

dis. ...kand. sociol. nauk. – N.Novgorod, 2002. – 403s.

7. Bunik O.A. Arhitekturnye priemy modernizacii obshheobrazovatel'nyh shkol i ih sistemy v strukture krupnogo goroda: issledovaniya i rekomendacii na primere g. Jaroslavlja: dis. ... kand. arhitektury. – SPb., 2007. – 214 s.

8. Mironjuk A.V. Arhitekturno-planirovochnye metody rekonstrukcii i modernizacii sushhestvujushhego shkol'nogo fonda bol'shogo goroda: issledovaniya i rek-

omendacii na primere goroda Uhta: dis. ... kand. arhitektury. – SPb., 2005. – 142s.

9. Sin'kovich E.N., Alferova I.M. Puti sovershenstvovaniya shkol'nyh zdaniy // Stroitel'stvo i arhitektura. – 1978. – Vyp.14. – S.20-25.

10. Pozdnjakov A.L. Nekotorye voprosy rekonstrukcii kvartalov istoricheskogo goroda // Izvestiya Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Tehnika i tehnologii. – 2014. – №4. – S. 32-36.

УДК 624

В.А. Кабанов, канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск) (e-mail kva55@list.ru)

А.В. Масалов, канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск) (e-mail masalow.al@ya.ru)

ТРЕЩИНОСТОЙКОСТЬ ЭЛЕМЕНТОВ ДЕРЕВЯННЫХ КЛЕЁНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ ДЛИТЕЛЬНОМ НАГРУЖЕНИИ

В работе представлены методика и некоторые результаты диагностирования роста трещин при испытаниях большемерных и малых образцов из клеёной древесины на длительную трещиностойкость по первой и второй формам разрушения с использованием подходов механики разрушения.

Перспективно использование методов механики разрушения для расчётов деревянных конструкций, так как конструкции из цельной и клеёной древесины содержат большое количество различных природных и технологических неоднородностей. К таким концентраторам напряжений относятся сучки, наклон волокон, трещины различного происхождения, клеевые соединения по пласти и зубчатые стыковые соединения, подрезки, надрезы, отверстия, клеенные стержни.

В образцах из клеёной древесины были предварительно заданы трещины сдвига (вторая форма) и нормального отрыва (первая форма). Описан характер прорастания трещин. Испытания проводили на уровнях коэффициента интенсивности напряжений 0,6, 0,7, 0,8 от кратковременных разрушающих значений. Время нагружения образцов - до 540 суток при длительном статическом нагружении и до 2 миллионов циклов при циклическом нагружении. Испытания проводились в лабораторных и натурных условиях.

Приведены результаты испытаний на длительную трещиностойкость крупномерных (140x170x2800 мм) и малых (60x60x400 мм) образцов при статическом и циклическом нагружениях. Описаны особенности прорастания трещин в образцах при длительном нагружении.

Параметры механики разрушения более чувствительны к эксплуатационным воздействиям, чем стандартизованные показатели прочности. Возможно использование подходов механики разрушения к оценке несущей способности деревянных конструкций наряду с традиционным подходом на основании вычисления напряжений в конструкции.

Ключевые слова: клеёная древесина, трещиностойкость, длительное нагружение, механика разрушения.

Для древесины характерны различные виды природных неоднородностей строения – сучки, наклон волокон, трещины различного происхождения. Кроме

природных неоднородностей в деревянных конструкциях возможны неоднородности технологического происхождения - клеевые соединения по пласти и зубчатые

стыковые соединения, подрезки надрезы, отверстия, вклеенные стержни.

В действующих нормах для расчёта и проектирования деревянных конструкций такие неоднородности учитываются со значительными упрощающими допущениями. Более точный учёт влияния природных и технологических неоднородностей может повысить эффективность проектирования деревянных конструкций.

В работах [10, 12, 13] теоретически исследовано поле напряжений в элементах деревянных конструкций с позиций механики разрушения. В Российских стандартах методы испытаний, направленные на получение характеристик механики разрушения, разработаны и обоснованы только для металлов и бетонов [1, 2].

