

УДК 539.3

DOI: 10.32326/1814-9146-2022-84-3-420-431

## ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ДРЕВЕСИНЫ ПРИ ОДНООСНОМ СЖАТИИ\*

© 2022 г.

Южина Т.Н.

*Научно-исследовательский институт механики  
Национального исследовательского Нижегородского государственного  
университета им. Н.И. Лобачевского, Нижний Новгород, Российская Федерация*

yuzhina\_tatiana@mech.unn.ru

*Поступила в редакцию 07.06.2022*

Представлены результаты экспериментального исследования динамического деформирования и разрушения образцов из сосны при сжатии в условиях одноосного напряженного состояния. Эксперименты проводились с использованием классического варианта метода Кольского. Проведены динамические испытания образцов сосны, вырезанных в трех направлениях относительно волокон: вдоль, поперек и под углом  $45^\circ$ . Для каждой ориентации образца реализовано не менее трех режимов по интенсивности нагружения (скорости деформации). В рамках каждого режима проведено не менее пяти повторных испытаний с осреднением полученных данных и определением характеристик разброса. В результате проведенного экспериментального исследования для каждого испытанного образца получены временные зависимости деформации, напряжения, скорости деформации, построены диаграммы деформирования. Анализ полученных данных позволил определить скоростные зависимости предельных деформаций, предельных напряжений, а также времени начала разрушения (времени жизни). Для каждого направления вырезки образцов получены зависимости коэффициента динамического упрочнения от скорости деформации. Показано, что скорость деформации существенно влияет на прочностные и деформационные характеристики сосны. Выявлена тенденция к возрастанию предельных величин деформаций и напряжений с ростом скорости деформации, время начала разрушения при этом уменьшается. Также существенным оказалось влияние направления нагружения образца относительно ориентации волокна. Наиболее прочным является направление вдоль волокна. Коэффициент динамического упрочнения для исследуемых направлений на правой границе реализованного скоростного диапазона составил величину 3. Представленные данные могут быть использованы в задачах оценки динамической прочности элементов конструкций, выполненных из сосны.

*Ключевые слова:* динамическая прочность, напряжение, деформация, скорость деформации, древесина, сосна, динамические испытания, метод Кольского, эксперимент.

---

\*Выполнено при финансовой поддержке РФФИ (грант №22-19-00138).

## Введение

В последние годы возросло количество перевозок отходов ядерной энергетики, компонентов ядерных вооружений, широкого круга токсичных веществ и т.д. Возросли требования к безопасности при их транспортировке. Большое значение имеют расчеты напряженно-деформированного состояния (НДС) и прочности контейнеров, в которых транспортируются вышеперечисленные материалы. Особую актуальность приобретают проблемы анализа возможных аварийных ситуаций. Подобные ситуации, сопровождающиеся интенсивными динамическими воздействиями, возможны при транспортировке, падении контейнеров, террористических актах, техногенных и природных катастрофах.

Древесина разных пород деревьев используется в качестве одного из демпфирующих материалов [1]. Она способна смягчить высокоскоростные ударные воздействия, например, на контейнеры и их содержимое при перевозке авиационным транспортом.

Древесина по своей структуре является сложным природным композитным клеточным материалом, похожим на сотовые структуры, металлические кольцевые системы, полимерные пены и т.п. Подобные материалы, благодаря своей структуре, обладают хорошей способностью поглощать энергию удара или взрыва [2, 3].

Для исследований динамических свойств древесины при высоких скоростях деформации зачастую применяется метод Кольского с использованием разрезных стержней Гопкинсона [4–7]. В публикациях [2, 8, 9] проведены исследования поведения хвойных и лиственных пород древесины (ель, сосна, дуб, бук, береза) при интенсивных динамических воздействиях при взрывном нагружении деревянных балок и плит. В последние годы внимание ученых сосредоточено на исследовании влияния на механические свойства древесины: плотности, влажности, структуры, угла вырезки и вида НДС. В [10–16] для ряда пород древесины были получены такие важнейшие характеристики, как динамические диаграммы деформирования, предельные прочностные и деформационные характеристики, энергия разрушения, и построены зависимости этих характеристик от скорости деформации.

В исследованиях [17, 18] применялся метод прямого удара, в котором для измерения усилий использовался мерный стержень Гопкинсона. Удар наносился по образцу, размещенному на торце мерного стержня, либо деревянный образец вместе со снарядом ударял по торцу мерного стержня. Испытания проводились как в условиях одноосной деформации, так и в условиях одноосного напряженного состояния. Оказалось, что разрушающие динамические напряжения в несколько раз превышают статические значения и их величина растет с ростом скорости удара. Рост разрушающего напряжения при динамическом воздействии, основываясь на [1], можно объяснить влиянием инерционных эффектов на механические свойства на микроуровне. В статьях [19, 20] исследуются динамические свойства пробкового дерева при номинальной скорости деформации порядка  $3000 \text{ с}^{-1}$  во всем диапазоне плотности от 55 до  $380 \text{ кг/м}^3$ .

