
Кислый кремнезоль	75	13	1 010
Итоговая стоимость компонентов, руб/кг	—	—	14 387,92 или 13 565,92

В таблице 5.5, итоговая стоимость компонентов декоративного бетона светопропускающего за 1 м³, если без мелкого древесного наполнителя, составит 14 387,92 рублей, если без мелкого синтетического наполнителя – 13 565,92 рублей.

Поскольку оба данных мелких заполнителя одновременно не используются, т. к. у них одинаковое назначение – заполнять оставшиеся мелкие пустоты в древобетоне.

Таблица 5.6 – Расчет стоимости по компонентам 1 м³ древобетона цементного

Компоненты	Стоимость единицы, руб/кг	Расходы компонентов, кг	Стоимость компонентов, руб
Крупный и средний древесный заполнитель	6,5	300	1 950
Мелкий древесный заполнитель			
Вода	0,08	400	32
ПЦ-500-Д0	9	330	3 102
Натриевое жидкое стекло	8	12	96
Итоговая стоимость компонентов, руб/кг	–	–	5 180

По таблицам 5.5 и 5.6 стоимость 1 м³ древобетона светопропускающего больше на 65 % (в 3 раза) в сравнении с древобетоном цементным.

Таблица 5.7 – Расчет стоимости по компонентам 1 м³ цементного бетона светопроводящего

Компоненты бетонной смеси	Стоимость единицы, руб./кг	Стоимость единицы, руб/шт	Расходы компонентов, кг	Расходы компонентов, шт	Стоимость компонентов, руб
ПЦБ-1-600-Д0	12,3	–	500	–	6 150
Кварцевый песок	8,4	–	1 200	–	10 080
Мраморная крошка	2	–	600	–	1 380
Суперпластификатор MC-PowerFlow 7951	1 400	–	0,38	–	532
Вода	0,08	–	250	–	20
ОВ	–	2,3	–	18 000	41 400
Итоговая стоимость компонентов, руб/кг	–	–	–	–	59 562

Таблица 5.8 – Расчет стоимости плит древобетона светопропускающего, цементного и бетона светопроводящего с ОВ размером 1,2 · 0,6 · 0,03 м

Название строительного материала	Размер плиты, м	Стоимость плиты, руб
Древобетон светопропускающий	1,2 · 0,6 · 0,03	318
Древобетон цементный		112
Бетон цементный светопроводящий		1 287

В результате, стоимость декоративного бетона светопропускающего ниже на 60–70 % (в 3-4 раза) по сравнению с бетоном цементным светопроводящим, что доказывает использование отходов деревообработки светопроницаемых, как основного источника пропускания света и возобновляемого ресурса, экономически выгодно относительно оптических волокон.

5.4 Внедрение результатов работы

Разработанные плиты древобетонные светопропускающие прошли успешную апробацию, выпущены опытные партии на существующем предприятии города Куйбышева. На предприятии ООО «Куйбышевский завод железобетонных изделий и конструкций», по результатам опытно-промышленных испытаний, изготовлена и выпущена опытно-производственная партия древобетонных плит со светопропускающим древесным наполнителем «ПАСЭ 600.300.25» в количестве 19 м² и установлено, что данные плиты имеют светопропускание в пределах от 51 до 72 %. При их изготовлении используется некондиционная малоценная древесина березы, не применяемая, к примеру, в столярных изделиях, что способствует снижению отходов производства и повышает общую эффективность затрат на выпускаемую продукцию завода. Применение древобетонных плит светопропускающих из отходов деревообработки позволяет использовать ранее неприменяемое растительное сырье, что способствует снижению отходов и повышению рентабельности производства. В результате, производство древобетонных плит светопропускаемых считается экономически целесообразным (Приложения 5 и 6).

Разработанные временные технические условия (ВТУ 178-340-003-04-2022) «Плиты арболитовые со светопропускающим древесным наполнителем» одобрены и приняты для использования в проектной деятельности, производстве древобетонных блоков и плит на производственном участке ООО «СтройТехЭкспертПроект» и ООО «Куйбышевский завод железобетонных изделий и конструкций». (Приложения 7, 8, 9 и 10).

Рассмотрены широкие возможности применения изделий из древобетона светопропускающего в сфере архитектуры, строительства и дизайна.

Результаты работы используются в учебном процессе при подготовке бакалавров по направлению «Строительство», специалистов по направлению «Строительство уникальных зданий и сооружений» и магистров по направлению «Строительство» (Приложение 11).

Выводы по главе 5

1. Предложены составы и технологии производства декоративного бетона, пропускающего свет.

2. Разработаны составы декоративного бетона с фотометрическими свойствами прочностью при изгибе 1,2–2,0 МПа и сжатию – 3,4–5,9 МПа, светопропускаемостью 64–79 %. Наивысшие значения по светопропусканию, у второго состава с соотношением компонентов 1 : 2 : 1 и составляют от 76 до 79 %, что на 26–29 % выше светопропускаемости цементного бетона светопроводящего из оптических призм ($T = 50 \%$).

3. Разработана технологическая линия и блок-схема технологии производства изделий из декоративного бетона светопропускающего.

4. Технология производства плит светопропускающих из декоративного бетона на основе отходов деревообработки не требует значительной реорганизации существующих производств деревообработки.

5. Стоимость декоративного бетона светопропускающего ниже на 65–75 % (в 3–4 раза) по сравнению с бетоном цементным светопроводящим, что доказывает использование отходов деревообработки светопроницаемых, как основного источника пропускания света и возобновляемого ресурса, экономически выгодно относительно оптических волокон.

6. Разработанные изделия из декоративного бетона, пропускающие свет успешно прошли апробацию на существующем предприятии г. Куйбышева.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Поставленные в работе задачи выполнены, цель достигнута.

1. На основе проведенных исследований бетонов с фотометрическими свойствами и декоративного бетона, их компонентов, изучены процессы обработанной древесины, как потенциально возможного заполнителя светопрозрачного.

2. Сконструирована установка для определения светопропускания древесины и декоративного бетона светопропускающих.

3. Экспериментально подтверждено повышение светопроницаемости древесины с понижением условной вязкости и величины поверхностного натяжения масляно-скипидарной композиции из растительного масла (80–90 %) и скипидара (10–20 %).

4. Установлено, что после пропитывания древесины разработанной масляно-скипидарной композицией, достигнута светопроницаемость 85–92 %, освещенность 1 008–1 104 лк, светимость 1 008–1 104 лм / м², сила света 91–99 кд, яркость 60 480–66 240 кд / м² и светопоглощение 15–8 % соответственно.

5. Установлено, что пропитанные растительным маслом с 15 % скипидара древесные образцы, имеют низкую деформацию, а температурный переход в деструктивное состояние происходит после 260 °С, что свидетельствует о высокой степени термостойкости и достаточно прочному связыванию компонентов.

6. Получены уравнения регрессии, описывающие взаимосвязь между компонентами древобетонной смеси. Найдено оптимальное соотношение компонентов исследуемых смесей декоративного бетона для требуемой прочности 5,0 МПа: связующего 310 кг и крупного древесного светопропускаемого заполнителя 420 кг, равное 3,1 / 4,2, что обеспечивает требуемую прочность.

7. Подтвержден эффект эпоксидирования растительного масла, отнесенный к образованию в смеси эпоксидных групп по результатам ИК-спектральных исследований в районе 820–840 см⁻¹ и детальном увеличении спектрограммы при 823 и 841 см⁻¹.

8. Разработан состав декоративного бетона с наибольшими значениями фотометрических свойств: светопроницаемость 76–79 %, освещенность 912–948 лк, светимость – 912–948 лм / м², сила света – 82–85 кд, яркость – 4 560–4 740 кд / м² и светопоглощение 24–21 %. Наивысшие значения прочности при изгибе и сжатии декоративного бетона составили 1,9–2,0 и 5,7–5,9 МПа соответственно.

9. Доказано, что введение нанодобавки кислого кремнезоля 2–3 % в жидкостекольное вяжущее, используемое в качестве связующего в декоративном бетоне светопропускающем, обеспечивает увеличение адгезионной прочности с делигнифицированной древесиной с 0,3–0,4 до 0,9–1,6 МПа, за счет проявления дополнительных связей в жидком стекле.

10. Разработана блок-схема технологии производства декоративного бетона с фотометрическими свойствами, с достижением светопропускания 64–79 %, с прочностью на растяжение при изгибе 1,2–2,0 МПа и на сжатие 3,4–5,9 МПа. Разработаны нормативно-технические документы по производству «ПАСЭ» которые переданы на предприятие по изготовлению изделий из декоративного бетона ООО «Куйбышевский завод железобетонных изделий и конструкций» и реализована производственная апробация предложенных решений.

11. Проведен расчет и обоснована технико-экономическая эффективность внедрения декоративного бетона светопропускаемого, стоимость которого за 1 м³ ниже на 60–70 % в сравнении с бетоном цементным светопроводящим на оптических волокнах.

Рекомендации и перспективы дальнейших исследований по разработки темы заключаются в развитии теоретических представлений о формировании декоративного бетона со светопропускаемым эффектом, изучении стабильности светопропускания во времени; вовлечении в технологический процесс крупномасштабных отходов растительного происхождения и расширение номенклатуры эффективных видов декоративного бетона.

