

Влияние отрицательных температур на несущую способность деревянных конструкций с клееными стержнями

С.И. Миронова, И.А. Кудрявцев

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет

Аннотация: В работе описана модель поведения соединения деревянных конструкций с клееными стержнями при воздействии отрицательных температур. Приведены результаты по определению сопротивления древесины продавливанию клееного стержня армированных соединений деревянных конструкций при температурах - 30°C, - 70°C и +22°C. Выявлены характерные особенности разрушения арматурного стержня и соединения в целом.

Ключевые слова: древесина, клеенные стержни, экстремальные температурно-влажностные условия, прочность клеевого соединения на вдавливание металлических стержней.

Особенностью арктического российского региона, по сравнению с арктическими регионами других стран, является то, что в России на подобных территориях проживает гораздо больше людей (численность составляет 2,6 млн. человек) [1]. С учетом повышенных темпов развития строительной отрасли в районах Крайнего Севера, большое значение обретает вопрос исследований влияния экстремальных климатических условий на прочность и долговечность строительных конструкций. Кроме того, остаются не рассмотренными возможности использования новых конструкционных материалов, обладающих повышенными физико-механическими характеристиками [2], клеевых систем [3-5] а также особенностей функционирования металлических стержней [6, 7]. В данной работе, приведен анализ исследований по влиянию отрицательных температур на элементы клеевого соединения древесины и металла. Дана адаптивная методика на основе действующих нормативных документов для испытаний по определению сопротивления древесины продавливанию клееного стержня при отрицательных температурах.

Испытания проводились в лаборатории механических испытаний строительных конструкции СПбГАСУ – Центре механических испытаний

строительных конструкций (ЦМИСК). Процесс охлаждения образцов протекал в испытательной камере тепла холода влажности КТХВ-300 (способна обеспечить стабильной минусовой температурный режим в диапазоне от -150°C до $+350^{\circ}\text{C}$). Для испытаний на сжатие при дополнительном воздействии окружающей среды применялась электромеханическая испытательная машина Instron 5982 с использованием жидкого азота, которая обеспечивает нагрузку в диапазоне до 100кН с точностью измерений $\pm 0,5\%$. Процесс испытания на вдавливание металлических стержней контролировался программным обеспечением для испытаний материалов, разработанным специально для данной испытательной машины. Приложенная к каждому образцу нагрузка и деформации измерялись непосредственно системой нагружения установки. Для анализа и описания особенности работы рассматриваемого типа соединения при воздействии отрицательных температур возникла необходимость в адаптации существующего метода проведения испытаний, представленного в ГОСТ Р 58558-2019 и ГОСТ Р 56710-2015. Температура контролировалась встроенным в климатическую камеру датчиком. Образцы изготавливались из соснового клееного бруса. Соединение формировалось на эпоксидном клее ЭД-20 [8]. Первая партия образцов испытывалась при температуре -30°C , вторая при -70°C , третья $+22^{\circ}\text{C}$ (контрольные образцы). На рис. 1 представлен образец в испытательной температурной камере.

При проведении испытаний с достижением нагрузки $0,4 \cdot N_{max}$ начиналось разрушение древесины (был слышен звук растрескивания). В процессе разрушения, наблюдалось деформационное смятие арматурного стержня в верхней части отверстия (рис. 2).

На рис. 3 предоставлены графические зависимости при определении сопротивления древесины продавливанию вклеенного стержня.