Разработка полимерных биокompозитов с использованием в качестве армирующих компонентов натуральных волокон или древесных частиц привлекает все большее внимание, поскольку синтетические волокна дороги, не поддаются биоразложению, а их производство энергозатратно с сопутствующим негативным воздействием на окружающую среду [21]. Древесно-пластиковые композиты (ДПК), также называемые биокompозитами, представляют собой композиты с полимерной матри-

цей, содержащей древесные волокна в качестве органических армирующих компонентов. Полимерная матрица может быть термопластичной, такой как полипропилен, полиэтилен или терморезистивная (эпоксидная) смола. В процессе производства могут быть введены химические добавки для улучшения связи между компонентами ДПК. Армирующий органический компонент улучшает механические и термомеханические свойства полимерных матриц, причем эти свойства, и в первую очередь прочностные свойства, можно регулировать в зависимости от вида натурального армирования (частицы, волокна) и объемной доли армирующих компонентов [22–26]. Широко известны биоконпозиты, произведенные с использованием различных армирующих материалов из натуральных волокон, таких как хлопок, джут, лен и др. В исследовании [27] микрочастицы древесины пальмы используются для армирования полиэтилена высокой плотности для разработки высокоэффективных биоконпозитов для изучения ударопрочности и способности поглощать энергию при баллистическом ударе.

Проектирование деревянных конструкций, способных противостоять вертикальным и боковым нагрузкам, вызванным ветровыми и сейсмическими воздействиями, хорошо зарекомендовало себя, однако еще не достигнут надлежащий уровень, проектирования противостояния потенциальным взрывным угрозам. Воздействие высокой скорости деформации на различные материалы и изделия, в которых возможно увеличение прочности, а в некоторых случаях и жесткости, обычно учитывается при проектировании с помощью коэффициента динамического упрочнения (КДУ), который определяется экспериментально путем сравнения динамических свойств со свойствами, полученными под действием статической нагрузки для конкретного режима разрушения отдельного элемента. В настоящее время приняты положения по проектированию и расчету железобетонных и стальных конструкций, подвергающихся ударной нагрузке [28–30], однако данные для проектирования деревянных конструкций пока ограничены.

Таким образом, исследование динамических свойств древесины различных пород является актуальной задачей прикладного характера.

## 1. Метод экспериментального исследования

Исследования динамического деформирования и разрушения образцов сосны проводилось с использованием классического варианта метода Кольского на сжатие в условиях одноосного напряженного состояния [31]. Схема метода показана на рис. 1. Цифрами обозначены: 1 – ударник; 2 – нагружающий мерный стержень; 3, 6 – тензодатчики; 4 – образец; 5 – опорный мерный стержень.

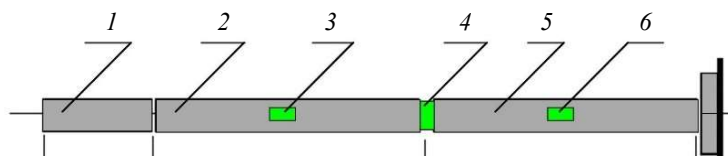


Рис. 1. Схема метода Кольского при сжатии

Варьирование режима нагружения осуществляется изменением скорости ударника. Временные зависимости деформации образца, скорости деформации образца и напряжения в образце рассчитываются на основе зарегистрированных тензодатчиками импульсов упругих деформаций в мерных стержнях по формулам Кольского.

Для анализа влияния направления волокон на свойства сосны образцы изготавливались таким образом, чтобы направление волокна составляло с направлением нагружения углы 0, 90 и 45° (рис. 2).

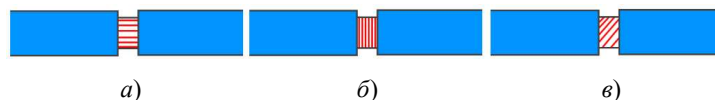


Рис. 2. Образцы для анализа влияния направления волокон: а) – нагружение вдоль волокон, б) – нагружение поперек волокон, в) – нагружение под углом 45°

## 2. Образцы для испытаний

Для изготовления образцов сосны из заготовок массива (как правило, в виде балоков) с помощью распиловочного станка с диском диаметром 350 мм нарезались пластины нужной толщины, из которых с помощью настольно-сверлильного станка НС-12М и коронок по дереву высверливались образцы необходимого диаметра. После этого рабочие поверхности образцов шлифовались с помощью наждачной бумаги с малой зернистостью. Далее производились замеры диаметра и длины каждого образца, измерялась масса для определения плотности и производились замеры влажности двумя контрольными измерителями (игольчатым ИВ 1-1 и поверхностным ВИМС-2 влагомерами). По окончании подготовительных работ образцы нумеровались и упаковывались в полиэтиленовые пакеты с замком.

