

**Базарова Елена Андреевна**

магистрант

ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет»

г. Курск, Курская область

## **ОБЗОР НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО УСТОЙЧИВОСТИ ДЕРЕВЯННЫХ СТЕРЖНЕЙ**

***Аннотация:** в данной работе выполнен обзор существующих исследований по устойчивости деревянных конструкций при различных условиях нагружения. Сделан вывод, что модель «деградирующих» условий опирания практически не изучена на сегодняшний день.*

***Ключевые слова:** деревянная рама, устойчивость, силовое воздействие, средовое воздействие, стадии деформирования, модуль деформаций.*

Дерево – один из самых древних строительных материалов. Однако, в последние десятилетия наиболее широко используемыми материалами в жилом, общественном и промышленном строительстве являлся железобетон и сталь, при этом конструкции из дерева были менее распространены. В последнее время деревянные конструкции набирают все большую популярность. Известно много уникальных деревянных построек в Европе, например, MetropolParasol в Севилье (Испания) – это гигантский навес необычной формы, который внешне напоминает облако, Длина крыши этого деревянного сооружения составляет 175 метров, ширина – 50, что делает его самым большим деревянным объектом в мире [6].

Всего через пару лет в Стокгольме появится еще одно из самых необычных зданий во всей Европе – небоскреб *Big Wood*, который станет первым в мире деревянным небоскребом [7].

Одной из причин малого использования деревянных конструкций является недостаточный уровень проведенных исследований (особенно экспериментальных).

На сегодняшний день недостаточно изучена устойчивость стержней из древесины при возникновении «деградирующих» условиях опирания, что

значительно влияет на определение конструктивной безопасности деревянных конструкций. В этой связи актуальным является изучение данного вопроса.

Исследованием устойчивости деревянных стержней занимаются многие деятели науки, например, Константин Пантелеевич Пятикрестовский и Х.С. Хунагов. Так, в своей статье «Нелинейные деформации статически неопределимых деревянных конструкций» [2] авторы рассматривают статически неопределимые деревянные конструкции при несимметричных нагрузках. Авторы считают, что перераспределение усилий позволяет получить экономию материалов и обеспечить безопасность сооружений.

Известно, что сжатые, а также сжато-изогнутые деревянные элементы деформируются нелинейно, что приводит к усложнению ряда расчетов. Диаграммы деформирования древесины, полученные в результате многочисленных экспериментов, дают возможность описать процесс деформирования рядом уравнений. Так, метод, предложенный советским учёным А.Р. Ржанициным позволяет учитывать сложность процесса деформирования древесины во времени с помощью разбиения процессов деформирования на три стадии и замены сложной нелинейной связи между напряжениями и деформациями кусочно-линейными зависимостями, то есть прямыми, удовлетворяющими условию неразрывности деформаций, напряжений и скоростей деформирования при переходе от одной стадии деформирования к другой.

Для древесины данные стадии характеризуются следующими особенностями:

1) в первой стадии деформирования ползучесть является обратимой, подчиняется основным положениям линейной теории ползучести (закону Гука);

2) во второй стадии – установившейся ползучести – деформирование идет с постоянной скоростью нарастания деформаций ползучести (при постоянных нагрузках), деформации здесь большей частью необратимы;

3) в третьей стадии имеет место критическое нарастание необратимых деформаций во времени.

Вопросами устойчивости конструкций из дерева занимаются и такие известные деятели науки как Владимир Ильич Травуш – заслуженный строитель РФ, доктор технических наук, профессор и Виталий Иванович Колчунов – академик РААСН, доктор технических наук, профессор. В 2015 г. Они совместно с Дмитриевой Ксенией Олеговной в журнале «Строительство и реконструкция» (№5 (61)) публикуют статью «Длительная прочность и устойчивость сжатых стержней из древесины» [3]. Авторы говорят, что на сегодняшний день существует достаточно много реологических моделей (видов зависимостей напряжения от деформаций) для анализа длительной прочности и устойчивости конструкций из дерева при оценке их силового сопротивления. Однако, на практике мы часто сталкиваемся с одновременным проявлением силовых и атмосферных воздействий на древесину. На сегодняшний день одновременное воздействие силовых и средовых нагрузок изучено достаточно мало и до сих пор не существует четких зависимостей между напряжениями и деформации возникающими в древесине при одновременном проявлении данных нагрузок. Таким образом, изучение данного вопроса является очень актуальным на сегодняшний день. Авторы ставят перед собой задачу создания простейшей реологической модели изменения деформационных и прочностных характеристик древесины, которая даст возможность получить простые уравнения для критериев длительной прочности элементов, выполненных из древесины.

