

## **ОТЗЫВ**

**официального оппонента на диссертационную работу Котлова Виталия Геннадьевича на тему «Процессы тепломассопереноса при напряжённо-деформированном состоянии нагельных соединений», представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.02.13 - Машины, агрегаты и процессы (строительство)**

### **Актуальность темы диссертации**

Из всех строительных материалов у древесины самая многовековая история. Первоочередность древесины в истории строительства обусловлена ее распространённостью и простотой обработки. С развитием науки происходило и развитие строительства из древесины. Широкому распространению древесины, как конструкционного материала, способствовали ее хорошие физико-механические свойства. Так, например, сосна, одна из самых распространённых деревянных строительных материалов, при малой плотности, порядка  $520 \text{ кг/м}^3$ , имеет показатель сопротивляемости сжатию, сравнимый с показателем бетона класса В15. Однако, плотность бетона составляет  $2500 \text{ кг/м}^3$ , что указывает на несомненное преимущество в весе деревянных конструкций, при равной несущей способности.

Особое внимание уделялось и уделяется соединениям деревянных конструкций. Основным типом соединений, особенно в малоэтажном строительстве, являются нагельные соединения.

Анализ современных технологий возведения деревянных конструкций показывает существенное преимущество нагельных соединений по сравнению с другими видами.

Их отличает высокая надёжность, простота реализации, как в заводских условиях, так и на строительной площадке.

Деревянные конструкции, изготовленные на таких соединениях, эксплуатируются как в стационарном, так и в переменном температурно-влажностном режиме.

Исследованию деревянных конструкций под воздействием высоких температуры и влажности посвящены большое количество работ, как российских, так и зарубежных учёных.

Однако, работ, посвященных исследованию нагельных соединений, недостаточно, а особенно исследований нагельных соединений, находящихся под циклически изменяющимися параметрами внешней среды, температуры и влажности, практически нет.

В связи с этим в данной работе впервые изучены данные процессы, что указывает на актуальность выбранного направления, что позволит внести в уточнения в методику расчёта нагельных соединений деревянных конструкций. Необходимо отметить, что теоретические разработки диссертации базируются на фундаментальных положениях теории тепломассопереноса, основателем которой является советский ученый, академик А.Н.БССР А.В. Лыков.

Дистанционная работа состоит из введения, 6 глав, заключения, библиографического списка и приложений. Библиографический список содержит 234 источника. Общий объем диссертации составляет 342 страницы, из них основной текст – 286 страниц, библиографический список – 33 страницы, приложения – 22 страницы.

### **Новизна основных выводов и положений диссертации**

Целью диссертационного исследования является обобщение и развитие научных основ создания нагельных соединений деревянных строительных конструкций и обеспечения их прочности, надежности и долговечности в процессе эксплуатации на основе разработки и применения математических моделей процессов тепловлагопереноса в древесине таких соединений при динамических знакопеременных эксплуатационных условиях.

Для достижения поставленной цели в диссертации решен ряд задач. Новыми научными результатами следует признать:

- Сформулирована методология обеспечения эксплуатационной надежности и долговечности деревянных строительных конструкций, отличающаяся

от известных тем, что в ее состав введены разделы, посвященные теоретическому исследованию циклических процессов тепломассопереноса в соединенных нагелями элементах из древесины, определен ресурс с применением автоматизированных систем контроля эксплуатационных характеристик нагельных соединений в условиях динамического изменения климатических факторов.

- Сформулированы теоретические представления и разработана численно-аналитическая математическая модель нестационарного теплопереноса в системе «цилиндрический нагель – древесина» при произвольном законе изменения температуры среды эксплуатации.

- Разработаны теоретические представления и численно-аналитическая математическая модель нестационарного тепловлагопереноса в древесине болтового нагельного соединения, осложненного капиллярной конденсацией и испарением влаги.

- Разработана двумерная математическая модель взаимосвязанного тепловлагопереноса в древесине нагельных соединений с металлическими зубчатыми пластинами (МЗП).

- Сформирована инженерная методика расчета ресурса и мониторинга тепломассообменных процессов в древесине нагельного соединения для определения их эксплуатационных показателей.