## 3. Результаты экспериментального исследования

Высокоскоростные испытания образцов сосны на одномерное сжатие производились в трех направлениях относительно расположения волокон: вдоль, поперек и под углом в 45°. Эксперименты проводились на установке РСГ-20-1 с мерными стержнями диаметром 20 мм на образцах диаметром 18 мм и длиной 10 мм, имеющих нормальную влажность. При испытании образцов с направлением вырезки вдоль волокон применялись мерные стержни и ударник из дюралюминиевого сплава Д16Т: нагружающий длиной 1,0 м, опорный длиной 2,9 м. При испытаниях образцов поперек волокон и под углом в 45° использовался нагружающий дюралюминиевый стержень Д16Т длиной 1,0 м, а в качестве опорного стержня для увеличения амплитуды регистрируемого сигнала использовалась дюралюминиевая трубка Д16Т длиной 1,7 м. Длина ударника из сплава Д16Т во всех экспериментах составляла 250 мм. Режимы нагружения подбирались в соответствии с постепенным ростом скорости деформации.

**3.1. Результаты динамических испытаний образцов сосны с направлением вдоль волокон.** Цикл динамических испытаний сосны с направлением вырезки образцов вдоль волокон состоял из четырех скоростных режимов. Для оценки разброса в каждой группе проводилось не менее 5 повторных испытаний в одинаковых условиях.

Зарегистрированные в мерных стержнях импульсы деформации синхронизировались во времени. С использованием формул метода Кольского для каждого эксперимента строились зависимости напряжения, деформации и скорости деформации от времени. Полученные зависимости синхронизировались во времени для каждого скоростного режима. После исключения параметра времени строилась диа-

грамма динамического деформирования  $\sigma(\varepsilon)$  с отображением по дополнительной вертикальной оси истории изменений скорости деформации для каждого эксперимента. Далее для однотипных режимов нагружения строились осредненные диаграммы зависимости напряжений от деформаций  $\sigma(\varepsilon)$  и скорости деформаций от деформаций, а также зависимости напряжений от времени  $\sigma(t)$  и скорости деформаций от времени.

В режиме 1 средние максимальные напряжения достигли 47 МПа при средних скоростях деформации порядка  $450 \text{ с}^{-1}$ . Следует отметить, что в этом режиме образцы сохранили свою целостность, о чем свидетельствует характер диаграммы, а также визуальный осмотр образцов. При остальных экспериментальных режимах практически все образцы подверглись разрушению. В режиме 2 средние максимальные напряжения достигли 100 МПа при средних скоростях деформации порядка  $1100 \text{ с}^{-1}$ . В режиме 3 средние максимальные напряжения достигли 97 МПа при средних скоростях деформации порядка  $1800 \text{ с}^{-1}$ . В режиме 4 средние максимальные напряжения достигли 84 МПа при средних скоростях деформации порядка  $2250 \text{ с}^{-1}$ . Можно отметить, что в зависимости от скорости удара изменяются значения пределов прочности и величина деформации с тенденцией небольшого роста. Анализ полученных диаграмм режимов 2–4 показал, что начальные участки имеют вид, близкий к линейному, спадающие ветви диаграмм деформирования и осмотр образцов после проведенных экспериментов свидетельствуют о том, что образцы в процессе испытания разрушились.

На рис. 3 приведены осредненные диаграммы деформирования с хронологией изменения скорости деформации для четырех скоростных режимов с доверительными интервалами.

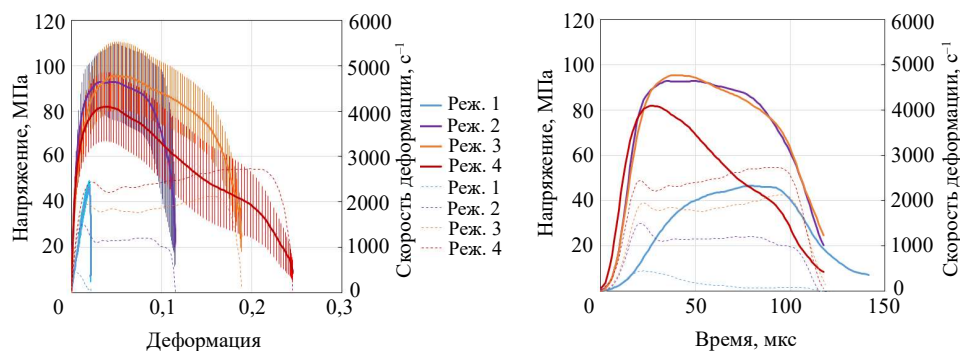


Рис. 3. Осредненные диаграммы динамического деформирования при сжатии сосны вдоль волокон

Для полученных диаграмм отдельных экспериментов выделены характерные точки с максимально достигнутыми напряжениями, для которых определены значения предельных деформаций и время до начала разрушения. Скорости деформаций были приняты максимальными до начала разрушения образцов, поскольку они меняются в процессе их деформирования. Результаты представлены на рис. 4 в виде зависимостей от скорости деформации (зелеными точками отмечены неразрушенные образцы). Испытания на динамическое сжатие проводились с целью определения влияния изменения скорости деформации на диаграмму деформирования и прочностные характеристики.