Теоретические и экспериментальные результаты диссертационной работы могут быть **рекомендованы** для внедрения на предприятиях по производству строительных материалов светопропускающих, в т. ч. могут быть применены в

учебном процессе при подготовке бакалавров по направлению «Строительство», специалистов по направлению «Строительство уникальных зданий и сооружений» и магистров по направлению «Строительство».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Beton-54.ru. Бетоны нового поколения. URL: <https://beton-54.ru/stati/betony-novogo-pokolenija>.
2. Строительство. Где гнется – там не рвется. URL: https://www.zaggo.ru/article/stroitel_stvo/obshee/chto_takoe_gibkij_beton_i_pochemu_emu_ne_nuzhna_armatura.html.
3. Ультрабетон – технология производства методом гравитационного комкования. URL: <https://xn--80aaaftebbc3auk2aepkhr3ewjpa.xn--p1ai/ultrabeton/#Opisanie>.
4. Мороз, М.Н. Классификационные критерии формирования поверхности архитектурно-декоративных бетонов / М.Н. Мороз, В.И. Калашников, О.В. Суздальцев // Современные научные исследования и инновации. – 2016. – № 10 (66). – с. 114–117.
5. Вест-бетон. Производственная компания. Бетон из углекислого газа. URL: <https://vest-beton.ru/stati/beton-iz-uglekislogo-gaza.html>.
6. Национальная ассоциация «Союз производителей бетона». 11 новых трендов в технологии бетона. URL: <https://concreteunion.ru/novosti-otrasli/11-novyh-tendenczij-v-tehnologii-betona/>.
7. Омега – Производство люмобетона. URL: <http://люмобетон60.рф/производство-люмобетона/>.
8. Illuminart. Инновационные отделочные материалы. URL: http://illuminart.su/about_illuminart.
9. Патент РФ 2 604 040. Светопронускающий материал и способ его изготовления / Тимшин И.В. Заявл. 29.07.2015. Опубл. 10.12.2016. Бюл. № 34.
10. Lumicon. Светопроводящий бетон. URL: <https://www.illumicon.ru/>.
11. Raisetech. Материал. Светопроводящий бетон. URL: <https://raisetech.ru/material.html>.
12. Ткаченко, С.Е. Изучение светопропускания строительных композитов для решения архитектурно-технологических задач / С.Е. Ткаченко, А.П. Пичугин // «Актуальные вопросы архитектуры и строительства»: Материалы XIV

Международной научно-технической конференции. – Новосибирск. – 2021. – С. 148-154.

13. Заявка на патент СА 353849 (А). Свето пропускающая бетонная конструкция / Бернанд Лонг. Оpubл. 29.10.1935.

14. Строим из бетона. Что такое прозрачный бетон? Как приготовить. URL: <https://betonchexov.ru/prozrachnyj-beton-tehnologia-proizvodstva-po-sagam-tehniceskie-harakteristiki-cena/>.

15. Litracon. URL: <http://www.litracon.hu/en/about-us>.

16. Decorative concrete market opportunities for business, demand, understanding research and outlook 2021 – 2028. URL: <https://icrowdru.com/2021/09/13/c>.

17. Emergen research. Decorative Concrete Market Size Worth USD 29.54 Billion in 2030. URL: <https://www.emergenresearch.com/press-release/global-decorative-concrete-market>.

18. Пичугин, А.П. Концепция формирования свойств материалов для архитектурно-декоративного оформления / А.П. Пичугин, В.Ф. Хританков, А.В. Пчельников, О.Е. Смирнова, С.Е. Ткаченко // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2021. – № 9 (753). – С. 21-32.

19. Прозрачный бетон – декоративный материал будущего. URL: <http://polymerstroyplus.ru/cement/prozrachnyj-cement.html>.

20. Патент РФ 162 640. Свето пропускающий материал / Тимшин И.В. Заявл. 29.07.2015. Оpubл. 20.06.2016. Бюл. № 17.

21. Патент РФ 178 917. Свето пропускающее изделие / Тимшин И.В. Заявл. 06.07.2017. Оpubл. 23.04.2018. Бюл. № 12.

22. Патент РФ 175 466. Свето пропускающее изделие / Тимшин И.В. Заявл. 06.07.2017. Оpubл. 06.12.2017. Бюл. № 34.

23. Litracon. URL: <http://www.litracon.hu/en/products/litracon-pxl>.

24. Italcementi heidelberg cement Group. i.light Shanghai. URL: <https://www.italcementi.it/it/ilight-SHANGHAI>.

25. Ткаченко, С.Е. Цементные бетоны архитектурно-декоративного назначения / С.Е. Ткаченко, А.П. Пичугин // Эффективные материалы и технологии для транспортного и сельскохозяйственного строительства. – 2020. – с. 265–268.
26. LIVEJOURNAL. Прозрачный бетон – URL: <http://milahunguide.livejournal.com/150786.html>.
27. Ткаченко, С.Е. Изучение оптической характеристики строительных композитов для архитектурно-технических задач / С.Е. Ткаченко, А.П. Пичугин // «Актуальные вопросы строительного материаловедения»: Материалы Всероссийской научно-практической конференции. – Улан-Удэ. – 2021. – С. 60-65.
28. ТУ 5741-001-42628988-2015. Плиты и блоки отделочные из светопроводящего бетона. [Электронный ресурс]. – Введ. 2015. Доступ из справ.-правовой системы «Кодекс».
29. ГОСТ 31108–2020. Цементы общестроительные. Технические условия. [Электронный ресурс] <https://docs.cntd.ru/document/1200174658?ysclid=lf93b8n2ba801234421>.
30. ГОСТ 8736–2014. Песок для строительных работ. Технические условия. [Электронный ресурс] <https://docs.cntd.ru/document/1200114239?ysclid=lf93cv7je7261731710>.
31. ГОСТ 23732–2011. Межгосударственный стандарт. Вода для бетонов и строительных растворов. Технические условия. [Электронный ресурс] <https://docs.cntd.ru/document/1200093835?ysclid=lf93qfaida788551317>.
32. ГОСТ 22856–89. Межгосударственный стандарт. Щебень и песок декоративные из природного камня. Технические условия. [Электронный ресурс] <https://docs.cntd.ru/document/9052230?ysclid=lf93epx56x326891781>.
33. ГОСТ 31424–2010. Межгосударственный стандарт. Материалы строительные нерудные из отсеков дробления плотных горных пород при производстве щебня. Технические условия. [Электронный ресурс] <https://docs.cntd.ru/document/1200083894?ysclid=lf943n9ol771789817>.
34. ГОСТ Р МЭК 60793–2–2018. Национальный стандарт Российской Федерации. Волокна оптические. Часть 2. Технические требования к изделию.

Общие положения. [Электронный ресурс]

<https://docs.cntd.ru/document/1200160704?ysclid=lf93h8pjhi202432330>.

35. ГОСТ Р 53441–2009. Основные нормы взаимозаменяемости. Характеристики изделий геометрические. Нормальные углы и уклоны призм. [Электронный ресурс] <https://internet-law.ru/gosts/gost/48795/?ysclid=lf94arrt4e378551438>.

36. Мраморная крошка, гранитная крошка, мраморный щебень и мраморный песок. URL: <http://www.vilroy.ru/kroshka.html>.

37. Наназашвили, И.Х. Арболит – эффективный строительный материал / И.Х. Наназашвили. – М.: Стройиздат, 1984. – 121 с.

38. Ламов, И.В. Применение арболитовых блоков «lego» в малоэтажных жилых и производственных зданиях и сооружениях / И.В. Ламов, М.А. Гончарова // Научные исследования: от теории к практике. – 2015. – № 4 (5). – с. 47-50.

39. Шевченко, В.А. Исследование свойств вторичного древесного заполнителя для арболита / В.А. Шевченко, Т.Г. Лебедева, В.П. Киселев, Н.А. Чупрова, Л.А. Иванова, И.И. Терехова // Современные наукоемкие технологии. – 2018. – № 3. – с. 112-116.

40. Полищук, А.И. Производство арболита как одно из перспективных направлений комплексной переработки древесины / А.И. Полищук, А.В. Рубинская, В.Н. Трофимук, Н.Г. Чистова // Актуальные проблемы лесного комплекса. – 2012. – № 32. – с. 108-110.

41. Крамаренко, А.В. Сравнительный анализ свойств стеновых блоков из арболита и керамзитобетона / А.В. Крамаренко, А.Р.К. Насирова // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2020. – № 1. – с. 330-332.

42. Никулин, А.А. Арболитовые плиты. Строительство быстровозводимых зданий из арболитовых плит / А.А. Никулин, И.В. Соргутов // Вестник науки. – 2023. – № 2 (59). – с. 309-323.

43. Матыева, А.К. Оптимизация состава и свойств сырьевых компонентов в производстве модифицированного арболита из местного сырья / А.К. Матыева //

Вестник сибирского государственного автомобильно-дорожного университета. – 2019. – № 3 (67). – с. 352-365.

44. Матыева, А.К. Исследование прочности и деформативности атмосферостойкого арболита из местного сырья по энергоресурсосберегающей технологии для стеновых блоков / А.К. Матыева // Современные наукоемкие технологии. – 2019. – № 3-2. – с. 212-216.

45. Полищук, А.И. Техничко-экономические показатели производства и применения арболитовых изделий / А.И. Полищук, А.В. Рубинская, В.Н. Трофимук, Н.Г. Чистова // Экономика и эффективность организации производства. – 2012. – № 16. – с. 123-127.

46. Арболит. Арболит – экологически чистый строительный материал. История арболита. URL: <https://arb72.ru/arbolit/>.