Экспериментальные исследования проводились в лаборатории кафедры ПГС ЮЗГУ. При проведении эксперимента была проведена количественная оценка приведенных зависимостей применимой к расчету устойчивости опытных образцов. Опытные образцы сечением 30x10 мм испытывались на центральное сжатие по специально разработанной методике, приоритет которой защищен патентом РФ на полезную модель №142336.

В ходе теоретических и экспериментальных исследований авторы на основе принятой реологической модели деформирования древесины Кельвина-Фойгт – определяют уравнение длительной прочности и предельное значение критической силы для сжатого стержня.

Удовлетворительное совпадение теоретических значений критической силы с данными испытаний центрально сжатого стержня подтверждают достоверность использованной в расчете реологической модели.

На практике часто возникает задача усиления уже существующих деревянных конструкций объектов промышленности (в данной примере рассмотрен объект текстильной промышленности), однако, результатов исследований устойчивости деревянных элементов на отдельные виды воздействий при их эксплуатации до сих пор достаточно мало. В данной работе (Экспериментально-теоретическое исследование прочности и устойчивости сжатых стержней из древесины при силовом и средовом воздействии / В.И. Травуш, В.И. Колчунов, К.О. Дмитриева)[4] приведены некоторые результаты экспериментально-теоретических исследований прочности и устойчивости сжатых деревянных стержней при одновременном проявлении силового и средового воздействия.

При проведении экспериментальных исследований авторами были решены следующие задачи:

- моделирование экспериментальной установки,
- разработка специальной методики испытаний опытных образцов,
- проведение испытаний центрально-сжатых стержней при их статическом нагружении и переменной влажности,
- анализ полученных параметров прочности и устойчивости.

Опытные образцы испытывались по специально разработанной методике, приоритет которой защищен патентом РФ на полезную модель №142336. В процессе эксперимента с помощью тензорезисторов фиксировались деформации опытного образца (его верхних волокон). Прогиб измерялся электронным прогибомером, а изменение длины стержня определялся по перемещению груза. Для создания условий одновременного проявления силового и средового воздействия экспериментальная установка помещалась в специальной герметичной камере, а с помощью увлажнителя воздуха в камере создавалась переменная влажность.

Расчет исследуемых конструкций выполнялся по деформационной модели Г.А. Гениева. Деревянные стержни рассчитывались на центральное сжатие для определения значения критической силы. По завершению исследований автор приходит к выводу, что наиболее интенсивные реологические процессы проявляются в первые полтора года с постепенным затуханием во времени. При этом изменение влажности конструкций в пределах от 10 до 50% оказывает существенное влияние на значение критической силы. Зависимость критической силы от времени и влажности, предложенная Дмитриевой, может быть использована в практике проектирования для оценки устойчивости сжатых стержней при силовом и средовом воздействии.

К.О. Дмитриева продолжает заниматься исследованием устойчивости деревянных стержней при одновременном проявлении длительного силового нагружения и средового воздействия (Вопросы устойчивости стержневых элементов конструктивных систем из древесины при силовом и средовом нагружении К.О. Дмитриева) [5]. Действительно, данный вопрос представляет собой практическую ценность. Многим промышленным предприятиям выгодно не начинать новое строительство, а размещать свое производство в уже существующих зданиях, которые в свою очередь нуждаются в регулярных обследованиях и реконструкции.

В своей работе автор приводит численные результаты исследований устойчивости нагруженных стержневых элементов на примере деревянной рамы с учетом реологических свойств древесины, переменной влажности и влияния соседних несущих элементов конструктивной системы. Для анализа принимается реологическая модель Кельвина-Фойгта. Используя эту зависимость и формулу Эйлера можно получить выражение для определения предельного значения критической силы.

Автор работы выделяет два критерия работы конструктивного элемента (колонны). Первый из них – работа концевых реакций  $i$ -го стержня в процессе изгиба является отрицательной, что является признаком активной потери устойчивости стержня, второй критерий – работа является положительной, т. е. это

признак пассивной потери устойчивости. Для рассматриваемой рамы было определено изменение формы потери устойчивости при различных значениях параметра нагрузки  $\alpha$ , результаты расчета были отражены на графиках  $\alpha(t)$  и  $\alpha(w)$ , которые показали, что режимное нагружение рамы во времени уменьшает величину критической силы, при которой происходит потеря устойчивости крайних стоек. Такое же влияние на изменение критической силы для крайних стоек оказывает и увеличение влажности древесины. Таким образом, автор делает вывод, что учет влажности древесины оказывает важное влияние на оценку устойчивости стержневых элементов.