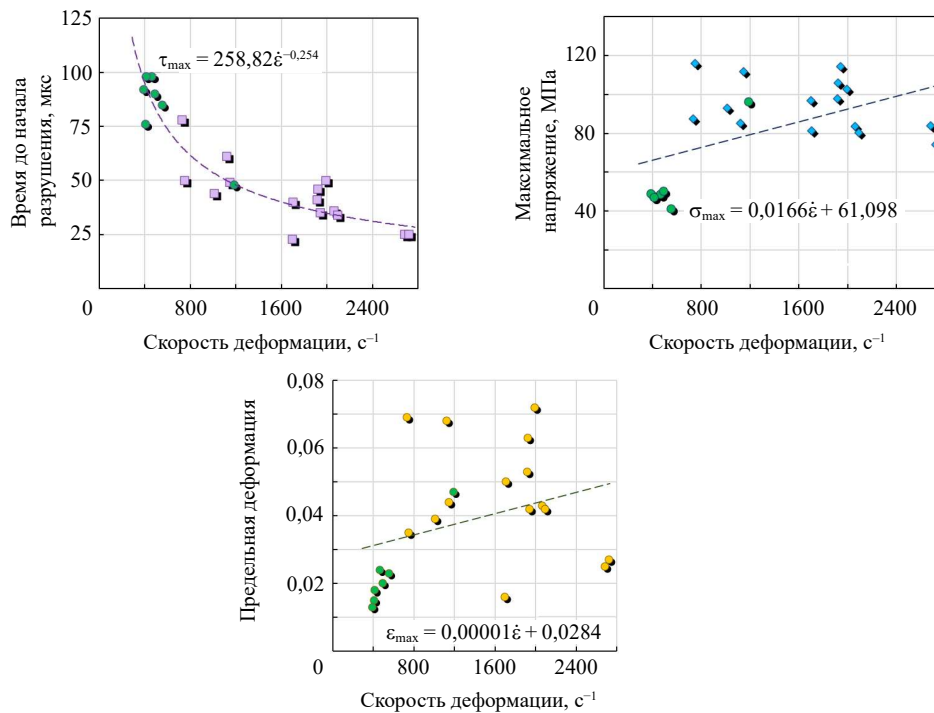


Рис. 4. Влияние скорости деформации на динамические свойства сосны при сжатии вдоль волокон

Полученные зависимости демонстрируют то, что с ростом скорости деформации наблюдается тенденция небольшого роста максимальных напряжений, также растут и соответствующие им предельные деформации по линейному закону, а время до начала разрушения ( $\tau_{\max}$ ) уменьшается по степенному закону.

Динамическую прочность материала характеризует КДУ, определяемый как отношение максимального динамического напряжения к статической прочности сосны при сжатии (41,2 МПа). Зависимость КДУ от скорости деформации приведена на рис. 5. Показатель КДУ в полученном диапазоне скоростей деформации изменяется от 1 до 2,8.

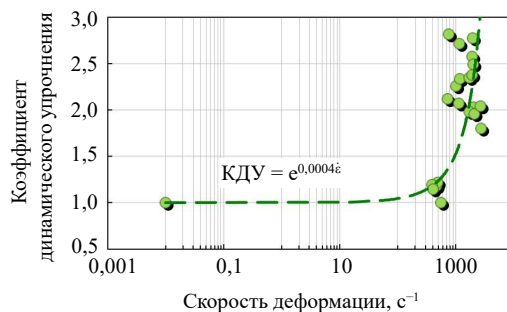


Рис. 5. Зависимость КДУ от скорости деформации

**3.2. Результаты динамических испытаний образцов сосны с направлением поперек волокон.** Цикл динамических испытаний сосны с направлением вырезки образцов поперек волокон состоял из трех скоростных режимов по 5 повторных испытаний на режим. В режиме 1 средняя динамическая прочность на сжатие со-

ставила порядка 5 МПа при средних скоростях деформации около  $1200 \text{ с}^{-1}$ . В режиме 2 средняя динамическая прочность на сжатие составила порядка 6 МПа при средних скоростях деформации около  $1700 \text{ с}^{-1}$ . В режиме 3 средняя динамическая прочность достигла также порядка 6 МПа при средних скоростях деформации порядка  $2100 \text{ с}^{-1}$ . На рис. 6 приведены осредненные диаграммы деформирования с хронологией изменения скорости деформации для трех скоростных режимов с доверительными интервалами.

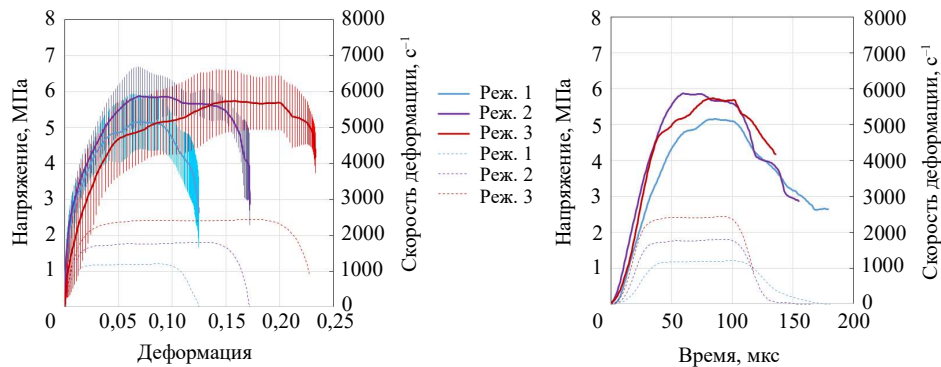


Рис. 6. Осредненные диаграммы при сжатии для всех скоростных режимов

На вышеуказанных диаграммах в осях напряжение–деформация на начальном участке нагружения рост напряжения и деформаций происходит по закону, близкому к линейному, а при дальнейшей деформации при достижении предельных значений напряжений сосна интенсивно разрушается, что сопровождается снижением напряжений и ростом деформаций. Испытания на динамическое сжатие проводились с целью определения влияния изменения скорости деформации на диаграмму деформирования и прочностные характеристики сосны (рис. 7).