- Разработана и создана лабораторная экспериментальная установка для комплексного исследования циклических процессов тепломассопереноса в древесине с нагельными соединениями при ее напряженно-деформированном состоянии и автоматизированная система мониторинга климатических, температурно-влажностных и механических показателей эксплуатации нагельных соединений строительных конструкций из древесины.

- Изучены закономерности процессов тепломассопереноса и их воздействия на показатели и характеристики нагельных соединений; на основании выполненных теоретических и экспериментальных исследований разработаны

научно обоснованные рекомендации по практическому применению результатов работы по созданию и обеспечению в процессе эксплуатации надежных и долговечных строительных конструкций из древесины; выполнена оценка показателей технико-экономической эффективности полученных результатов.

В теории напряжённо-деформированного состояния конструкций из древесины широко используются положения о том, что теплофизические, структурно-механические, реологические характеристики древесины зависят от температуры и влажности материала. Диссертант в своей работе показывает необходимость учёта влияния градиентов потенциалов переноса теплоты и влаги, которые возникают в древесине в процессе её эксплуатации в среде с переменными во времени температурой и влажностью среды эксплуатации.

#### **Степень обоснованности научных положений и выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации**

Автор диссертационной работы в своих исследованиях опирается на целенаправленный анализ источников как отечественной, так и зарубежной науки в области древесиноведения, нагельных соединений деревянных конструкций и процессов тепломассопереноса в системах «газ-твёрдое тело».

Научное положение, выводы и рекомендации, сформулированные в диссертации, достаточно обусловлены, подкреплены теоретическими и экспериментальными исследованиями. Автором достаточно полно реализован комплексный подход при решении поставленных задач.

Разработанная автором физико-математическая модель тепломассопереноса в системе «цилиндрический нагель-древесина» при произвольном законе изменения температуры среды эксплуатации характеризуют точное представление существующих процессов.

На основе этих представлений в работе корректно сформулирована математическая задача, описывающая процессы тепловлагопереноса в нагельных соединениях при циклически изменяющихся параметрах среды эксплуатации, решенная соискателем аналитическим методом интегрального преобразования Лапласа.

Ценность решений краевых задач тепломассопереноса в высокой степени определяется экспериментальными данными по зависимостям коэффициентов переноса и в первую очередь: тепло- и массопроводности от потенциалов переноса. Исторически в отечественной науке существуют и развиваются два основных направления: «Зональный» метод, развиваемый в работах проф. С.П. Рудобашты и его научной школы и метод «микропроцессов», развиваемый в трудах акад. РААСН С.В.Федосова. Диссертант был докторантом ИГАСУ и, соответственно, является представителем Ивановской научной школы. Им разработана оригинальная методика экспериментального исследования процесса сушки нагельных соединений при условиях воздействия силовых нагрузжений и переменных параметрах тепловлажностной среды эксплуатации. Предложены эмпирические выражения для определения количества предельных циклов, на основании которых выработаны рекомендации по организации планово-предупредительных ремонтов.

При решении указанных математических моделей: а) болтовых нагельных соединений; б) соединений с применением МЗП, использован метод «микропроцессов» в соответствии с которой процесс взаимодействия конструкции с окружающей средой представляется дискретной цепью последовательных стадий процесса («микропроцессов»), на каждой из которых температурно-влажностные параметры среды считаются постоянными, но скачкообразно меняющимися при переходе от одного «микропроцесса» к другому.

Важным преимуществом предложенных математических моделей является то, что они позволяют определять не только изменение температуры и влагосодержания в пространстве (в объеме древесины) и во времени, но также изменение градиентов температуры и влагосодержания, так как в некоторых случаях знание градиентов этих величин может иметь большее практическое значение, чем знание самих этих показателей.

Проведенная автором верификация математической модели на основе данных эксперимента показало высокое сходство результатов теоретического расчёта с экспериментальными данными, а зависимости, представленные в

диссертации на рисунке 5.33 полностью подтверждают справедливость центральной гипотезы настоящей работы о существенном влиянии циклически меняющихся температурно-влажностных условий эксплуатации на долговечность нагельных соединений. Показано также, что для оценки состояния нагельных соединений целесообразно использовать еще и величину их абсолютной деформации.