Дмитриева Ксения Олеговна совместно с Ключевой Натальей Витальевной также рассматривают вопросы устойчивости стержневых элементов (Вопросы устойчивости стержневых элементов конструктивных систем из древесины различных пород при силовом и средовом нагружении в условиях повышенной влажности / Н.В. Ключева, К.О. Дмитриева) [5]. Объектом их исследований становится двухпролетная рама из различных пород древесины (сосна, береза и ясень), крайние стойки которой нагружены сосредоточенной силой отличной от сосредоточенной силы на центральную стойку. Для анализа устойчивости рамы авторы принимают реологическую модель Кельвина-Фойгта. Используя эту модель и формулу Эйлера, получают выражение для определения предельного значения критической силы. Дополнительно применив выражение для значения длительного модуля деформаций ученые получают зависимость для определения предельного значения критической силы в стержне при одновременном средовом и силовом воздействии. При проведении численного результата оказалось, что у центрально-сжатых элементов из сосны, березы и ясеня наблюдается снижение значения критической силы, при этом в наибольшей степени воздействие силовых и средовых нагрузок «ощущают» сжатые элементы древесины с более высокой прочностью. Так, самое минимальное снижение критической силы происходит для сосны, а наибольшее для ясеня. Проведя расчетный анализ, построенный на энергетической основе (определив энергию деформирования), авторы приходят к тому, что режимное нагружение также существенно зависит от

породы древесины, при этом повышенная влажность по-разному сказывается на устойчивости стержней.

Результаты проведенных численных исследований показали, что элементы из более высокопрочных пород древесины в условиях повышенной влажности в большей степени теряют сопротивляемость силовому нагружению во времени, чем элементы из более слабых пород. Это следует учитывать при оценке эффективности различных пород дерева в качестве элементов конструктивных систем.

Вывод: Обзор существующих исследований по устойчивости деревянных конструкций при различных условиях нагружения, действительно, показал, что модель «деградирующих» условий опирания практически не изучена на сегодняшний день. На практике у деревянных стержней часто возникают условия, приводящие к постепенному выходу элемента из работы (например, гниение части элемента, «расшатывание» узлов). Современные нормы не отражают необходимых простых расчетов для данного процесса, который необходимо предусматривать при проектировании. Таким образом, исследование устойчивости деревянных элементов при «деградирующих» условиях опирания является очень важным на сегодняшний день.

### ***Список литературы***

1. Пятикрестовский К.П. Нелинейные деформации статически неопределимых деревянных конструкций [Текст] / К.П. Пятикрестовский, Х.С. Хунагов // Известия вузов. Строительство. – 2013. – №11–12. – С. 21–30.
2. Травуш В.И. Длительная прочность и устойчивость сжатых стержней из древесины / В.И. Травуш, В.И. Колчунов, К.О. Дмитриева // Строительство и реконструкция. – 2015. – №5 (61). – С. 40–46.
3. Травуш В.И. Экспериментально-теоретическое исследование прочности и устойчивости сжатых стержней из древесины при силовом и средовом воздействии / В.И. Травуш, В.И. Колчунов, К.О. Дмитриева // Технология текстильной промышленности. – №3 (363).

4. Дмитриева К.О. Вопросы устойчивости стержневых элементов конструктивных систем из древесины при силовом и средовом нагружении / К.О. Дмитриева // Строительство и реконструкция. – 2016. – №4 (66). – С. 14–18.

5. Ключева Н.В. Вопросы устойчивости стержневых элементов конструктивных систем из древесины различных пород при силовом и средовом нагружении в условиях повышенной влажности / Н.В. Ключева, К.О. Дмитриева // Строительство и реконструкция. – 2016. – №5 (67). – С. 60–68.

6. MetropolParasol – гигантские деревянные зонтики в Севилье [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://novate.ru/blogs/190814/27385/> (дата обращения: 08.05.2018).

7. BigWood – деревянный небоскреб в Стокгольме [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://novate.ru/blogs/190814/27385/> (дата обращения: 08.05.2018).