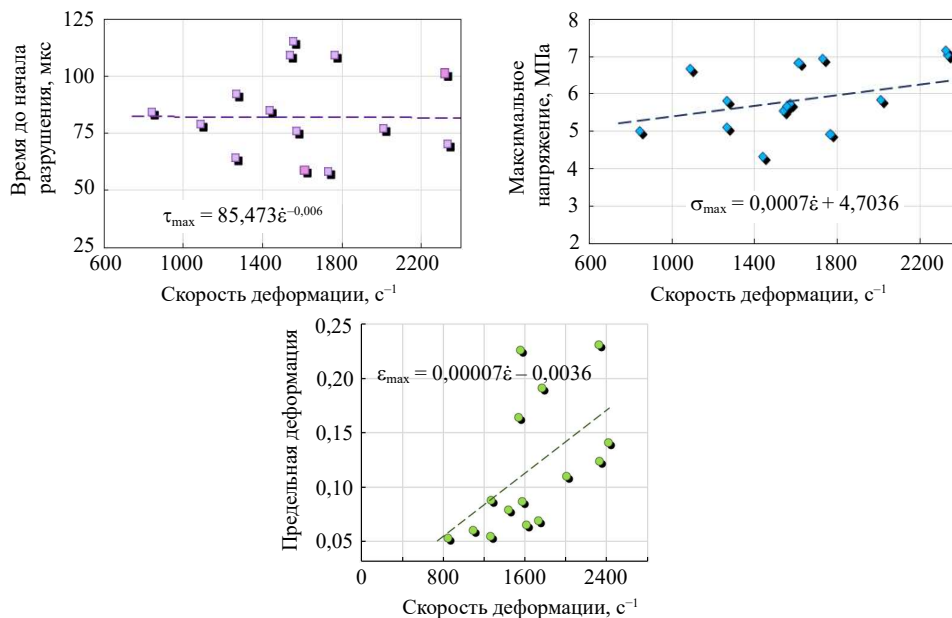


Рис. 7. Влияние скорости деформации на механические свойства сосны с направлением поперек волокон при динамическом сжатии

Полученные зависимости демонстрируют, что с ростом скорости деформации по линейному закону наблюдается тенденция незначительного роста максимальных напряжений, а соответствующие им предельные деформации имеют существенный рост; время до начала разрушения незначительно снижается. Зависимость КДУ от скорости деформации приведена на рис. 8.

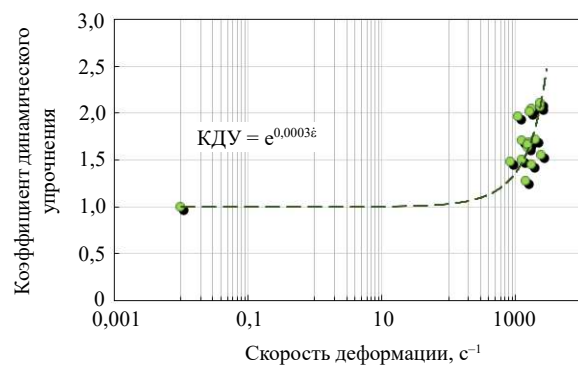


Рис. 8. Зависимость КДУ от скорости деформации

Показатель КДУ в полученном диапазоне скоростей деформации изменяется от 1,3 до 2,1.

**3.3. Результаты динамических испытаний образцов сосны с направлением волокон под углом 45°.** Цикл динамических испытаний сосны с направлением вырезки образцов под углом 45° относительно волокон состоял из трех скоростных режимов по 5 повторных испытаний на режим. В режиме 1 средняя динамическая прочность на сжатие составила порядка 11 МПа при средних скоростях деформации около 1000 с<sup>-1</sup>. В режиме 2 средняя динамическая прочность на сжатие составила порядка 9 МПа при средних скоростях деформации около 1500 с<sup>-1</sup>. В режиме 3 средняя динамическая прочность достигла величины порядка 18 МПа при средних скоростях деформации порядка 1800 с<sup>-1</sup>.

На рис. 9 приведены осредненные диаграммы деформирования с хронологией изменения скорости деформации для трех скоростных режимов с доверительными интервалами.