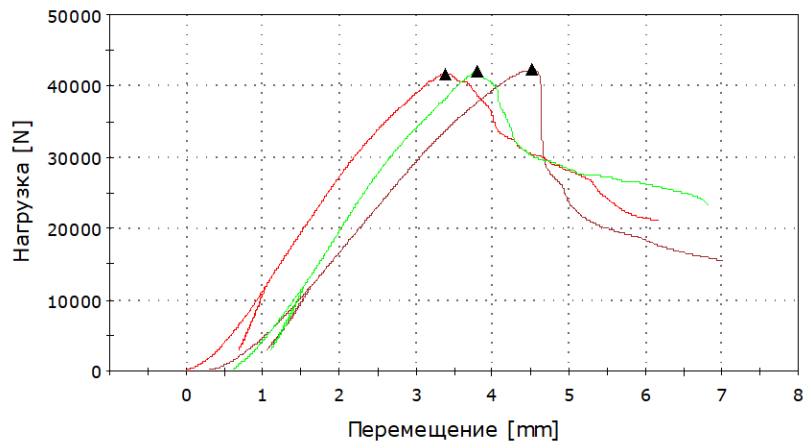


Рис. 1. Образец, установленный в испытательной температурной камере

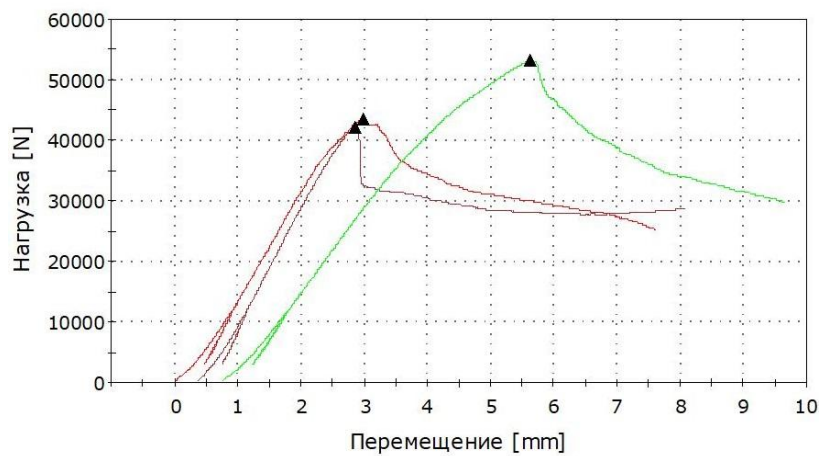


Рис. 2. Смятие арматурного стержня в верхней зоне отверстия – видимое изменение в образце после разрушения

а)



б)



в)

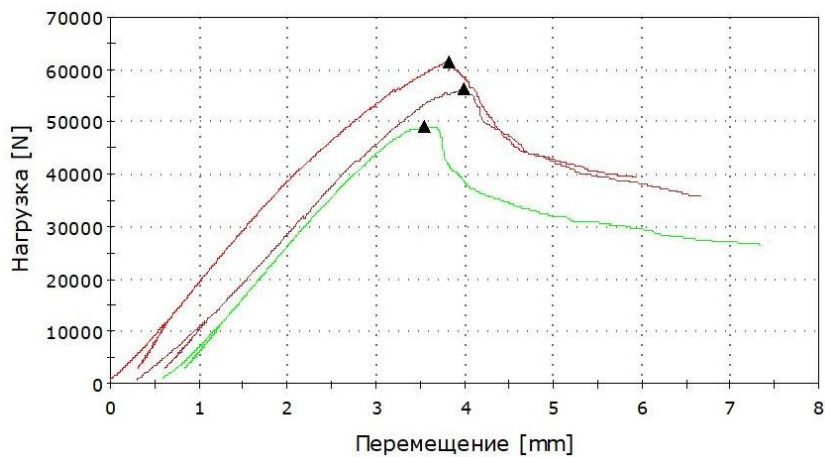


Рис. 3. Графики испытания образцов по определению сопротивления продавливанию вклеенного стержня древесины при температуре: а) $+22^{\circ}\text{C}$; б) -30°C ; в) -70°C

На основании полученных данных видно, что с уменьшением температуры, прочность соединений на вклеенных стержнях увеличивается. По сравнению со значениями, полученными при нормальных температурных условиях ($+22^{\circ}\text{C}$) прочность соединения при -30°C увеличилась на 9,1%, а при -70°C увеличилась на 24,5%. Подобный характер работы может быть вызван кристаллизацией влаги в лед в теле материалов и увеличением модуля упругости древесины и клеевого компонента [9, 10]. Возможно, столь резкое увеличение прочности в диапазоне от -30°C до -70°C вызвано характерной работой именно клеевой системы. При анализе распилов разрушенных образцов было выявлено, что при нормальных условиях разрушение материала происходило при исчерпании адгезионной прочности – на границе клей/древесина; при температуре -70°C происходило когезионное разрушение древесины (рис. 4).

