

Теоретические основы и расчетная реализация вопроса надежности клееных деревянных конструкций

Н.В. Линьков

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)

Аннотация: В статье предоставлены основы теоретических предпосылок вопроса надежности элементов деревянных конструкций, дана структура, формирующая параметры надежности, сформулированы критерии для использования научных исследований в вопросах проектирования и расчета конструкций с применением древесины. Расчетная реализация представлена на примере расчета деформативности ограждающей клефанерной панели покрытия.

Ключевые слова: напряжения, прогиб, модуль упругости, жесткость, доля длительности нагрузки, изгиб, расчетное сопротивление древесины.

Введение

На сегодняшний день статус такого параметра, как надежность элементов строительных конструкций с применением древесины, возможно оценить при одновременном учете и рассмотрении вопросов механики, материаловедения, а также инженерного расчета деревянных конструкций. При этом на прочность и деформативность древесины, как конструкционного материала, в рамках рассмотрения вопроса надежности влияют такие параметры, как факторы усталостного разрушения и явления замедленного разрушения деревянных конструкций [1-3].

Цель данной работы – описать параметры усталости, характерные для элементов деревянных конструкций, выполнить анализ методики оценки надежности элементов деревянных конструкций при усталостном разрушении, включая расчетные случаи.

Предметом исследования является сбор сведений по надежности древесины, оценка напряженно-деформированного состояния элементов деревянных конструкций при усталостном разрушении для описания параметра надежности древесины, как конструкционного строительного материала.

Объектом исследования является составная по материалам, что часто применяется при изготовлении деревянных конструкций [4, 5], ограждающая конструкция с применением деревянных ребер и фанерных обшивок, работающая в составе под действием нагрузок на поперечный изгиб.

Общие данные технической надежности элементов деревянных конструкций

Достаточно высокое сопротивление древесины механическому разрушению способствует на сегодняшний день востребованности и высоким темпам изготовления цельных и клееных элементов конструкций. Работа несущих деревянных элементов в составе зданий и сооружений, а также соединений элементов деревянных конструкций [5, 6], протекает, как правило, под воздействием ряда климатических факторов переменного характера, а также, внешних силовых воздействий.

Надежность элементов деревянных конструкций, особенно клееных, следует описать, как свойство древесины и адгезионных соединений нагруженного конструкционного объекта сопротивляться усталости, в виде постепенного накопления с течением времени дефектов и повреждений. При этом следует различать малоцикловую и многоцикловую, физическую и статическую усталость, что зависит от силовых режимов действия эксплуатационных нагрузок. Данные факторы являются причиной возникновения отказов несущих конструкционных элементов в процессе их эксплуатации и наступления соответствующего предельного состояния [7-9].

В рамках расчета элементов деревянных конструкций рассматриваются 2 группы предельных состояний.

Предельное состояние 1-й группы подразумевает исчерпание несущей способности элемента, проверяется от расчетных значений нагрузок по формуле:

$$\delta \leq R,$$

где δ – эффект силового воздействия в виде напряжений, которые возникают в деревянном элементе, R – расчетное сопротивление древесины, с учетом режима нагружения, доли длительности нагрузки, вида нагрузки, геометрических размеров элемента, сорта древесины.

Предельное состояние 2-й группы подразумевает непригодность элемента конструкции к нормальной эксплуатации, проверяется от нормативных значений нагрузок по формуле:

$$f \leq [f],$$

где f – расчетный прогиб, определяемый в соответствии с расчетной схемой, $[f]$ – предельно допустимый прогиб, определяемый в долях пролета по назначению элемента или исходя из ряда эксплуатационных требований в долях пролета.

Процесс разрушения для деревянных конструкций обусловлен двумя основными видами усталости:

1. физическая усталость, как явление напряжений переменного характера, которые вызваны периодическим изменением температурно-влажностных условий окружающей среды;
2. механическая усталость, в виде напряжений переменного характера, которые обусловлены нестационарным внешним силовым воздействием.

При этом дополнительно необходимо учитывать одновременность влияния обоих случаев на развитие процесса разрушения элемента.

Усталостные напряжения при накоплении могут вызвать изменение конструктивной расчетной схемы, а также снизить период безаварийной эксплуатации конструкций.

Для описания предельных состояний клееных деревянных конструкций [10] установлено применять понятия традиционной прочности в

совокупности с критериями вязкости разрушения, а также надежности, долговечности и безотказной работы при режимных случаях нагружений.

Критерий надежности элементов деревянных конструкций позволяет описать, вычислить и сформировать:

1. факторы отказа несущих конструктивных элементов в заданных эксплуатационных условиях;
2. требуемые геометрические параметры сечения элемента;
3. расчетную несущую способность элементов конструкции;
4. оптимальный эксплуатационный период безаварийной службы конструкции.