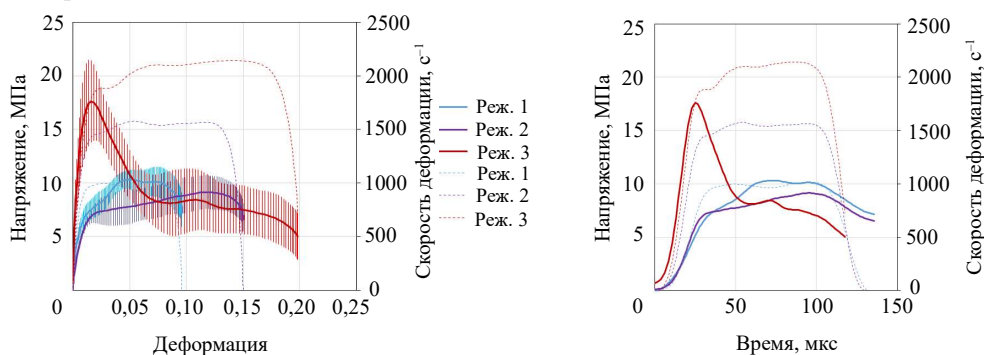


Рис. 9. Осредненные диаграммы при сжатии для всех скоростных режимов

На вышеуказанных диаграммах в осях напряжение–деформация на начальном участке нагружения рост напряжения и деформаций происходит по закону, близкому к линейному, а при дальнейшей деформации при достижении предельных значений



напряжений сосна интенсивно разрушается, что сопровождается снижением напряжений и ростом деформаций. Влияние изменения скорости деформации на диаграмму деформирования и прочностные характеристики сосны приведены на рис. 10. Полученные зависимости демонстрируют, что с ростом скорости деформации по линейному закону наблюдается тенденция роста максимальных напряжений, а соответствующие им предельные деформации снижаются; время до начала разрушения также уменьшается по степенному закону.

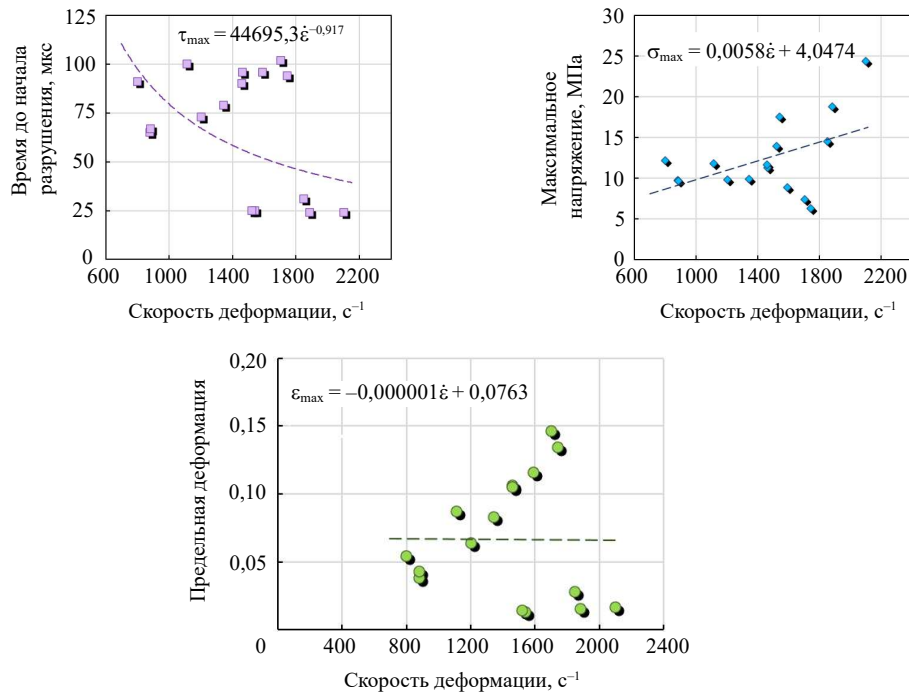


Рис. 10. Влияние скорости деформации на механические свойства сосны с направлением волокон под углом 45° при динамическом сжатии

Зависимость КДУ от скорости деформации приведена на рис. 11. Показатель КДУ в полученном диапазоне скоростей деформации изменяется от 1 до 3,5.

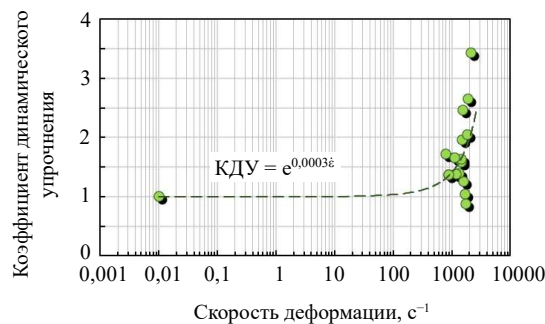


Рис. 11. Зависимость КДУ от скорости деформации

## Заклучение

Представлены результаты динамических испытаний сосны при одноосном сжатии относительно трех направлений волокон. Результаты выполненных исследований показали, что скорость деформации существенно влияет на предельное напряжение разрушения сосны: коэффициент динамического упрочнения при скорости деформации порядка  $2500 \text{ с}^{-1}$  составляет величину порядка 3. Это означает, что прочность сосны при такой скорости деформаций в 3 раза превышает статическую величину. Напряжение разрушения при нагружении в направлении волокна в динамическом диапазоне скоростей деформаций составляет порядка 100 МПа, поперек волокна – порядка 6 МПа, под углом  $45^\circ$  – порядка 10 МПа. Разрушение образцов при нагружении вдоль волокна происходит при деформациях порядка 5%, что в два раза меньше, чем для двух других исследованных направлений. Время жизни образцов уменьшается с ростом интенсивности нагружения. Приведенные данные могут быть использованы в задачах оценки прочности динамически нагруженных конструкций, имеющих элементы, выполненные из сосны.