47. Соловьев, С.А. Исследование возникновения арболита и древесно-цементных композитов как строительных материалов / С.А. Соловьев, Л.С. Шевцов, А.А. Соловьева // Вестник вологодского государственного университета. серия: технические науки. – 2022. – с. 21–24.

48. ГОСТ 19222-2019. Арболит и изделия из него. Общие технические условия. [Электронный ресурс] <https://docs.cntd.ru/document/1200165761?ysclid=lkm8y9rzq0720350522>.

49. Арболит пром. Технические характеристики арболита. URL: https://arbolitprom.ru/harakteristiki_arbolita.

50. Бородий, С.А. Физика древесины: учеб. пособие / С.А. Бородий. – Кострома: Изд-во КГТУ, 2009. – 75 с.

51. Григорьев, М.А. Материаловедение для столяров и плотников: учебник / М.А. Григорьев. – М.: Изд-во Высшая школа, 1981. – 173 с.

52. IUCN. United for life & livelihoods. Nature 2030. URL: <https://iucn.org/nature-2030>.

53. Рослесинфорг. Доступный лесозаготовителям объем древесины увеличился в 2022 году на 1 млн куб. м. URL: <https://roslesinfor.ru/news/in-the-media/7340/>.

54. Бокщанин, Ю. Р. Справочник мастера деревообработки: учеб. пособие / Ю. Р. Бокщанин, А. П. Квятковская, В. И. Лашманов, В. В. Сергеев, В. М. Ходак. – М.: Лесн. пром-сть, 1987. – 280 с.
55. Siegfried, F. Transparent Wood – A New Approach in the Functional Study of Wood Structure / F. Siegfried // *Holzforschung (HF)*. – 1992. – № 5. – Pp. 403–408.
56. Solar feeds. Cellutech AB. URL: <https://www.solarfeeds.com/biz/celltech-ab/>.
57. AWA. Intellectual Property from IP Law Experts. URL: <https://www.awa.com/en/>.
58. InventWood. Introducing MettleWood®. A breakthrough in material innovation. URL: <https://inventwood.com>.
59. Nomaco. Custom engineered foam. URL: <https://www.nomaco.com/>.
60. Abro. About the company. URL: <https://abro-rus.ru/company/>.
61. Sayerlak. Innovative wood solutions. URL: <https://www.sayerlack.com/about-us/>.
62. Holland Composites. Endless possibilities with composite. URL: <https://www.hollandcomposites.nl/en/>.
63. Preserva Products Ltd. The Gold Standard for a Natural Look. URL: <https://preservaproducts.com/>.
64. Wash safely. All Collections. URL: <https://washsafe.com/collections/>.
65. Fletcher Challenge. Fletcher's Challenge 2023. URL: <https://fletcherschallenge.blogspot.com/>.
66. Shanghai Construction Engineering Group Co., Ltd. Contact Us. URL: https://www.scg.com.cn/scgen/scg_cu/List/list_0.htm.
67. Yihua Lifestyle Technology Co., Ltd. Brand strength. URL: <http://yihualife.com/english/index.php/Home/Index/power>.
68. Zhejiang Jingxing Paper Co., Ltd. Investor relations. URL: <https://zjjxjt.com/en>.
69. Suzhou Jiagushi New Material Technology Co., Ltd. Company culture. URL: <http://www.siltechnm.com/en/about.php>.

70. Guangzhou no.1 Construction Engineering Co. Ltd. China trade. China companies. URL: <https://www.chinatrade.bz/company-no-construction-guangzhou-27849>.
71. Xi'an JW Import & Export Co., Ltd. Company Information. URL: <https://jw-j-w.en.china.cn/about.html>.
72. Unwood. Светопроводящее дерево. URL: <http://unwood.ru/>.
73. Allied market research. Рынок прозрачной древесины к 2031 году в мире соберет 208,1 млн долларов при 9,0 % среднегодовом доходе, сообщает Allied Market Research. Transparent Wood Market to Garner \$208.1 Million, Globally, By 2031 at 9.0 % CAGR, Says Allied Market Reseal. URL: https://translated.turbopages.org/proxy_u/en-ru.ru.16e77bf0-64141530-877cee60-74722d776562/https/www.yahoo.com/entertainment/transparent-wood-market-garner-208-080800717.html.
74. Allied market research. Transparent wood market by Application (Construction, Furniture, Solar Cell, Automotive Windshields, Packaging, Flexible Electronics, Others): Global Opportunity Analysis and Industry Forecast, 2021-2031. URL: <https://www.alliedmarketresearch.com/transparent-wood-market-A31788>.
75. Li, Y. Optically Transparent Wood from a Nanoporous Cellulosic Template: Combining Functional and Structural Performance / Y. Li, Q. Fu, Sh. Yu, M. Yan // *Biomacromolecules*. – 2016. – Pp. 7.
76. Celine, M. High Performance, Fully Bio-Based, and Optically Transparent Wood Biocomposites / M. Celine, O. Yu, O. Peter, B. Lars // *Advanced Science*. – 2021. – Pp. 1–12.
77. Заявка на пат. US20210122902 A1. Прозрачный древесный композит, системы и способ изготовления / Ч. Вэй. Заявл. 03.02.2017. Опубл. 29.04.2021.
78. Муллина, Э.Р. Изучение влияния отбеливающих реагентов на физико-механические показатели вторичных волокон целлюлозы / Э.Р. Муллина, О.А. Мишурина, А.Р. Ишкуватова, Л.И. Нигматуллина // *International journal of applied and fundamental research*/. – 2015. – с. 206–208.

79. Никитин, В. М. Химия древесины и целлюлозы: учеб пособие / В.М. Никитин, А.В. Оболенская, В.П. Щеголев. – М.: Лесн. пром-сть, 1978. – 367 с.
80. Нуштаева, А.В. Химия древесины: учеб. пособие / А.В. Нуштаева. – Пенза: ПГУАС, 2013. – 100 с.
81. Терентьева, Э. П. Химия древесины, целлюлозы и синтетических полимеров: учеб. пособие / Э. П. Терентьев, Н. К. Удовенко, Е. А. Павлова. – СПб.: СПбГТУРП, 2015. – Ч. 2. – 83 с.
82. Смирнова, А.И. Переработка и применение полимеров. Лигнины: Получение. Свойства. Переработка: учеб. пособие / А.И. Смирнова, Е.Ю. Демьянцева. – СПб.: ВШТЭ СПбГУПТД, 2021. – 98 с.
83. Терентьева, Э. П. Комплексная химическая переработка древесины: учеб. пособие / Э. П. Терентьева, Н. К. Удовенко, Е. А. Павлова. – СПб.: ВШТЭ СПбГУПТД, 2016. – 74 с.
84. Чубинский, А.Н. Физика древесины: учеб. пособие / А.Н. Чубинский, А.А. Тамби, М.А. Чубинский, К.В. Чаузов. – СПб: СПбГЛТУ. – 67 с.
85. Муллина, Э.Р. Влияние химической природы отбеливающих реагентов на свойства целлюлозного волокна / Э.Р. Муллина, Л.В. Чупрова, О.В. Ершова, Е.Г. Лыгина, Н.Д. Корниенко, К.В. Пинчукова // *Advances in current natural sciences*/. – 2015. – № 11. – с. 74–77.
86. Новые знания. Мерсер, Джон (ученый). URL: [http://ru.knowledgr.com/03201266/МерсерДжон\(учёный\)](http://ru.knowledgr.com/03201266/МерсерДжон(учёный)).
87. Патент CN 106013772 В. Прозрачная древесная опалубка для строительства и способ ее подготовки / Тинчен Ф., Цзянь Г., Сяосяо Ч., Вэйюнь Л. Заявл. 07.07.2016. Оpubл. 17.07.2018, Бюл. № 31.
88. Патент US 11037489 В1. Прочные прозрачные изделия с матрицами цифровых дисплеев и возможностями / Джерри Девань А. Заявл. 22.05.2018. Оpubл. 15.06.2021, Бюл. № 24.
89. Кауфман, Б.И. Цементный фибролит / Б.И. Кауфман, Л.М. Шмидт, Д.А. Скоблов, А.С. Поволоцкий. – М.: Стройиздат, 1961. – 166 с.

90. Беленький, Ю.С. Конструктивные свойства арболита / Ю.С. Беленький. – М.: Стройиздат, 1987. – 178 – 187 с.
91. Ратинов, В.Б. Влияние комплексных добавок на скорость твердения и состав цементного камня / В.Б. Ратинов, Т.И. Розенберг. – М.: Стройиздат, 1989. – 12 – 13 с.
92. Бисенов, К.А. Легкие бетоны на основе безобжиговых цементов: монография / К.А. Бисенов, И.У. Касимов, А.А. Тулаганов, С.С. Удербает. – Алматы: Гылым, 2005. – 412 с.
93. Дворкин, Л.И. Строительные материалы из отходов промышленности: учеб.-справ. пособие / Л.И. Дворкин, О.Л. Дворкин. – Ростов – на – Дону: Феникс, 2007. – 357 с.
94. Камилов Х.Х. Технология и свойства арболита на основе безобжигового вяжущего и сельскохозяйственных отходов. Автореф. дис. канд. техн. наук. Ташкент. 1997. 20 с.
95. Мартынов, К.Я. Технология арболита на цементно-полимерном вяжущем / К.Я. Мартынов, Н.А. Машкин и др. // Сб. докл. междунар. конф. 1994. – с. 68-70.
96. Мельникова, Л.В. Технология композиционных материалов из древесины: учеб. для студентов высш. и сред. учеб. заведений, обучающихся по специальности «Технология деревообработки» / Л.В. Мельникова. – М.: Изд-во Моск. гос. ун-та леса, 1999. – 226 с.
97. Наназашвили И.Х. Основы направленного структурообразования древесно-цементных композитов и управление их качеством. Автореф. дис. д-ра техн. наук. М. 1992. 43 с.
98. Мурзаева, В.Ю. Химические добавки для модификации и технологические параметры установки смесителя для производства арболита / В.Ю. Мурзаева, Д.В. Тюлькин // Молодой ученый. – 2019. – № 21 (259). – с. 114-116.
99. Суханов, М.А. Сравнительная прочность при сдвиге клеевых и цементно-песчаных швов, соединяющих блоки из древесно-цементного материала

/ М.А. Суханов, А.А. Андреев, Г.Н. Колесников // Современные научные исследования и инновации. – 2014. – № 7 (39). – с. 94-97.