Все вышеизложенное позволяет констатировать, что основные научные положения, выводы и рекомендации, сформулированные в диссертации, в достаточной мере обоснованы.

### **Значение диссертации для науки и практики**

Осуществлен комплексный и многофакторный анализ и развитие научных основ создания нагельных соединений деревянных строительных конструкций и обеспечение их прочности, надёжности и долговечности в процессе эксплуатации на основе разработки и применения математических моделей процессов тепломассопереноса в древесине таких соединений при динамических знакопеременных эксплуатационных условиях.

Диссертация Котлова В.Г. выполнена и представлена как фундаментальная научная работа, в которой изложены выполненные автором исследования, а также разработаны общетеоретические положения, общая совокупность которых является не только существенным научным достижением, но и новаторским решением проблемы, имеющим высокое теоретическое и практическое значение, внедрение которого в современную науку процессов тепломассопереноса в нагельных соединениях деревянных строительных конструкций внесёт значительный вклад в дальнейшее развитие исследования деревянных конструкций с использованием нагельных соединений (металлических зубчатых пластин (МЗП), цилиндрических и пластинчатых нагелей).

Диссертация содержит новые научные результаты и положения о процессе тепломассопереноса при напряженно деформированном состоянии

нагельных соединений, а также изложены проблемы методологии и концептуализации данной сферы научного значения в мировой и отечественной практике.

Практическая значимость заключается в обеспечении в процессе эксплуатации надёжности и долговечности строительных конструкций из древесины.

Обоснованность положений и выводов автора подтверждается внедрением результатов исследований в производство.

### **Замечания по диссертационной работе**

1. На стр. 95 автор пишет «На таком предположении основан «метод микропроцессов», изложенный, например, в [53, 105,109,110]». Источник [53] - это монография С.В. Федосова, в которой изложен метод «микропроцессов», источники [105, 110] – это работы, в которых описан «зональный» метод, близкий по сути методу «микропроцессов», но имеющий и отличия: в «зональном» методе весь диапазон влагосодержаний разбивается на ряд концентрационных зон и по среднему влагосодержанию в зонах выбираются значения теплофизических характеристик (ТФХ) материала, в методе же «микропроцессов» оперируют диапазонами времени, поэтому нужно для каждой концентрационной зоны расчет выполнять дважды (сначала рассчитывать конечное влагосодержание в зоне, затем определять среднее влагосодержание в зоне, по нему определять значения ТФХ и повторять расчет). Источник же [109] не имеет отношения ни к одному, ни к другому методу.

2. Как метод «микропроцессов», так и «зональный» метод были разработаны для того, чтобы учитывать изменение в ходе процесса теплофизических характеристик материала, которые являются функциями его влагосодержания и температуры, что отмечает и сам автор. В диссертации, однако, не прослеживается решение задач с переменными коэффициентами массо-и теплопереноса.

3. При формулировке математической задачи теплопроводности (2.11) недостаточно конкретизирована область определения дифференциального уравнения (2.11). Написано просто  $R_0 \leq r \leq R_1$ . Этого не достаточно,

поскольку речь идет о замене задачи теплопроводности для цилиндрической стенки задачей для плоской стенки. Перед этим на стр. 201 написано: «при соотношении  $R_6/R_1 < 0,5$  краевая задача теплопроводности в древесине может быть рассмотрена в системе неограниченных пластин  $R_6/R_1 < 0,5$ ». При  $R_6 = 0$  имеем сплошной (не полый) цилиндр и согласно условию  $R_6/R_1 < 0,5$  получается, что сплошной цилиндр можно рассматривать как пластину. На наш взгляд, правильно задать область определения можно было бы в виде неравенства  $(R_2 - R_1)/(R_1 + R_2)/2 \ll 1$ .

4. Автор использовал косвенный метод определения влажности древесины – с помощью кондуктометрического электровлагомера «*Hydromette HT 85*». Необходимо, однако, заметить, что электрические влагомеры применяются, как правило, в производственных условиях, а в исследовательской практике предпочитают использовать гравиметрический метод (метод высушивания) как более точный и надежный.