## References

1. Gibson L.J., Ashby M.F. *Cellular Solids: Structure and Properties*. Cambridge. Cambridge University Press. 1997. 510 p.
2. Buchar J., Severa L., Havlicek M., Rolc S. Response of wood to the explosive loading. *Journal de Physique IV (Proceedings)*. 2000. No 10. Pr9-529–Pr9-534. DOI: 10.1051/jp4:2000988.
3. Johnson W. Historical and present-day references concerning impact on wood. *International Journal of Impact Engineering*. 1986. Vol. 4. No 3. P. 161–174.
4. Reid S.R., Peng C. Dynamic uniaxial crushing of wood. *International Journal of Impact Engineering*. 1997. Vol. 19. Iss. 5–6. P. 531–570. DOI:10.1016/S0734-743X(97)00016-X.
5. Bol'shakov A.P., Balakshina M.A., Gerdyukov N.N. et al. Damping properties of sequoia, birch, pine, and aspen under shock loading. *Journal of Applied Mechanics and Technical Physics*. 2001. Vol. 42. Iss. 2. P. 202–210. DOI: 10.1023/A:1018859432046.
6. Šebek F., Kubik P., Brabec M., Tippner J. Modelling of impact behaviour of European beech subjected to split Hopkinson pressure bar test. *Composite Structures*. 2020. Vol. 245. Article No 112330. DOI: 10.1016/j.compstruct.2020.112330.
7. Gomesa F., Xavierb J., Koerber H. High strain rate compressive behaviour of wood on the transverse plane. *Procedia Structural Integrity*. 2019. Vol. 17. P. 900–905. DOI: 10.1016/J.PROSTR.2019.08.120.
8. Buchar J., Adamik V. Wood strength evaluation under impact loading. *39<sup>th</sup> International Conference on Experimental Stress Analysis*. Tabor, Czech Republic. 2001. Vol. 3. Iss. 6.
9. Buchar J., Krivanek I., Severa L. High rate behaviour of wood. In: *New Experimental Methods in Material Dynamics and Impact*. Vol. 3. *Trends in Mechanics of Materials*. Eds. W.K. Nowacki, J.R. Klepaczko. Warsaw. Institute of Fundamental Technological Research Publ. 2001. P. 357–362.
10. Widehammar S. Stress-strain relationships for spruce wood: Influence of strain rate, moisture content and loading direction. *Experimental Mechanics*. 2004. Vol. 44. Iss. 1. P. 44–48. DOI: 10.1007/BF02427975.
11. Allazadeh M.R., Wosu S.N. High strain rate compressive tests on wood. *Strain*. 2012. Vol. 48. Iss. 2. P. 101–107. DOI: 10.1111/j.1475-1305.2010.00802.x.
12. Zhao S., Zhao J.X., Han G.Z. Advances in the study of mechanical properties and constitutive law in the field of wood research. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*. Hangzhou, China, 20–23 May 2016. Vol. 137. Article No 012036. DOI: 10.1088/1757-899X/137/1/012036.
13. Gilbertson C.G. Dynamic properties of wood using the Split-Hopkinson pressure bar. *PHD Dissertation*. Michigan Technological University. 2011. <https://doi.org/10.37099/mtu.dc.etd-restricted/9>.