100. Щербаков, А.С. Арболит: повышение качества и долговечности / А.С. Щербаков, Л.П. Хорошун, В.С. Подчуфаров. – М.: Лесн. пром-сть, 1979. – 160 с.

101. Бужевич, Г.А. Арболит / Г.А. Бужевич, М.И. Клименко, В.М. Кунин и др. – М.: Стройиздат, 1968. – 244 с.

102. Лукутцова, Н.П. Модифицирование древесных цементных композиций комплексными добавками / Н.П. Лукутцова, Е.Ю. Горностаева, С.В. Поляков, О.Р. Петров // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2013. – № 2. – с. 13-16.

103. Бозылев, В.В. Изучение механизма действия добавки арбел на процессы набора прочности цементной составляющей арболита / В.В. Бозылев, А.Н. Ягубкин // Вестник полоцкого государственного университета. Серия F. Строительство. Прикладные науки. – 2011. – № 16. – с. 89-96.

104. Бозылев, В.В. К вопросу подбора состава и дозировки добавок-модификаторов арболита / В.В. Бозылев, А.Н. Ягубкин // Вестник полоцкого государственного университета. Серия F. Строительство. Прикладные науки. – 2010. – № 6. – с. 84-89.

105. Патент РФ 2 035 429. Сырьевая смесь для изготовления древесного строительного материала // В.П. Майко, Ю.В. Кисленко, В.В. Тимар, В.М. Туйнов. Заявл. 23.07.1992. Опубл. 20.05.1995. Бюл. № 12.

106. Шальнева, Н.В. Жидкое стекло. Получение, состав, структура и свойства: метод. указания к выполнению лабораторной работы по дисциплинам «Химия в строительстве», «Основы физико-химических процессов в строительстве» предназначены для обучающихся по направлению 08.03.01 «Строительство», по специальности 08.05.01 «Строительство уникальных зданий и сооружений» очной и заочной форм обучения / Н.В. Шальнева, О.В. Агейкина. – Тюмень: Издательский центр БИК, ТИУ, 2016. – 36 с.

107. Криворотова, А.И. Процессы и технологии склеивания древесины. Физико-химические основы склеивания древесины: учеб. пособие / А.И.

Криворотова, М.А. Баяндин. – Красноярск: СибГУ им. М. Ф. Решетнева, 2019. – 98 с.

108. Филиппович, А.А. Клеящие свойства синтетических смол в производстве фанеры. Автореферат дис. канд. техн. наук. Красноярск. 1990. 20 с.

109. Родина, Т.В. Склеивание древесных материалов карбамидоформальдегидным клеем, модифицированным ацетоноформальдегидным олигомером. Автореферат дис. канд. техн. наук. М. 1992. 20 с.

110. Вьюнков, С.Н. Технология древесных плит с использованием связующего на основе жидкого стекла. Автореферат дис. канд. техн. наук. Санкт-Петербург. 1999. 15 с.

111. Терентьева, Э.П. Химия древесины, целлюлозы и синтетических полимеров: учеб. пособие / Э.П. Терентьева, Н.К. Удовенко, Е.А. Павлова. – СПб.: СПбГТУРП, 2014. – ч. 1. – 53 с.

112. Антонова, В.С. Полиэлектролиты. Влияние щелочной обработки целлюлозы на растворимость в водном растворе H_2SO_4 : метод. указания к лабораторным работам / В.С. Антонова, И.И. Осовская. – СПб.: ВШТЭ СПбГУПТД, 2020. – 20 с.

113. Фенгел, Д. Древесина (химия, ультраструктура, реакции) / Д. Фенгел, Г. Вегенер; пер. с англ. А.В. Оболенской, З.П. Ельницкой; под ред. А.А. Леоновича. – М.: Лесн. пром-сть, 1988. – 512 с.

114. Иванов, Ю.С. Производство сульфатной целлюлозы: учеб. пособие / Ю.С. Иванов, А.Б. Никандров, А.Г. Кузнецов. – СПб., 2017. – 77 с.

115. Акчабаев А.А. Исследование влияния некоторых технологических факторов на интенсификацию твердения арболита. Автореф. дис. канд. техн. наук. М. 1977. 19 с.

116. Удербает, С.С. Упрочнение каркаса структуры конструкционно-теплоизоляционного арболита / С.С. Удербает // Вестник национальной инженерной Академии Республики Казахстан. – Алматы: 2005. – с. 101-104.

117. Удербает, С.С. Разработка технологии арболита с комплексным использованием отходов ТЭЦ и сельского хозяйства / С.С. Удербает // Комплексное использование минерального сырья. – Алматы: 2005. – с. 83-86.

118. Шешуков, А.П. Исследование процессов формирования структуры арболита при химической активации древесины / А.П. Шешуков, Д.В. Лычагин, Е.Я. Макаров // Вестник томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2014. – с. 145-152.

119. Леспром. Муниципалитеты заинтересовались топливными гранулами, в связи с повышением цен на традиционные виды топлива. URL: <https://www.lesprom.com/ru/news/>.

120. Пичугин, А.П. Новые принципиальные подходы к решению эффективного использования растительного сырья и отходов производства / А.П. Пичугин, В.Ф. Хританков, О.Е. Смирнова, С.Е. Ткаченко // Труды III Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Актуальные вопросы современного строительства промышленных регионов России». – Новокузнецк. – 2022. – С. 123-128.

121. ГОСТ 1129–2013. Масло подсолнечное. Технические условия. [Электронный ресурс] <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293775/4293775124.pdf?ysclid=lfhnp9lg4c809224436>.

122. ГОСТ 8808–2000. Масло кукурузное. Технические условия. [Электронный ресурс] <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294814/4294814352.pdf?ysclid=lfhnmha4mk119580510>.

123. ГОСТ 31760–2012. Масло соевое. Технические условия. [Электронный ресурс] <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293783/4293783187.pdf?ysclid=lfhq552gg1799796779>.

124. Ткаченко, С.Е. Изучение свойств эпоксидированных растительных масел / С.Е. Ткаченко, А.П. Пичугин // «Инновационное развитие строительства и

архитектуры: взгляд в будущее»: Сборник тезисов участников Международного студенческого строительного форума. – Симферополь. – 2022. – С. 51-55.

125. ГОСТ 1571-82. Государственный стандарт союза ССР. Скипидар живичный. Технические условия. [Электронный ресурс] <https://docs.cntd.ru/document/1200017231?ysclid=lfht38iapp157920366>.

126. ТУ13-028-1078-36-89. Скипидар сульфатный очищенный. [Электронный ресурс] <https://nd.gostinfo.ru/document/3265451.aspx>.

127. ГОСТ 13078–2021. Межгосударственный стандарт. Стекло натриевое жидкое. Технические условия. [Электронный ресурс] <https://docs.cntd.ru/document/1200180909?ysclid=lfid0dykw1x920547312>.

128. Промстеклоцентр. Кремнезоль (золь диоксида кремния). URL: <https://prom-steklo.ru/zol-kremnievoj-kisloty#rec89019387>.

129. Кудрявцев, П. Г. Получение неорганических композитов и керамики с использованием коллоидных растворов / П. Г. Кудрявцев // Инженерный вестник Дона. – INRC, 2018. – № 4. – с. 30.

130. Амальгама – инженерный центр. Химическая продукция и сырье. Коллоидный кремнезем (нанокремнезем). URL: <https://beechems.ru/kolloidnyj-kremnezem-nanokremnezem?ysclid=lh6680sqeq6814227>

131. Фиговский, О. Л. Жидкое стекло и водные растворы силикатов, как перспективная основа технологических процессов получения новых композиционных материалов / О. Л. Фиговский, П. Г. Кудрявцев // Инженерный вестник Дона. – INRC, 2014. – с. 37.

132. Научно-технический центр Компас. Техническая карта кремнезоль (гидрозоль диоксида кремния). URL: <http://www.compass-kazan.ru/leyksil20-30-40.php>.

133. Научно-технический центр Компас. Алумозоль. URL: <http://www.compass-kazan.ru/alumozol.php>.

134. Старовойтова, И. А. Влияние модифицирующих добавок на свойства гибридных связующих на основе полиизоцианата и полисиликата натрия / И. А.

Старовойтова, В. Г. Хозин, Н. А. Пилипенко, Р. А. Халикова // Строительные материалы и изделия. – Казань: КазГАСУ, 2011. – № 2. – с. 229–234.

135. Пилипенко, А. А. Прочность керамической формы на основе бескремнеземного связующего материала Алюмозоль А / А. А. Пилипенко // Литейное производство. – М.: МАИ, 2022. – № 11. – с. 28–29.