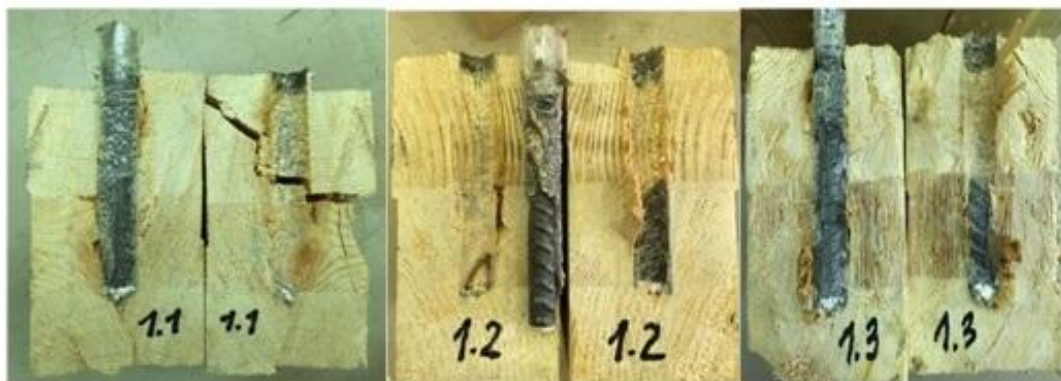
Согласно проведенным испытаниям, несущая способность соединения продавливанию возрастает с уменьшением температуры: на 9,1% при -30°C и на 34,5% при -70°C относительно начальных значений.

Визуальный анализ разрушенных образцов, при нормальных температурно-влажностных условиях показал, что разрушение происходило при исчерпании адгезионной прочности – на границе клей/древесина; при пониженных температурах – исчерпывалась прочность древесины (исчерпание когезионной прочности), что ярче заметно при испытаниях при -70°C .

По сравнению со значениями, полученными при нормальных температурных условиях ($+22^{\circ}$) прочность соединения при -30°C увеличилась на 9,1%, а при -70° увеличилась на 24,5%. Подобный характер 30°C до -70°C

вызвано характерной работой именно клеевой системы. При анализе распилов разрушенных образцов было выявлено, что при нормальных условиях разрушение материала происходило при исчерпании работы может быть вызван, кристаллизацией влаги в лед в теле.

а)



б)



в)



Рис. 4. Характер разрушения соединения при температуре: а) +22°C; б) -30°C; в) -70°

материалов и увеличением модуля упругости древесины и клеевого компонента. Возможно, столь резкое увеличение прочности в диапазоне от адгезионной прочности – на границе клей/древесина; при температуре -70°C происходило когезионное разрушение древесины.

Литература

1. Самарина, В. П. Изменение численности населения российских северных регионов: причины и последствия. АРКТИКА: инновационные технологии, кадры, туризм: Материалы международной научно-практической конференции, Воронеж, 19–21 ноября 2018 года / под общ. ред. В. И. Прядкина. – Воронеж: Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова, 2018. – С. 156-160. – EDN ZBTKIN.
2. Мамедов, Ш. М., Нижегородцев Д. В., Симахин А. Ю. Представление феноменологической модели поведения конструкций из LVL в условиях низких отрицательных температур //Актуальные научные исследования в современном мире. 2020. № 6-1(62). С. 224-233.
3. Коваль П. С., Черных А. Г., Данилов Е. В., Клёван В.И., Белов В.В. О работе составных двутавровых балок со стенкой из профилированного стального листа и поясами из однонаправленного клееного шпона / Вестник гражданских инженеров. 2022. № 6(95). С. 5-9.
4. Турковский С. Б., Погорельцев А. А., Преображенская И. П. Клееные деревянные конструкции с узлами на вклеенных стержнях в современном строительстве (система ЦНИИСК). Москва: риф стр, 2013. 308 с.
5. Винокуров, А. А., Докторов, И. А., Лавров, М. Ф. Влияние отрицательной температуры и влаги на прочность цельной и клееной древесины. Вестник Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова. 2006. №3 (3). 71-77.