5. В диссертации на стр. 233 приведено найденное автором по своей модели значение коэффициента массопроводности древесины  $k = 3,85 \cdot 10^{-9}$  м<sup>2</sup>/с, которое не соотнесено ни с температурой, ни с влагосодержанием материала. В литературе приводятся многочисленные данные по коэффициенту массопроводности (диффузии влаги) при сушке древесины в функции влагосодержания и температуры. Имеется универсальный зональный метод определения коэффициента массопроводности в функции от влагосодержания из кривой кинетики, опубликованный еще в 1975 г. [1. Э.Н. Очнев, С.П. Рудобашта, А.Н. Плановский, В.М. Дмитриев. Зональный метод определения зависимости коэффициента массопроводности от концентрации // Теор. основы хим. технол. 1975. Т. IX. № 4. С. 491-495.]. Что нового дает найденный точечный результат  $k = 3,85 \cdot 10^{-9}$  м<sup>2</sup>/с ?

6. На рис. 5.5 «Адсорбционная кривая древесины по данным расчетов из диаграммы И.Н. Чулицкого при температуре: 1 – 20 °С; 2 – 40 °С; 3 – 60 °С» не проставлены величины по координатным осям.



## **Заключение о соответствии диссертации критериям «Положения о порядке присуждения ученой степени»**

Диссертация Котлова В.Г. обладает научной и практической значимостью, содержит достоверные научные результаты. Полученные результаты соответствуют уровню докторской диссертации по рассматриваемой специальности. Приведенные замечания к диссертационной работе большей частью являются пожеланиями автору при проведении дальнейших исследований и, безусловно, не снижают общей положительной оценки диссертационной работы, выполненной с большим объемом экспериментальных и теоретических исследований на актуальную для строительного материаловедения тему.

Автореферат составлен с соблюдением установленных требований, его содержание соответствует основным положениям диссертации. Результаты проведенных исследований нашли отражение в 76 опубликованных работах, соответствующих теме диссертации, из которых 3 монографии, 5 статей – в изданиях, индексируемых в международной цитатно-аналитической базе данных Scopus, 16 статей – в изданиях, рекомендованных ВАК РФ, 37 статей опубликованы в сборниках трудов международных, всероссийских конференций и межвузовских сборниках, 6 авторских свидетельств и 10 патентов.

Проведенный анализ диссертационной работы Котлова Виталия Геннадьевича позволяет сделать вывод о том, что работа соответствует требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения учёных степеней», утверждённого Правительством РФ 24.09.2013г. № 842, предъявляемым к докторским (кандидатским) диссертациям, является законченной научно-квалификационной работой, в которой содержится решение задачи по разработке математической модели процесса тепломассопереноса в нагельных соединениях, что позволило посредством теоретических и экспериментальных исследований установить влияние этих процессов на эксплуатационные показатели и характеристики нагельных соединений.

Следует отметить, что НИиОКР Котлова В.Г. высоко оценены в Республике Марий Эл. «Лабораторный комплекс для определения теплотехнических

характеристик образцов стеновых ограждений при длительных режимах испытаний в климатических условиях Республики Марий Эл» удостоен Государственной премии Республики Марий Эл в области архитектуры и строительства им. А.А.Сурикова.

На основании вышеизложенного полагаю, что автор диссертации Котлов Виталий Геннадьевич заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 05.02.13 - Машины, агрегаты и процессы (строительство).

Доктор технических наук,  
профессор кафедры Теплотехники, гидравлики  
и энергообеспечения предприятий,  
ФГБОУ ВО Российский государственный аграрный  
университет – МСХА имени К.А.Тимирязева  
05.17.08 - Процессы и аппараты химических технологий  
127550, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49  
Тел. +7(499) 976-15-76  
E-mail: [rudobashta@mail.ru](mailto:rudobashta@mail.ru)

С.П. Рудобашта

«30» марта 2021 г.

Подпись С.П. Рудобашты заверяю

ПОДПИСЬ  
ЗАВЕРЯЮ



ПРОРЕКТОР  
ПО КАДРОВОЙ ПОЛИТИКЕ И  
ИМУЩЕСТВЕННОМУ КОМПЛЕКСУ  
И. О. СТЕПАНЕЛЬ