Использование методов механики разрушения для расчётов деревянных конструкций представляется весьма перспективным, поскольку конструкции из цельной и клеёной древесины содержат большое количество различных природных и технологических неоднородностей и других концентраторов напряжений.

В механике разрушения сталей и бетонов наиболее важна первая форма разрушения – нормальный отрыв, поэтому именно эта форма разрушения наиболее исследована. В слоистых композитах и в особенности клеёной древесине зачастую более важна вторая форма разрушения – сдвиг вдоль волокон или комбинация первой и второй форм [3, 4, 5, 9].

Были проведены многофакторные серийные испытания образцов из клеёной древесины при различных видах нагружений и воздействий [6-8, 11]. Предварительно проводили кратковременные испытания [11]. В этой работе приведены методика и результаты длительных испытаний.

Для изучения роста трещин под нагрузкой и исследования снижения несущей способности элементов с трещинами были использованы большеразмерные балки-образцы. Статическое нагружение длительностью до 540 суток и циклическое нагружение до 2 миллионов циклов проводили на балках размером сечения 140x170x2800 мм. Эти конструктивные элементы имели предварительно заданные искусственные трещины по первой и второй формам. Балки были изготовлены из сосновой древесины с толщиной досок 25-28 мм на клее ДФК-14Р. В процессе лабораторных испытаний фиксировали длину трещин, перемещения берегов трещин и прогибы. Большеразмерные образцы были установлены по два в рычажное устройство (рис. 1а).

Одну из балок испытывали в натуральных условиях атмосферного экспонирования под нагрузкой (рис. 1б). Величина коэффициента интенсивности напряжений K_{II} для этой балки составляла $700 \text{ кПа}\sqrt{\text{м}}$, что соответствовало $0,5K_{IIc}$. Величина K_{IIc} – критического коэффициента интенсивности напряжений для кратковременных испытаний была получена в предыдущих испытаниях [11].

Серийно также были испытаны малые балки-образцы из клеёной древесины с предварительно заданной центральной трещиной (рис. 1в.)

Уровни нагружения составляли 0,6, 0,7 и 0,8 от кратковременного критического коэффициента интенсивности напряжений. Малые образцы для длительных испытаний были установлены по три в рычажное устройство. Для измерения перемещений берегов трещин были установлены индикаторы часового типа. Влажность древесины составляла во время испытаний около 22%. На рисунке 2а

представлена фотография фрагмента большеразмерного образца под длительной статической нагрузкой с идентифицированными трещинами продольного сдвига при изгибе.

На рисунке 2б представлена фотография фрагмента большеразмерного образца под циклической нагрузкой. Испы-

тания проводили на пульсаторе инерционного типа с несколькими уровнями нагружения и асимметрии цикла. Образцы имели предварительно заданные трещины по первой и второй формам разрушения в конструкциях.