Общий перечень факторов, которые влияют на явление надежности элементов деревянных конструкций представлен в виде блок-схемы на рисунке 1.



Рисунок 1. Структура надежности элементов деревянных конструкций

Для деревянных конструкций расчетная методика выполнена с учетом комплексного влияния анизотропии и реологии древесины, вида напряженного состояния, условий эксплуатации конструкции. Инженерная реализация представлена необходимостью использовать при выполнении расчетов перечень функциональных коэффициентов.

Сопротивление усталости дощатоклееных конструкций

Для клееных деревянных элементов характерно низкое сопротивление усталости при изгибе в сравнении с сопротивлением усталости при продольных растяжении и сжатии. Такое явление связано с влиянием касательных напряжений, малым сопротивлением сдвигу, волокнистым характером анизотропии. При этом усталость определяется явлением микросдвига слоев, поскольку волокнистая структура древесины плохо сопротивляется сдвиговой форме разрушения, как результату силового воздействия за пределами несущей способности элемента. Касательные напряжения приводят к развитию межслоевых трещин в виде расслоения структуры древесного материала.

Снижение прочности у изгибаемых образцов крупных размеров с модулем упругости $E_{др}^{круп}$ меньше, чем у малых образцов с модулем упругости $E_{др}^{мал}$, поскольку существует возможность перераспределения напряжений в материале большего объема и релаксации, а также существует зависимость $E_{др}^{круп} > E_{др}^{мал}$.

Характер усталостного разрушения дощатоклееных конструкций

Фактическое усталостное разрушение древесины носит сложный вязко-хрупкий характер. Появление микроповреждений и трещин происходит в средней части по высоте сечения элемента, в следствии наибольшего стеснения. Развитие трещин происходит неравномерно, распространяясь по всей ширине сечения элемента. Усталостное разрушение происходит с

малым количеством деформаций, за счет накопления повреждений от сдвига и отрыва волокон на микроуровне.

Основные предпосылки для выполнения усталостного расчета

Расчетные методики должны учитывать наличие структурных неоднородностей и последствий силового повреждения материала древесины. Расчетное описание явления усталости древесины возможно через деформативность рассматриваемой конструкции. Эксплуатационная надежность обусловлена вязким характером работы древесины конструкций, что не позволяет возникшим усталостным трещинам распространяться. В общем виде основные требования, которые должны выполняться в рамках вопроса усталости деревянных конструкций можно сформулировать так:

1. Основные допущения не должны противоречить действительности;
2. Каждый экспериментальный результат должен быть объяснен с точки зрения теории;
3. Количество параметров, которые описывают явление усталости конструкции, должно быть минимальным.

В расчетах по предельным состояниям учет сложного характера деформативности клеедеревянных конструкций производится при помощи коэффициентов, которые позволяют учесть снижение прочности и увеличение деформативности элемента с применением древесины, но при этом предоставляют возможность характеризовать его параметры в качестве несущей конструкции на протяжении всего периода эксплуатации.

Рассмотрим реализацию данных требований на примере расчета трехслойных ограждающих панелей. Клеефанерная панель покрытия представляет собой каркас из деревянных ребер, склеенных по широкой стороне с верхней и нижней фанерной обшивками. Цельнодеревянные или дощатоклееные ребра придают панели необходимые прочность и жесткость,

а требуемые изоляционные параметры достигаются путем устройства в ячейкам, которые формируются при пересечении продольных и поперечных ребер слоев утеплителя и пароизоляции. Общие данные типовых конструкций покрытия представлены в таблице 1.

Таблица 1

Общие данные клеефанерных плит покрытия

№	Параметр	Ед.изм.	Значение/характеристика
1	Ширина панели	м	1,2; 1,5
2	Длина панели	м	3 - 6
3	Ребра каркаса	-	Древесина хвойных пород, сосна 2-го сорта
4	Обшивки панели	-	Водостойкая фанера толщиной 8-12 мм
5	Клей для соединения ребер с фанерными обшивками	-	Водостойкий синтетический ФРФ-50К

При расчете клеефанерных панелей покрытия по предельным состоянием 2-й группы используется формула:

$$f = (5/384) \times (q^n \times L_p^4 / 0,7 \times E_{np} \times I_\phi) \leq [f]$$

где q^n – нормативное значение нагрузки на панель покрытия;

L_p – расчетный пролет панели;

E_{np} – приведенный модуль упругости;

I_ϕ – момент инерции сечения панели;

0,7 – коэффициент, который учитывает приращение прогибов панели с течением времени.