136. ГОСТ 3956–76. Силикагель технический. Технические условия. Издание официальное. [Электронный ресурс] <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294824/4294824338.pdf?ysclid=lfj6jv7siq830994239>.

137. ГОСТ 33405–2015. Межгосударственный стандарт. Методы испытаний химической продукции, представляющей опасность для окружающей среды. Определение спектра поглощения в ультрафиолетовой и видимой областях спектрофотометрическим методом. [Электронный ресурс] <https://docs.cntd.ru/document/1200126824?ysclid=lfjg8q1jmw752913809>.

138. Паспорт. Спектрофотометры UV mini-1240, UV-1601, UV-2401PC, UV-1700, BioSpec-mini, UV-1650PC, UV-2501PC, UV-3600, SolidSpec-3700. URL: all-pribors.ru/docs/19387-05.pdf.

139. Пичугин, А.П. Физико-химическая оценка влияния технологических факторов делигнификации на светопропускание древесины / А.П. Пичугин, Т.В. Ларина, О.Е. Смирнова, С.Е. Ткаченко // Эксперт: теория и практика. – 2023. – № 2 (21). – С. 82-88.

140. Оболенская А. В. Лабораторные работы по химии древесины и целлюлозы: учебное пособие для вузов / А. В. Оболенская, З. П. Ельницкая, А. А. Леонович. – М.: «Экология», 1991. – 320 с.

141. Руководство по эксплуатации. Фотометры фотоэлектрические КФК-3-«ЗОМЗ». БШ 2.853.021–02 РЭ. URL: <https://www.okimed.ru/wp-content/uploads/2020/05/332cee85671397cb6385b3724e34c7be.pdf>.

142. Пичугин, А.П. Термомеханические исследования защитно-пропиточных композиций с наноразмерными и специальными добавками/ А.П. Пичугин, В.Ф. Хританков, А.В. Пчельников, А.А. Шаталов, О.Е. Смирнова // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2020. – № 3. – с. 53–58.

143. Патент № 2791849 С1 Российская Федерация, МПК G01N 21/85. Устройство для определения прозрачности материалов: № 2022108549: заявл. 29.03.2022: опубл. 13.03.2023 / А.П. Пичугин, С.Е. Ткаченко, В.Ф. Хританков, О.Е. Смирнова, А.В. Пчельников.

144. ГОСТ 8.332-2013. Межгосударственный стандарт. Государственная система обеспечения единства измерений. Световые измерения. Значения относительной спектральной световой эффективности монохроматического излучения для дневного зрения. Общие положения. [Электронный ресурс] <https://internet-law.ru/gosts/gost/57461/?ysclid=lfqahniuci809514333>.

145. ГОСТ 26602.4–2012. Межгосударственный стандарт. Блоки оконные и дверные. Метод определения общего коэффициента пропускания света. [Электронный ресурс] <https://ohranatruda.ru/upload/iblock/d6d/4293781988.pdf?ysclid=m9gnreldcy464300029>.

146. Рязанова, А.С. Фотометрические методы анализа. Методические указания к лабораторным работам: метод. указания / А.С. Рязанова. – Казань: Казан. нац. иссл. технол. ун-т, 2020. – 23 с.

147. Михайлов, О.М. Практическая фотометрия: монография / О.М. Михайлов, К.А. Томский. – СПб.: СПбГИКиТ, 2017. – 303 с.

148. Савельев, В.Е. Архитектурная физика. Светотехника: лаб. практикум / В.Е. Савельев. – Гомель: БелГУТ, 2019. – 43 с.

149. Ткаченко, С.Е. Установка и метод определения светопропускания строительных композитов для архитектурного и декоративного оформления / С.Е. Ткаченко, А.П. Пичугин // «Актуальные проблемы науки и техники. 2021»: Материалы Всероссийской (национальной) научно-практической конференции. – Ростов-на-Дону. – 2021. – С. 888-889.

150. Пичугин, А.П. Влияние видов растительных масел и отходов на светопроницаемость древесины / А.П. Пичугин, С.Е. Ткаченко // Труды новосибирского государственного архитектурно-строительного университета (Сибстрин). – Новосибирск. – 2022. – Т. 25. – № 3/4 (85/86) – С. 75-87.

151. Ткаченко, С.Е. Светопропускаемость древесного заполнителя для легкого бетона / С.Е. Ткаченко, А. П. Пичугин, А.Э.М.М. Эльрефаи // «Состояние и инновации технического сервиса машин и оборудования»: Материалы XIII Международной научно-технической конференции, посвященной 70-летию кафедры Надежности и ремонта машин ФГБОУ ВО Новосибирского ГАУ. – Новосибирск. – 2021. – С. 380-382.

152. Савина, И.И. Делигнификация древесины щелочным раствором перекиси водорода / И.И. Савина, А.Д. Алексеев, М.В. Латош, В.М. Резников // Химия древесины. – 1979. – № 6. – с. 47–51.

153. Патент РФ 2 755 823 С2. Прозрачная древесина и способ ее получения / Ли Ю., Рохас Р., Берглунд Л. Заявл. 29.03.2018. Оpubл. 21.09.2021. Бюл. № 34.

154. Вольнов, И.И. Перекисные соединения щелочных металлов / И.И. Вольнов. – М.: Наука, 1980. – 160 с.

155. Позина, М.Е. Перекись водорода и перекисные соединения / М.Е. Позина; под ред. М.Е. Позина. – Ленинград. – М.: Госхимиздат, 1951. – 476 с.

156. Трофимова, Т.И. Курс физики / Т.И. Трофимова. – М.: Академия, 2007. – 560 с.

157. Наназашвили, И.Х. Строительные материалы из древесно-цементной композиции / И.Х. Наназашвили. – Ленинград: Стройиздат, 1990. – 414 с.

158. Пичугин, А.П. Опыт и возможности использования растительного сырья при строительстве объектов различного назначения / А.П. Пичугин, А.С. Денисов, В.Ф. Хританков и др. // Инновации и продовольственная безопасность. – 2014. – № 3. – с. 22–28.

159. Pichugin A. Influence of surface tension forces of modifiers on some properties of composite materials / A. Pichugin, A. Pchelnikov, O. Smirnova, S. Tkachenko // Proceedings of the 6th International Conference on Construction, Architecture and Technosphere Safety. ICCATS 2022. 2023. Vol. 308. P. 268-276.

160. Ткаченко, С.Е. Изучение свойств химически обработанной древесины / С.Е. Ткаченко, А.П. Пичугин, В.Ф. Хританков // «Качество. Технологии

Инновации»: Материалы V Международной научно-практической конференции. – Новосибирск. – 2022. – С. 50-54.

161. Pichugin A. Principles of obtaining light permeable conglomerate materials based on wood filler / A Pichugin, V Khritankov, S Tkachenko // Journal of Physics: Conference Series. Intelligent Information Technology and Mathematical Modeling 2021 (ИТММ 2021). 2021. Vol. 2131 (2021). P. 042033.

162. Ткаченко, С.Е. Оптимизация состава светопроницаемого арболита на древесном заполнителе / С.Е. Ткаченко, О.Е. Смирнова, В.Ф. Хританков, А.П. Пичугин // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2025. – № 3 (795). – С. 32-40.

163. Патуроев В.В. Полимербетоны. М.- Стройиздат, 1987. – 286 с.

164. Булатов, М. И. Практическое руководство по фотометрическим и спектрофотометрическим методам анализа / М.И. Булатов, И.П. Калинин. – Л.: Химия, 1976. – 375 с.

165. Краснов, Е. А. Физико-химические методы исследования / Е.А. Краснов, В.В. Дудко, Т. И. Андреева и др. – Томск, 1989. – 111 с.

166. Чакчир, Б. А. Фотометрические методы анализа: методические указания / Б. А. Чакчир, Г. М. Алексеева. – СПб.: Изд-во СПХФА 2002. – 44 с.

167. Пичугин, А. П. Фотоэлектроколориметрическое изучение взаимодействия наполнителей с полимером / А. П. Пичугин, В. П. Князева // Вопросы гидромелиорации сельскохозяйственных земель в условиях Дальнего Востока: сб. научн. тр. Благовещенск: БСХИ-ПСХИ, 1973. с. 75–82.

168. Данилина, Е. И. Спектрофотометрический анализ: учебное пособие для лабораторных работ / Е. И. Данилина. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2011. – 34 с.

169. Марченко, З. Методы спектрофотометрии в УФ и видимой области в неорганическом анализе / З. Марченко, М. Бальцежак, пер. с пол. А.В. Гармаша. – М.: Бином. Лаборатория знаний, 2007. – 711 с.

170. Булатов, М. И. Практическое руководство по фотометрическим методам анализа / М. И. Булатов, И. П. Калинин. – М.: Химия, 1986. – 431 с.

171. Берштейн, И. Я. Спектрофотометрический анализ в органической химии / И. Я. Берштейн, Ю. Л. Каминский. – Л.: Химия, 1986. – 200 с.

172. Калина, Д. А. Разработка состава смесового связующего для керамических изделий / Д. А. Калина, Е. Н. Новокрещенных, Н.П. Углев // Химия. Экология. Урбанистика: материалы всероссийской научно-практической конференции (с международным участием). – Пермь: ПНИПУ, 2021. – Т. 4. – с. 134–137.

173. Красникова, Н. М. Влияние кремнезоля на фазовый состав гидратированного цемента с полифункциональной добавкой / Н. М. Красникова, Н. М. Морозов, Р. Р. Кашапов // Строительные материалы и изделия. – Казань: КГАСУ, 2016. – № 1. – с. 172–178.