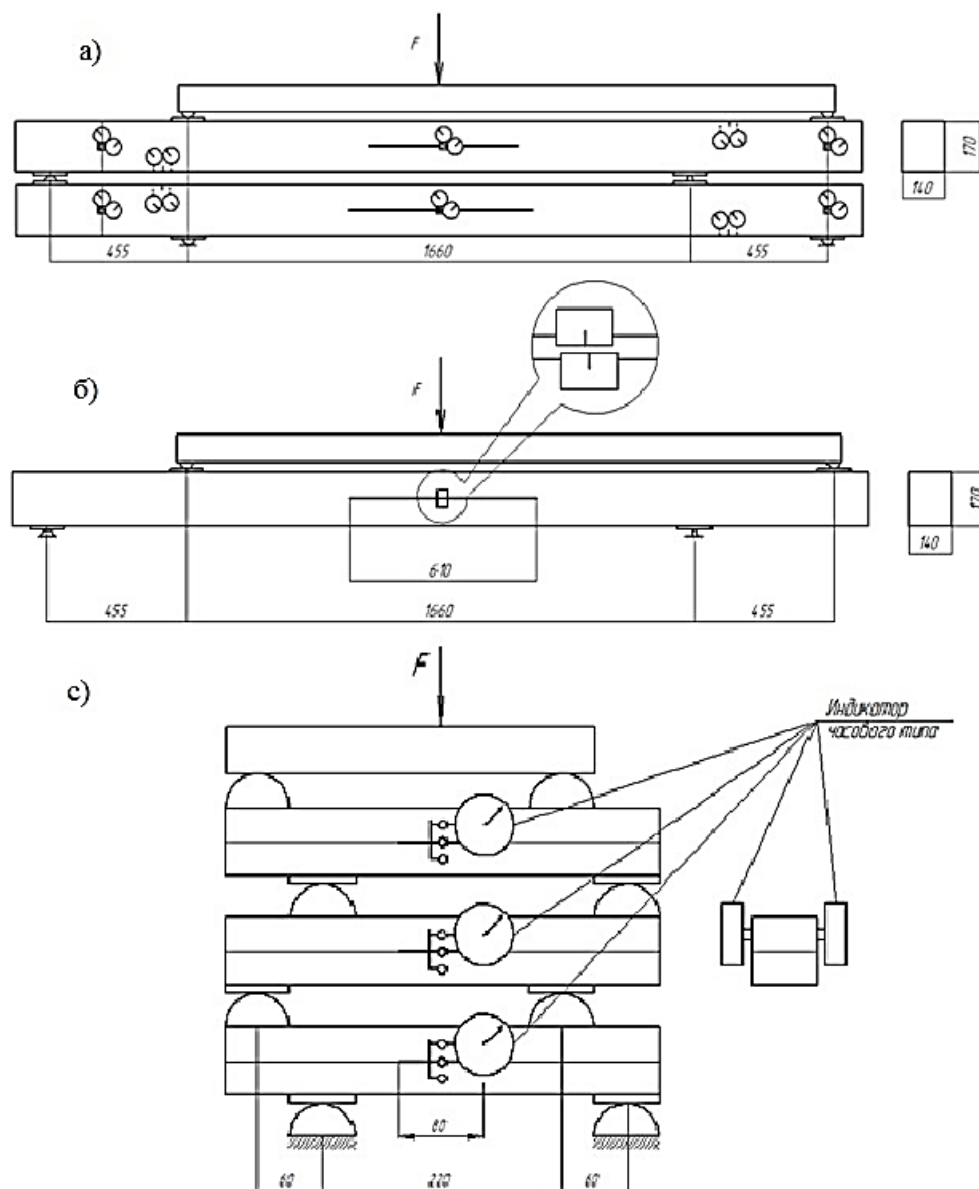


Рис. 1. а – Схема длительных лабораторных испытаний большеразмерных балок с центральной предварительно заданной трещиной. Показаны места установки индикаторов часового типа; б – Схема длительных атмосферных испытаний (без навеса) большеразмерной балки с центральной предварительно заданной трещиной; в – Схема длительных испытаний малых образцов с центральной предварительно заданной трещиной



Рис. 2. Наблюдение за ростом трещины под нагрузкой в большеразмерном образце: а – при длительном статическом нагружении; б – при циклическом нагружении. Сверху – динамометрическая траверса

Наблюдение за ростом трещины во время длительных статических нагружений показало, что видимый рост трещин обеих форм имел не плавно-непрерывный, а скачкообразный характер. Следует отметить, измерения перемещений берегов трещины с помощью индикаторов часового типа показали отсутствие син-

хронности видимого прорастания трещины и прироста перемещений. На рисунке 3а представлен характерный вид диаграммы роста длины трещины сдвига при длительном статическом нагружении. На рисунке 3б представлен характерный вид диаграммы перемещений берегов трещины при циклическом нагружении.