Анализируя условие, которое необходимо проверить, видно, что все обозначенные выше критерии выполняются:

1. расчет жесткости панели выполняется по традиционной расчетной схеме шарнирно-опертого стержневого элемента, загруженного равномерно-распределенной нагрузкой;
2. в процессе работы панели под длительно-действующими постоянными и временными нагрузками вызывает приращение прогибов в панели покрытия с течением времени;
3. учет увеличения деформативности конструкции выполнен за счет введения в формулу коэффициента 0,7 к жесткости панели.

Выводы

1. Выполнено описание параметров усталости, которые характерны для элементов деревянных конструкций, произведен анализ методики анализа надежности элементов деревянных конструкций при усталостном разрушении.
2. Установлено, как вид напряженного состояния, для клееных деревянных элементов низкое сопротивление усталости при поперечном изгибе.
3. Сформулированы общие критерии соответствия теории усталости древесины, которые необходимы для выполнения расчетов элементов деревянных конструкций.
4. Приведен пример расчета деформативности панели покрытия, где вводимый коэффициент уменьшает жесткость конструкции на 30%, для учета приращения прогибов с течением времени.
5. При этом пригодность к нормальной эксплуатации клефанерной панели расчетным образом обеспечена на протяжении всего периода эксплуатации конструкции.

Литература

1. Гапоев М.М. Оценка несущей способности соединений деревянных конструкций методами механики разрушения. Москва. Издательство МГСУ. 1994. 67 с.
2. Гапоев М.М. Исследование энергетических процессов в окрестности трещин нормального отрыва при разрушении древесины. Москва. Заводская лаборатория. 1995. №3. С. 25-28.
3. Рощина С.И. Прочность и деформативность клеёных армированных деревянных конструкций при длительном действии нагрузки. Москва. 2009. 38 с.
4. Клюкин А.А. Опыт исследований зарубежных инженеров по усилению деревянных конструкций композиционными материалами. Инженерный вестник Дона, 2022, №2. URL: ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_79__5_Kliukin.pdf_6d3900f221.pdf.
5. Потапова Т.В. К вопросу об усилении эксплуатируемых деревянных конструкций композитными материалами. Инженерный вестник Дона, 2022, №3. URL: ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_37__3_potapova.pdf_daef6958c4.pdf.
6. Линьков В.И. Напряженное состояние наклонных металлических стержней в деревянных элементах составного сечения. Инженерный вестник Дона, 2019, №1. URL: ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_125_Linkov.pdf_c01b22c851.pdf.
7. Арленинов Д.К. Арленинов П.Д. Переменный модуль упругости древесины. Вестник МГСУ. 2011. С. 150-152.
8. Арленинов Д.К., Беккер Д.А. Влияние уровня напряжений на ползучесть древесины при изгибе. Известия вузов. Лесной журнал. 2015. № 6. С. 128–137.

9. Тухфатуллин Б.А., Путеева Л.Е., Подшивалов И.И. Расчёт деревянной рамы с использованием конечного элемента смешанного метода. Информационно-вычислительные технологии и их приложения. Пенза. РИО ПГАУ. 2018. С. 109–113.
10. Леонова А.Н., Акритов Х.Э. Усиление деревянных конструкций композитными материалами. Наука. Техника. Технологии. 2020. №2. С. 329- 333.

References

1. Gapoev M.M. Ocenka nesushchej sposobnosti soedinenij derevyannykh konstrukcij metodami mekhaniki razrusheniya. [Evaluation of the bearing capacity of joints of wooden structures by methods of fracture mechanics]. 1994. 76 p.
 2. Gapoev M.M. Zavodskaya laboratoriya. 1995, №3. pp. 25-28.
 3. Roshhina S.I. Prochnost' i deformativnost' kleyonyh armirovannykh derevyannykh konstrukcij pri dlitel'nom dejstvii nagruzki. [Strength and deformability of glued reinforced wooden structures under prolonged load]. 2009. 38 p.
 4. Klukin A.A. Inzhenernyj vestnik Dona, 2022, № 2. URL: ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_79__5_Kliukin.pdf_6d3900f221.pdf.
 5. Potapova T.V. Inzhenernyj vestnik Dona, 2022, № 3. URL: ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_37__3_potapova.pdf_daef6958c4.pdf.
 6. Linkov V.I. Inzhenernyj vestnik Dona, 2019, № 1. URL: ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_125_Linkov.pdf_c01b22c851.pdf.
 7. Arleninov D.K., Arleninov P.D. Vestnik MGSU. 2011. pp. 150-152.
 8. Arleninov D.K., Bekker D.A. Izvestiya vuzov. Lesnoy zhurnal. 2015. № 6. pp. 128–137.
 9. Tuhfatullin B.A., Puteeva L.E., Podshivalov I.I. Informatsionno-vychislitel'nyye tekhnologii i ikh prilozheniya. 2018. pp. 109–113.
-



10. Leonova A.N., Akritov H.E. Nauka. Tekhnika. Tekhnologii. 2020. №2. pp. 329- 333.