6. Filiatrault A. and Holleran M. Stress-strain behavior of reinforcing steel and concrete under seismic strain rates and low temperature. *Materials and Structures/Materiaux et Construction*, vol. 34, no. 4, 2001, – pp. 235-239.
7. Yan J. B., Xie J. Experimental studies on mechanical properties of steel reinforcement under cryogenic temperatures. *Construction and Building Materials*, vol. 151, – Oct. 2017. Pp 661-672,
8. Варламов, А. А. Гаврилов В. Б., Морозов М. С. Перспективы развития клеевых соединений // *Актуальные проблемы современной науки, техники и образования*. – 2021. – Т. 12, № 2. – С. 3-7.
9. Буслаев Ю.Н. Исследование влияние отрицательных температур и влажности на долговечность клеевых элементов деревянных конструкций (на примере Центральной Якутии): Дис..канд. техн. Наук. Л.: ЛИСИ, 1982. 225с
10. Крестьянинова, В. Ф. Особенности работы соединений деревянных конструкций на вклеенных стержнях в условиях отрицательных температур. *Тенденции развития науки и образования*. – 2021. – № 72-2. – С. 147-151.

References

1. Samarina, V. P. АРКТИКА: innovacionny`e texnologii, kadry`, turizm: Materialy` mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii, Voronezh, 19–21 noyabrya 2018 goda pod obshh. red. V. I. Pryadkina. Voronezh: Voronezhskij gosudarstvenny`j lesotexnicheskij universitet im. G.F. Morozova, 2018. pp. 156-160.
2. Mamedov, Sh. M., Nizhegorodcev D. V., Simaxin A. Yu. Aktual`ny`e nauchny`e issledovaniya v sovremennom mire. 2020. № 6-1(62). pp. 224-233.
3. Koval` P. S., Cherny`x A. G., Danilov E. V., Klyovan V.I., Belov V.V. *Vestnik grazhdanskix inzhenerov*. 2022. № 6(95). pp. 5-9.
4. Turkovskij S. B., Pogorel`cev A. A., Preobrazhenskaya I. P. Kleeny`e derevyanny`e konstrukcii s uzlami na vkleenny`x sterzhnyax v sovremennom



- stroitel'stve (sistema CzNIISK). [Glued wooden structures with knots on glued rods in modern construction (TsNIISK system)] Moskva: rif str, 2013. 308 p.
5. Vinokurov, A. A., Doktorov, I. A., Lavrov, M. F. Vestnik Severo-Vostochnogo federal'nogo universiteta im. M.K. Ammosova. 2006. №3 (3). 71-77.
 6. Filiatrault A. and Holleran M. Materials and Structures/ Materiaux et Construction, vol. 34, no. 4, 2001, pp. 235-239.
 7. Yan J. B., Xie J. Construction and Building Materials, vol. 151, Oct. 2017. Pp 661-672.
 8. Varlamov, A. A. Gavrilov V. B., Morozov M. S. Aktual'ny'e problemy' sovremennoj nauki, texniki i obrazovaniya. 2021. T. 12, № 2. pp. 3-7.
 9. Buslaev Yu.N. Issledovanie vliyaniya otricatel'ny'x temperatur i vlazhnosti na dolgovечnost' kleeny'x e'lementov derevyanny'x konstrukcij (na primere Central'noj Yakutii)[Study of the influence of negative temperatures and humidity on the durability of glued elements of wooden structures (on the example of Central Yakutia)]: Dis..kand. texn. Nauk. L.: LISI, 1982. 225p.
 10. Krest'yaninova, V. F. Tendencii razvitiya nauki i obrazovaniya. 2021. № 72-2. pp. 147-151.