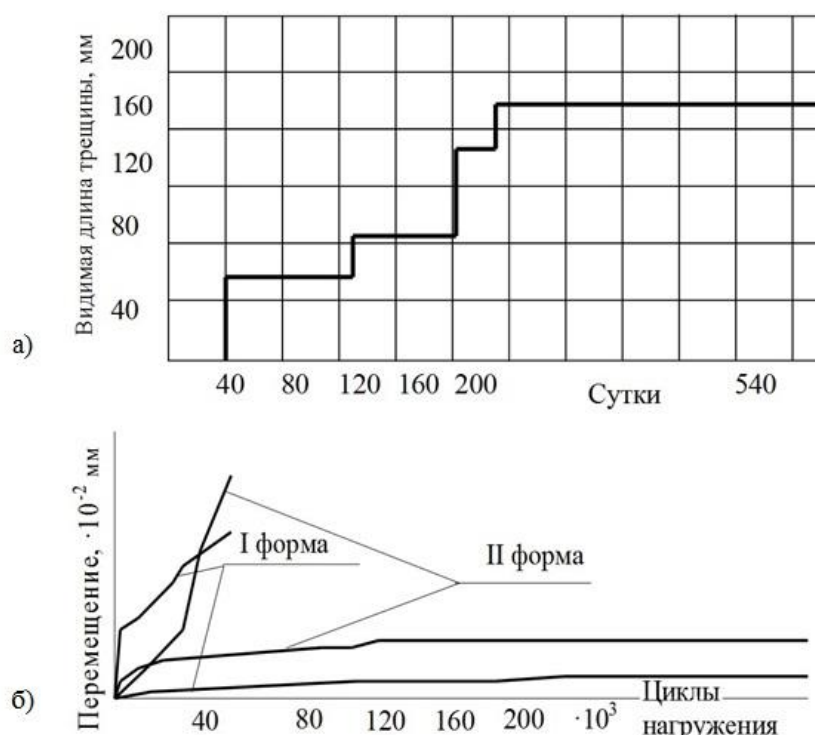


Рис. 3. а – скачкообразный характер роста длины трещины при длительном статическом нагружении; б – диаграммы роста перемещений берегов трещины при циклическом нагружении

На рисунке 4 представлены диаграммы перемещения берегов трещины для

малых образцов с центральной предварительно заданной трещиной.

Характер развития трещин при длительном статическом нагружении был таким же, как и при циклическом нагружении. Трещина прорастала в одной или нескольких вершинах трещины. Разрушение большеразмерных образцов на уровне нагружения $0,8K_{II}=989 \text{ кПа}\cdot\sqrt{\text{м}}$ происходило на 5-12 сутки длительных испытаний. На уровне нагружения $0,7K_{II}=865 \text{ кПа}\cdot\sqrt{\text{м}}$ – на 16-18 сутки. На уровне нагружения $0,6K_{II}=724 \text{ кПа}\cdot\sqrt{\text{м}}$ – один образец разрушился на сороковые сутки, два других образца не разрушились по истечении 540 суток испытаний.

Диагностический анализ результатов испытаний показал неожиданное поведение

большеразмерных образцов при длительном статическом и циклическом нагружении: видимый рост длины трещины не совпадал по времени с ростом перемещений берегов трещины.

Важно отметить, что показатели вязкости разрушения более чувствительны к эксплуатационным воздействиям, чем стандартизованные показатели прочности [6-8].

Возможно использование подходов механики разрушения к оценке несущей способности деревянных конструкций наряду с традиционным подходом на основании вычисления напряжений в конструкции.