174. Патент РФ 2010154014/02. Связующее для изготовления оболочковых форм в литье по выплавляемым моделям / Максютин А. С., Зотов Н. А., Петелькина Н. С. Заявл. 28.12.2010. Оpubл. 10.04.2012. Бюл. № 10.

175. Sil. Silikat mineral. Каталог продукции. Кремнезоль. URL: <https://silikatmineral.ru/catalog/kremnezol/?ysclid=lh66ssbskt959480251>.

176. Ткаченко, С.Е. Роль наноразмерных добавок в формировании прочного контакта в древобетоне / С.Е. Ткаченко, А.П. Пичугин // «Качество жизни: архитектура, строительство, транспорт, образование»: Сборник материалов Международной научно-практической конференции. – Иваново. – 2024. – С. 180-183.

177. Ткаченко, С.Е. Изучение адгезионной прочности заполнителя в арболите в присутствии наноразмерных добавок / С.Е. Ткаченко, А.П. Пичугин // «Качество. Технологии. Инновации»: Материалы VIII Международной научно-практической конференции. – Новосибирск. – 2025. – С. 128-132.

178. Пичугин, А.П. Изучение адгезионных свойств делигнифицированной светопропускающей древесины в строительных композитах / А.П. Пичугин, С.Е. Ткаченко, О.Е. Смирнова, Л.А. Митина // Эксперт: теория и практика. – 2024. – № 2 (25). – С. 37-43.

179. Пичугин, А.П. Повышение светопропускающей способности делигнифицированной древесины при пропитке растительным маслом / А.П. Пичугин, С.Е. Ткаченко, О.Е. Смирнова // Эксперт: теория и практика. – 2024. – № 4 (27). – С. 88-92.

180. Пчельников, А.В. Диэлькометрический анализ эксплуатационных характеристик и процесса старения защитных покрытий / А.В. Пчельников, А.П. Пичугин, Р.В. Луцки, С.Е. Ткаченко // Эксперт: теория и практика. – 2022. – № 1 (16). – С. 14-22.

181. Пичугин, А.П. К вопросу определения диффузионных характеристик защитных композиций повышенной непроницаемости / А.П. Пичугин, А.В. Пчельников, В.Ф. Хританков, О.Е. Смирнова, С.Е. Ткаченко // «Качество. Технологии. Инновации»: Материалы IV Международной научно-практической конференции. – Новосибирск. – 2021. – С. 73-76.

182. ГОСТ 32548-2023. Межгосударственный стандарт. Вентиляция зданий. Воздухораспределительные устройства. Общие технические условия. [Электронный ресурс] <https://docs.cntd.ru/document/1200110084>.

183. Ткаченко С.Е. Повышение адгезии делигнифицированной древесины в архитектурно-декоративном бетоне // С.Е. Ткаченко, А.П. Пичугин // Качество. Технологии. Инновации. Материалы VII международной научно-практической конференции. Новосибирск, 2024. С. 262-265.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1. ПАТЕНТ НА ИЗОБРЕТЕНИЕ № 2791849



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



(19) RU (11)

2 791 849⁽¹³⁾ C1(51) МПК
G01N 21/85 (2006.01)ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК
G01N 21/958 (2023.01); G01N 21/59 (2023.01)

(21)(22) Заявка: 2022108549, 29.03.2022

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
29.03.2022Дата регистрации:
13.03.2023

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 29.03.2022

(45) Опубликовано: 13.03.2023 Бюл. № 8

Адрес для переписки:
630039, г. Новосибирск, ул. Добролюбова, 160,
НГАУ, научная часть, Мякишевой Л.Б.

(72) Автор(ы):

Пичутин Анатолий Петрович (RU),
Ткаченко Сергей Евгеньевич (RU),
Хриданков Владимир Федорович (RU),
Смирнова Ольга Евгеньевна (RU),
Пчельников Александр Владимирович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное
учреждение высшего образования
"Новосибирский государственный аграрный
университет" (RU)(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: RU 177416 U1, 21.02.2018. RU 202350
U1, 12.02.2021. RU 102447 U1, 27.02.2011. CN
103185726 A, 03.07.2013. KR 100521616 B1,
12.10.2005.

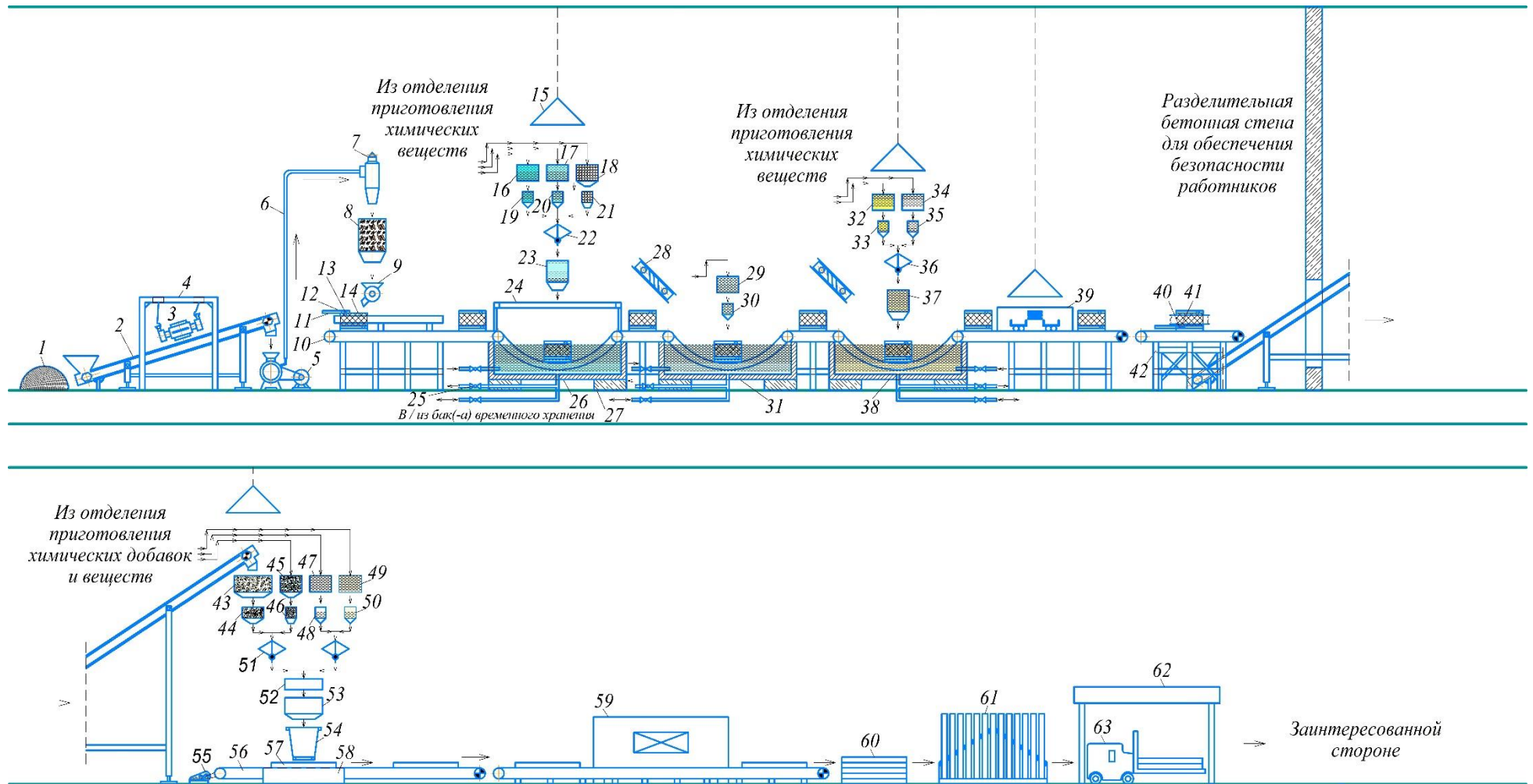
(54) Устройство для определения прозрачности материалов

(57) Реферат:

Изобретение относится к области физики, а именно к исследованию показателей светопропускания материалов для контроля параметров прозрачности материалов. Устройство определения прозрачности образцов состоит из следующих элементов: на опорной раме, обеспечивающей перемещение и фокусировку всех элементов устройства, размещен осветитель (лампа), линза и фокусирующий объективом-регулятором с закрепленным диффузором, концентрирующим световой поток; на специальном кронштейне опорной рамы установлено приспособление для закрепления образцов, оснащенное винтами-регуляторами для перемещения образца по

вертикали и горизонтали и снабженное упругими прокладками с круглыми отверстиями, между которыми размещается испытуемый образец; на дополнительном кронштейне закрепляется люксметр, соединенный с электронным дисплеем. После размещения образца и включения устройства в электрическую сеть конструкция закрывается светозащитным черным кожухом, обеспечивающим отсутствие искажения отсчета люксметра и попадание света извне. Технический результат – упрощение процесса определения прозрачности материала, повышение точности и достоверности измерений, выявление дефектов при испытании. 2 ил.