14. Riggio M., Sandak J., Sandak A., Babinski L. Analysis and prediction of selected mechanical/dynamic properties of wood after short and long-term waterlogging. *Construction and Building Materials*. 2014. Vol. 68. P. 444–454. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.06.085>.
15. Backman A.C., Lindberg K.A.H. Difference in wood material responses for radial and tangential direction as measured by dynamic mechanical thermal analysis. *Journal of Materials Science*. 2001. Vol. 36. Iss. 15. P. 3777–3783.
16. Wouts J., Haugou G., Oudjene M., Coutellier D., Morvan H. Strain rate effects on the compressive response of wood and energy absorption capabilities – Part A: Experimental investigations. *Composite Structures*. 2016. Vol. 149. P. 315–328. DOI:10.1016/j.compstruct.2016.03.058.
17. Reid S.R., Reddy T.Y., Peng C. Dynamic compression of cellular structures and materials. In: *Structural Crashworthiness and Failure*. Eds. N. Jones, T. Wierzbicki. London. New York. Taylor & Francis Publ. 1993. P. 257–294.
18. Harrigan J.J., Reid S.R., Tan P.J., Reddy Y. High rate crushing of wood along the grain. *International Journal of Mechanical Sciences*. 2005. Vol. 47. Iss. 4-5. P. 521–544. DOI: 10.1016/j.ijmecsci.2004.12.013.
19. Vural M., Ravichandran G. Dynamic response and energy dissipation characteristics of balsa wood: experiment and analysis. *International Journal of Solids and Structures*. 2003. Vol. 40. Iss. 9. P. 2147–2170. DOI: 10.1016/S0020-7683(03)00057-X.
20. Tagarielli V.L., Deshpande V.S., Fleck N.A. The high strain rate response of PVC foams and end-grain balsa wood. *Composites Part B: Engineering*. 2008. Vol. 39. Iss. 1. P. 83–91. DOI: 10.1016/j.compositesb.2007.02.005.
21. Salit M.S. Tropical natural fibre composites: properties, manufacture and applications. In: *Engineering Materials*. Singapore. Springer. 2014. P. 15–38.
22. Ratna Prasad A.V., Mohana Rao K. Mechanical properties of natural fibre reinforced polyester composites: jowar, sisal and bamboo. *Materials & Design*. 2011. Vol. 32. Iss. 8-9. P. 4658–4663. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2011.03.015>.
23. Dai D., Fan M. Wood fibres as reinforcements in natural fibre composites: Structure, properties, processing and applications. In: *Natural Fibre Composites: Materials, Processes and Properties*. Eds. A. Hodzic, R. Shank. Woodhead Publishing. 2014. Vol. 1. P. 3–65. DOI: 10.1533/9780857099228.1.3.
24. Nabi Saheb D., Jog J.P. Natural fiber polymer composites: A review. *Advances in Polymer Technology*. 1999. Vol. 18. Iss. 4. P. 351–363. DOI: 10.1002/(SICI)1098-2329(199924)18:4<351::AID-ADV6>3.0.CO;2-X.
25. Stokke D.D., Wu Q., Han G., Stevens C.V. *Introduction to Wood and Natural Fiber Composites*. Chichester, England. Wiley. 2013. 314 p.
26. La Mantia F.P., Morreale M. Green composites: a brief review. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*. 2011. Vol. 42. Iss. 6. P. 579–88. DOI: 10.1016/j.compositesa.2011.01.017.
27. Haro E.E., Szpunar J.A., Odeshi A.G. Dynamic and ballistic impact behavior of biocomposite armors made of HDPE reinforced with chonta palm wood (*Bactris gasipaes*) microparticles. *Defence Technology*. 2018. Vol. 14. P. 238–249. <https://doi.org/10.1016/j.dt.2018.03.005>.
28. *CSA S850. Design and Assessment of Buildings Subjected to Blast Loads*. Mississauga, Canada. CSA Group. 2012. 126 p.
29. Dusenberry D., Schmidt J., Hobelmann P. et al. *Blast Protection of Buildings. Standard ASCE/SEI 59-11*. Reston, Virginia. American Society of Civil Engineers. 2011. 128 p.
30. *Structures to Resist the Effects of Accidental Explosions (UFC 03-340-02)*. Washington, D.C. USA Department of Defense. 2008. 1867 p.
31. Bragov A.M., Lomunov A.K., Rusin E.E. Metodika issledovaniya dinamicheskikh svoystv materialov s ispolzovaniem sostavnykh sterzhney Gopkinsona [Technique for studying the dynamic properties of materials using Hopkinson composite rods]. *Prikladnye problemy prochnosti i plastichnosti [Applied Problems of Strength and Plasticity]*. 1980. Iss. 16. P. 138–144 (In Russian).

## INVESTIGATION OF DYNAMIC PROPERTIES OF WOOD UNDER UNIAXIAL COMPRESSION

**Yuzhina T.N.**

*Research Institute for Mechanics, National Research Lobachevsky State University  
of Nizhny Novgorod, Nizhny Novgorod, Russian Federation*

The paper presents the results of an experimental study of dynamic deformation and fracture of pine samples under compression under uniaxial stress conditions. The experiments were carried out using the classical version of the Kolsky method. Dynamic tests of pine samples cut in three directions relative to the fibers were carried out: along and across and at an angle of 45 degrees. At least three modes of loading intensity (strain rate) are implemented for each orientation of the sample. Within each mode, at least five repeated tests were carried out with the averaging of the data obtained and the determination of the scatter characteristics. As a result of the experimental study for each tested sample, time dependences of strain, stress, strain rate of the samples were obtained, deformation diagrams were constructed. The analysis of the data obtained made it possible to determine the strain rate dependences of the ultimate strains, ultimate stresses, as well as the time of the beginning of fracture (lifetime). For each direction of sample cutting, the dependences of the dynamic increase factor on the strain rate are obtained. It is shown that the strain rate significantly affects the strength and deformation characteristics of pine. A tendency to increase the ultimate values of strains and stresses with an increase in the strain rate is obtained. At the same time, the time of the beginning of fracture decreases. The influence of the loading direction of the sample relative to the orientation of the fiber was also significant. The most durable is the direction along the fiber. The dynamic increase factor for the studied directions on the right limit of the realized strain rate range was about 3. The data presented in the work can be used in the tasks of assessing the dynamic strength of structural elements made of pine.

*Keywords:* dynamic strength, stress, deformation, strain rate, wood, pine, dynamic tests, Kolsky method, experiment.