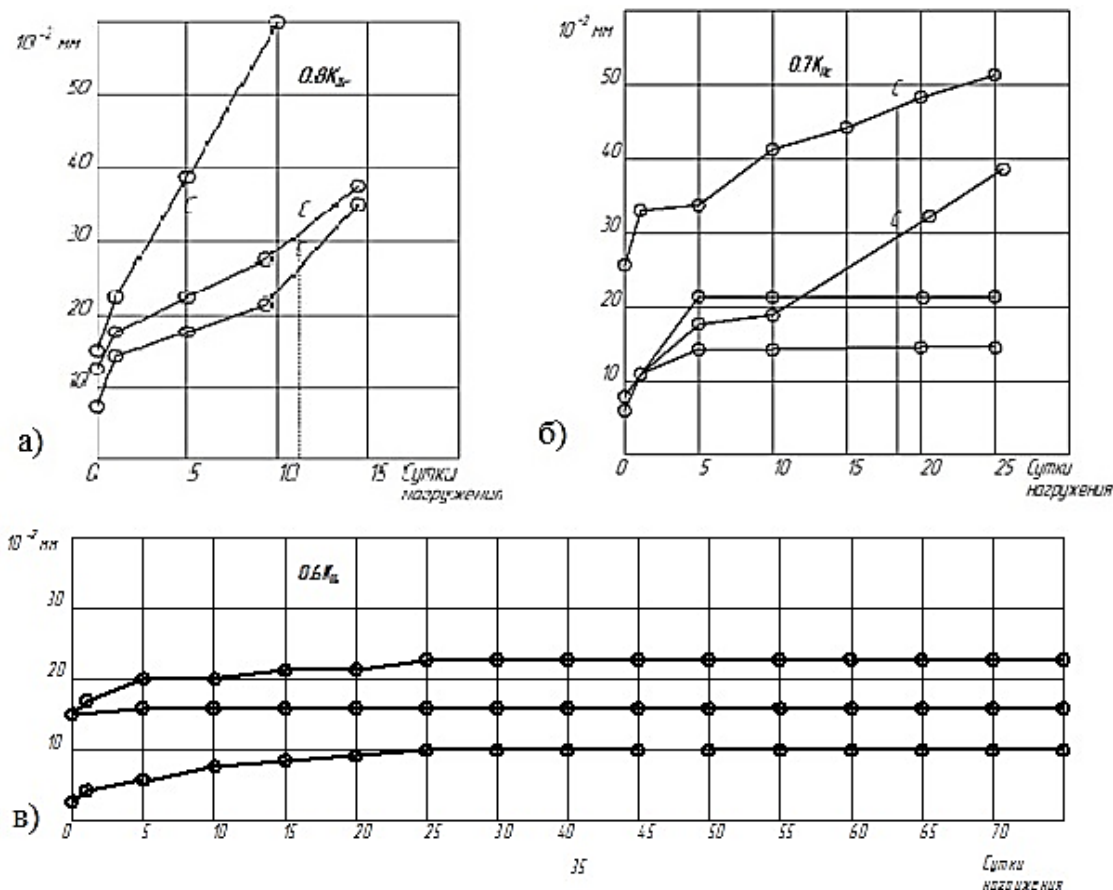


Рис. 4. Диаграмма перемещений берегов трещины в малом образце с центральной предварительно заданной трещиной: а – уровень нагружения $0,8K_{II}=989 \text{ кПа}\cdot\sqrt{\text{м}}$. Буквой С отмечено появление видимой трещины; б – уровень нагружения $0,7K_{II}=865 \text{ кПа}\cdot\sqrt{\text{м}}$. Буквой С отмечено появление видимой трещины; в – уровень нагружения $0,6K_{II}=724 \text{ кПа}\cdot\sqrt{\text{м}}$

Список литературы

1. ГОСТ 25.506-85. Расчёты и испытания на прочность. Методы механических испытаний металлов. Определение характеристик трещиностойкости (вязкости разрушения) при статическом нагружении. – М.: Изд-во стандартов, 1985. – 61с.

2. Рекомендации по расчёту прочности анкеровки деталей из тяжёлого бетона. – М.: МНИИТЭП, 1984. – 24 с.

3. Фрейдин А.С., Городенский С.И. Механика разрушения древесины // Строительная механика и расчёт сооружений. – 1990. – №6. – С. 9-16.

4. Кабанов В.А. Надежность элементов деревянных конструкций. – Курск, 2003. – 147с.

5. Масалов А.В., Мицкус Ю.А. Анализ методики испытаний арболита при сжатии // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии. – 2012. – №2, Ч. 3. – С.185-186.