ПРИЛОЖЕНИЕ 2. ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ЛИНИИ ПРОИЗВОДСТВА ИЗДЕЛИЙ ИЗ ДЕКОРАТИВНОГО БЕТОНА СВЕТОПРОПУСКАЮЩЕГО



ПРИЛОЖЕНИЕ 3. СПЕЦИФИКАЦИЯ ОБОРУДОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ЛИНИИ ПРОИЗВОДСТВА ИЗДЕЛИЙ ИЗ ДЕКОРАТИВНОГО БЕТОНА СВЕТОПРОПУСКАЮЩЕГО

№ п/п	Наименование
1	Древесные (кусовые) отходы
2	Скребковый конвейер
3	Подвесной магнитный сепаратор (железоотделитель)
4	Кронштейн
5	Рубительная машина
6	Трубопровод
7	Циклон
8	Бункер для дробленки
9	Барабанный дозатор
10	Сетчатый конвейер
11	Крышка сетчатого контейнера
12	Верхние ручки верхней крышки сетчатого контейнера
13	Верхние упирающиеся механизмы
14	Перилла
15	Воздухораспределитель четырехсторонний вытяжной
16	Бак для перекиси водорода
17	Бак для воды
18	Бункер для щелочного агента
19	Автоматический дозатор для перекиси водорода
20	Автоматический дозатор для воды
21	Объемный дозатор для щелочного агента
22	Смеситель для отбеливающего раствора
23	Реагентный блок для отбеливающего раствора
24	УФ-лампа
25	Шаровый кран
26	Ванна для отбеливающего раствора
27	Бетонные блоки
28	Электрический калорифер
29	Бак для воды
30	Автоматический дозатор для воды
31	Ванна для воды
32	Бак для растительного масла
33	Автоматический дозатор для растительного масла
34	Бак для скипидара
35	Автоматический дозатор для скипидара
36	Смеситель для вязких жидкостей
37	Реагентный блок для масляно-скипидарной композиции
38	Ванна для масляно-скипидарной композиции
39	Электрический сушильный туннель
40	Нижние ручки нижней крышки (дна) сетчатого контейнера
41	Нижние упирающиеся механизмы
42	Приемная воронка для инфильтрованной после термопрогрева дробленки
43	Бункер для инфильтрованной дробленки светопроницаемой
44	Объемный дозатор для инфильтрованной дробленки светопроницаемой
45	Бункер для мелкого кремнеземистого заполнителя
46	Объемный дозатор для мелкого кремнеземистого заполнителя
47	Бак для натриевого жидкого стекла
48	Автоматический дозатор для натриевого жидкого стекла
49	Бак для нанодобавки (модификатора) кремнезоля
50	Автоматический дозатор для нанодобавки кремнезоля
51	Смеситель сухих смесей
52	Бетоносмеситель
53	Бункер для древобетонной смеси светопропускаемой
54	Бетоноукладчик
55	Привод ленточного конвейера
56	Ленточный конвейер
57	Металлическая форма
58	Виброплощадка
59	Сушильный туннель
60	Пост распалубки
61	Цех доводки декоративных бетонных изделий светопропускающих
62	Склад готовой продукции
63	Автопогрузчик

ПРИЛОЖЕНИЕ 4. ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ЛИНИИ ПРОИЗВОДСТВА ДЕКОРАТИВНОГО БЕТОНА СВЕТОПРОПУСКАЮЩЕГО

Таблица 4 – Характеристики технологического оборудования технологической линии производства декоративного бетона светопропускающего

№ п/п	Технологическое оборудование	Модель	Масса, кг	Габариты, м	Мощность, кВт	Производительность, т/ч (м ³ /ч)
1	2	3	4	5	6	7
1	Скребковый конвейер	ТСЦ-50	650	0,32 · 0,44	от 3	50
2	СМПА	СМПА-300-150Б	280	1,2 · 0,76 · 0,19	0,37	200
3	Рубительная машина	МРНП-10	5 650	2,6 · 1,75 · 1,7	55	до 10
4	Бункер для дробленки	ДБО-60	18 500	8,24 · 5,70 · 11,75	21,9	3,8–4
5	Бункер для сыпучих материалов	–	3 700	5,05 · 2,96 · 4,1	5,5	2,5
6	Бункер со шнековым дозатором для щелочного агента	–	10	0,54 · 0,53 · 0,35	0,12	от 0,003 до 0,03
7	Бункер для древобетонной смеси	СМЖ-2Б	1 850	2,65 · 1,93 · 1,51	6,5	15
8	Реагентный блок для отбеливающего раствора	РБГ-2/100МТ	90	1,10 · 0,83 · 1,18	0,18	от 0,004 до 0,04
9	Реагентный блок для вязких жидкостей	Р400	90	1,21 · 0,80 · 1,2	0,12	от 0,003 до 0,03
10	Барабанные дозаторы для сыпучих материалов	ДоБ-01	200	2 · 1 · 0,50	1,1	60
11	Объемные весовые дозаторы для сыпучих материалов	МК. С Standart	38	0,76 · 0,29 · 0,47	3	0,09
12	Автоматический дозатор для воды	ДЗ-В-01	40	0,55 · 0,22 · 0,75	0,8	2,4
13	Автоматический дозатор с кулачковым насосом для жидких, средней и высокой вязкости продуктов	–	85	1,12 · 0,73 · 0,90	не более 0,6	0,96
14	Сетчатый конвейер	КПС-180-900	300	10 · 1,70 · 1,05	0,4	30 000

Продолжение таблицы 4

1	2	3	4	5	6	7
15	Электрический сушильный туннель	АСУ-2.4	4 800	$20,9 \cdot 2,60 \cdot 4,80$	423,37	0,31
16	Смеситель для растворов	МиксDSL	11	$1,03 \cdot 0,36 \cdot 0,36$	0,37	—
17	Смеситель для вязких жидкостей	Микс V	85	$1,54 \cdot 1,12 \cdot 0,76$	5,5	0,5
18	Смеситель сухих смесей	Турбомикс CM 300	815	$1,85 \cdot 0,77 \cdot 0,97 \cdot 1,62$	11	5
19	Электрический калорифер	ВНЭ-15-02	12	$0,25 \cdot 0,74 \cdot 0,24$	14,4	2 000
20	Бетоносмеситель	СБ-62 (С-951)	4 200	$3,05 \cdot 2,70 \cdot 2,80$	28	до 25
21	Бетоноукладчик	СМЖ 528	8 100	$4,10 \cdot 6,30 \cdot 3,19$	20,16	0,2
22	Ленточный конвейер	КЛСТ-800	60 000	$6 \cdot 0,80 \cdot 0,60$	до 250	90 – 455
23	Виброплощадка	СМЖ-200Б	6 700	$10,26 \cdot 2,94 \cdot 0,69$	88	до 600
24	Сушильный туннель	SODIS LSK-12Э	1 100	$2,40 \cdot 8 \cdot 2,70$	40	12 000
25	Автоматический бак для воды	ATV-500	32,6	$1,92 \cdot 0,74 \cdot 0,33$	0,6	2,1
26	Автоматический бак для перекиси водорода	БПДР1000-50ВМТА-ЦУ	8	$1,23 \cdot 1,09 \cdot 0,31$	0,12	4
27	Автоматический бак для жидкостей, эмульсий и суспензий	СПР (ОКП 48 5913)	240	$0,74 \cdot 0,74 \cdot 1,12$	0,02	0,012

ПРИЛОЖЕНИЕ 5. АКТ ВЫПУСКА (ООО «КУЙБЫШЕВСКИЙ ЗАВОД ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ИЗДЕЛИЙ И КОНСТРУКЦИЙ»)

Утверждаю

Директор ООО «Куйбышевский завод
железобетонных изделий и конструкций»

/  / В.В. Шутиков
«15» 08 2022 г.



АКТ

На выпуск опытной партии арболитовых плит со светопропускающим эффектом

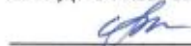
Мы, нижеподписавшиеся, представители ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)» зав.кафедрой Строительных материалов, стандартизации и сертификации, к.т.н., доцент Смирнова О.Е., д-р техн. наук, профессор Пичугин А.П., аспирант Ткаченко С.Е., с одной стороны, и главный инженер Куйбышевского завода железобетонных изделий и конструкций (КЗЖБИИК) С.А. Еремин с другой стороны, составили настоящий акт о том, что разработанные в НГАСУ совместно с НГАУ в августа месяце с.г. на производственном участке деревообработки КЗЖБИИК была изготовлена опытно-производственная партия арболитовых плит со светопропускающим древесным наполнителем марки «ПАСЭ 600.300.25» в количестве 19 м²

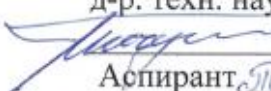
Р -75103.91.100 – 2022 рассмотрены на Научно-техническом совете Куйбышевского завода железобетонных изделий и конструкций (протокол №18 от 20.09.2022 г.), рекомендованы для изготовления арболитовых плит.

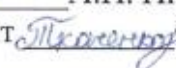
По результатам проведенных опытно-производственных испытаний установлено, что данные плиты имеют светопропускание в пределах от 51 до 72%. При их изготовлении используется некондиционная малоценная древесина берёзы, которая совсем не применяется в столярных изделиях, что способствует снижению отходов производства и повышает общую эффективность затрат на выпускаемую продукцию завода.

Применение арболитовых плит со светопропускающим эффектом из отходов деревообработки позволяет использовать ранее неиспользуемое растительное сырьё, что способствует снижению отходов и повышению рентабельности производства. Таким образом, производство светопропускаемых арболитовых плит считается экономически целесообразным.

Представители
ФГБОУ ВО «Новосибирский ГАСУ»
канд. техн. наук

 О.Е. Смирнова
д-р техн. наук., проф.

 А.П. Пичугин

Аспирант  С.Е. Ткаченко

Главный инженер
Куйбышевского завода
железобетонных изделий,

 С.А. Еремин

ПРИЛОЖЕНИЕ 6. АКТ ОБ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ (ООО «КУЙБЫШЕВСКИЙ ЗАВОД ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ИЗДЕЛИЙ И КОНСТРУКЦИЙ»)

Утверждаю

Директор ООО «Куйбышевский завод
железобетонных изделий и конструкций»

/  / В.В. Шутиков

08 _____ 2022 г.



АКТ

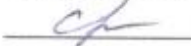
Об экономической целесообразности применения арболитовых плит со светопропускающим эффектом

Мы, нижеподписавшиеся, представители ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)» зав.кафедрой Строительных материалов, стандартизации и сертификации, к.т.н., доцент Смирнова О.Е., д-р техн. наук, профессор Пичугин А.П., аспирант Ткаченко С.Е., с одной стороны, и главный инженер Куйбышевского завода железобетонных изделий и конструкций С.А. Еремин с другой стороны, составили настоящий акт о том, что разработанные в НГАСУ совместно с НГАУ «Рекомендации по производству арболитовых плит со светопропускающим древесным наполнителем» Р –75103.91.100 – 2022 рассмотрены на Научно-техническом совете Куйбышевского завода железобетонных изделий и конструкций (протокол №18 от 20.09.2022 г.), рекомендованы для изготовления арболитовых плит.

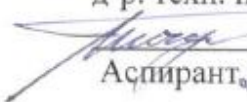
По результатам проведенных опытно-производственных испытаний установлено, что данные плиты имеют светопропускание в пределах от 51 до 72%. При их изготовлении используется некондиционная малоценная древесина берёзы, которая совсем не применяется в столярных изделиях, что способствует снижению отходов производства и повышает общую эффективность затрат на выпускаемую продукцию завода.

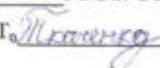
Применение арболитовых плит со светопропускающим эффектом из отходов деревообработки позволяет использовать ранее неиспользуемое растительное сырьё, что способствует снижению отходов и повышению рентабельности производства. Таким образом, производство светопропускаемых арболитовых плит считается экономически целесообразным.

Представители
ФГБОУ ВО «Новосибирский ГАСУ»
канд. техн. наук

/  О.Е. Смирнова

д-р. техн. наук., проф.

/  А.П. Пичугин

Аспирант. /  С.Е. Ткаченко

Главный инженер
Куйбышевского завода
железобетонных изделий,

/  С.А. Еремин

**ПРИЛОЖЕНИЕ 7. ТЕХНИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ВТУ 178-340-003-04-2022
(ООО «КУЙБЫШЕВСКИЙ ЗАВОД ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ИЗДЕЛИЙ И
КОНСТРУКЦИЙ»)**

Утверждаю

Директор ООО «Куйбышевский завод
железобетонных изделий и конструкций»

/ Шута / В.В. Шутиков



«15» 08 2022 г.

Плиты арболитовые со светопропускающим древесным наполнителем

**ТЕХНИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ
ВТУ 178-340-003-04-2022**

Введены в действие с 1.07.2022 г.

Срок действия - до 01.07.2027 г.

Разработаны НГАСУ

Зав. кафедрой Строительных материалов,
стандартизации и сертификации
канд. техн. наук, доцент

/ С.Е. Смирнова О.Е. Смирнова

Доктор технических наук, проф.

/ А.П. Пичугин А.П. Пичугин
аспирант
/ С.Е. Ткаченко С.Е. Ткаченко

Новосибирск, 2022 г.

ПРИЛОЖЕНИЕ 8. АКТ НА ПЕРЕДАЧУ (ООО «СтройТехЭкспертПроект»)

Общество с ограниченной ответственностью «СтройТехЭкспертПроект» (ООО «СТЭП»)

630073, Новосибирск, ул. Стартовая, 3 офис, 7
ИНН 5404353875, КПП 540401001, ОКПО 84971944, ОГРН 1085404006258

«Утверждаю»

Генеральный директор
ООО «Стройтехэкспертпроект»



М.О. Батин

«26» 03 2022 г.

М.п.

АКТ

на передачу Временных Технических Условий «ПЛИТЫ АРБОЛИТОВЫЕ СО СВЕТОПРОПУСКАЮЩИМ ДРЕВЕСНЫМ ЗАПОЛНИТЕЛЕМ» ВТУ 178-340-003-04-2022

Мы, нижеподписавшиеся, представители ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)» зав.кафедрой Строительных материалов, стандартизации и сертификации, к.т.н., доцент Смирнова О.Е., д-р техн. наук, профессор Пичугин А.П., аспирант Ткаченко С.Е., с одной стороны, и представитель ООО «Стройтехэкспертпроект» заместитель генерального директора по научной работе, к.т.н. Грохотов В.И., с другой стороны, составили настоящий акт о том, что разработанные в НГАСУ совместно с НГАУ Временные Технические Условия «Плиты арболитовые со светопропускающим древесным наполнителем» ВТУ 178-340-003-04-2022 переданы для рассмотрения на Научно-техническом совете ООО «Стройтехэкспертпроект» для последующего принятия и использования в проектной деятельности, а также при изготовлении арболитовых блоков на производственном участке.

Представители

ФГБОУ ВО «Новосибирский ГАСУ»

канд. техн. наук

О.Е. Смирнова

д-р. техн. наук., проф.

А.П. Пичугин

аспирант

С.Е. Ткаченко

Представитель

ООО «Стройтехэкспертпроект»

Заместитель директора по НР,

канд. техн. наук

В.И. Грохотов

ПРИЛОЖЕНИЕ 9. АКТ ОБ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ (ООО «СтройТехЭкспертПроект»)

**Общество с ограниченной ответственностью
«СтройТехЭкспертПроект» (ООО «СТЭП»)**

630073, Новосибирск, ул. Стартовая, 3 офис, 7
ИНН 5404353875, КПП 540401001, ОКПО 84971944, ОГРН 1085404006258

Утверждаю
Генеральный директор
ООО «Стройтехэкспертпроект»
М.О. Батин
«12» _____ 2022 г.
М.п.



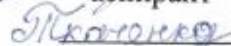
АКТ

Об экономической целесообразности применения арболитовых плит со светопропускающим эффектом

Мы, нижеподписавшиеся, представители ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)» зав.кафедрой Строительных материалов, стандартизации и сертификации, к.т.н., доцент Смирнова О.Е., д-р техн. наук, профессор Пичугин А.П., аспирант Ткаченко С.Е., с одной стороны, и представитель ООО «Стройтехэкспертпроект» заместитель генерального директора, к.т.н. Грохотов В.И., с другой стороны, составили настоящий акт о том, что разработанный в НГАСУ совместно с НГАУ Временные Технические Условия «Плиты арболитовые со светопропускающим древесным наполнителем» ВТУ 178-340-003-04-202 рассмотрены на Научно-техническом совете ООО «Стройтехэкспертпроект» (протокол №6 от 24.06.2022 г.), одобрены и приняты для использования на производственном участке по изготовлению арболитовых плит.

По результатам проведенных опытно-производственных испытаний установлено, что данные плиты имеют светопропускание в пределах от 51 до 72%. При их изготовлении использовались отходы деревообработки берёзовой древесины, мало используемые в столярном и строительном деле.

Применение арболитовых плит со светопропускающим эффектом из отходов деревообработки позволяет использовать ранее неиспользуемое растительное сырьё, что способствует снижению отходов и повышению рентабельности производства. Таким образом, производство светопропускаемых арболитовых плит считается экономически целесообразным.

Представители
ФГБОУ ВО «Новосибирский ГАСУ»
канд. техн. наук
 О.Е. Смирнова
д-р техн. наук., проф.
 А.П. Пичугин
аспирант
 С.Е. Ткаченко

Представитель
ООО «Стройтехэкспертпроект»
Заместитель директора по НР,
канд. техн. наук
 В.И. Грохотов

M.H.

2022 г.

Новосибирск, 2022 г.

ПРИЛОЖЕНИЕ 11. СПРАВКА О ВНЕДРЕНИИ РЕЗУЛЬТАТОВ



МИНОБРНАУКИ РОССИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ (СИБСТРИН)

ОКПО 02068976 ОГРН 1025401905484
ИНН/КПП 5405115866/540501001
Ленинградская ул., д. 113, Новосибирск 630008
Тел. (383) 266-41-25, факс (383) 266-40-83
E-mail: rector@sibstrin.ru

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по УВР и МП
НГАСУ (Сибстрин)»

канд. техн. наук, доцент
М. Н. Шумкова

«___» _____ 20__ г.



СПРАВКА

**о внедрении результатов диссертационной работы
Ткаченко Сергея Евгеньевича**

Теоретические положения, результаты экспериментальных исследований и промышленной апробации, полученные при выполнении диссертационной работы Ткаченко Сергея Евгеньевича на тему *«Древесный светопропускаемый заполнитель и декоративный бетон на его основе»* используются в учебном процессе при подготовке бакалавров направления 08.03.01 – Строительство, профилей «Промышленное и гражданское строительство», «Производство строительных материалов, изделий и конструкций», специалистов направления 08.05.01 «Строительство уникальных зданий и сооружений» и при подготовке магистров 08.04.01 – Строительство, профиля «Производство строительных материалов, изделий и конструкций», что отражено в рабочих программах дисциплин «Строительные материалы» (с учетом профиля) и «Инновации в технологии производства строительных материалов, изделий и конструкций».

Директор института
строительства,
канд. техн. наук, доцент

В.А. Гвоздев