6. Kabanov V., Masalov A. Fracture toughness of bend glued laminated members // Proceedings of the 5th international symposium “Wood in engineering structures”. – Kočovce, Slovakia, 1995. – P. 44-50.

7. Kabanov V., Masalov A., Solianik J. Normalization of exploitation loading of wood composites for building structures // Proceedings of the 5th World Conference on Timber Engineering.- Montreux, Switzerland, 1998. – Vol.2. – P. 796-797.

8. Kabanov V. The reliability of glued laminated timber members under fatigue loading. Dissertation. – Bratislava: SvF STU, 2001.

9. Patton-Mallory M., Cramer S. Fracture mechanics: a tool for predicting wood components strength. FPJ, p.47-47, (v.37).

10. Sih G.S., Paris P.C., Irwin G.R. On cracks in rectilinearly anisotropic bodies. Int. J. Fract. Mech. vol. 3, #3, p. 364-368.

11. Stupishin L., Kabanov V., Masalov A. Fracture resistance of bended glued timber elements with flaws // Advanced materials research. – 2014. – V.988. – P.363-366.

12. Tomin M. Influence of wood orthotropy on basic equations of linear fracture mechanics // Drevarskyvyskum. – 1971. – Vol. 4. – P.219-230.

13. Tomin M. Fracture of wood induced by sharp inclusions // Drevarskyvyskum. – 1973. Vol. 3. – P.175-182.

Получено 08.07.16

V.A.Kabanov, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Southwest State University (Kursk) (e-mail kva55@list.ru)

A. V. Masalov, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Southwest State University (Kursk) (e-mailmasalow.al@ya.ru)

FRACTURE TOUGHNESS OF GLULAM ELEMENTS UNDER SUSTAINED LOADING

The paper deals with methodology and some results of crack growth diagnostics while testing large and small samples of laminated wood for long-term cracking resistance of the first and second forms of destruction by approaches of fracture mechanics.

Methods of fracture mechanics for calculation of wooden structures is rather prospective because the design of solid and laminated wood contains large amounts of various natural and technological heterogeneities such as : knots, fibres slope, cracks of various origins, adhesive bonding to plastic and notched butt joints, trimming, cuts, holes, glued rods. In the samples of plywood there were pre-specified crack shift (second form) and normal margin

(the first form). The nature of germination cracks is described. Tests were carried out on levels of stress intensity factor 0,6, 0,7, 0,8-destructive values. Loading time is up to 540 days under long static loading and up to 2 million cycles under cyclic loading. Tests were conducted under laboratory and field conditions.

The article reproduces the results of tests on long crack growth resistance large size (140x170x2800 mm) and small (60x60x400 mm) samples under static and cyclic loadings and describes the features of crack germination in specimens under sustained loading. The fracture mechanics parameters are more sensitive to the environmental influences than standardized strength ones. It is possible to use approaches of fracture mechanics to the assessment of bearing capacity of wooden structures along with the traditional approach based on calculating the stresses in the structure.

Key words: *glulam beams, fracture toughness, long loading, fracture mechanics.*

References

1. GOST 25.506-85. Raschjoty i ispytaniya na prochnost'. Metody mehanicheskikh ispytaniy metallov. Opredelenie harakteristik treshhinostojkosti (vjazkosti razrushenija) pri staticheskom nagruženii. – M.: Izd-vo standartov, 1985. – 61s.
2. Rekomendacii po raschjotu prochnosti ankerovki detalej iz tjazhjologo betona. – M.: MNIITJeP, 1984. – 24 s.
3. Frejdin A.S., Gorodenskij S.I. Mehanika razrushenija drevesiny // Stroitel'naja mehanika i raschjot sooruzhenij. – 1990. – №6. – S. 9-16.
4. Kabanov V.A. Nadezhnost' jelementov derevjannyh konstrukcij. – Kursk, 2003. – 147s.
5. Masalov A.V., Mickus Ju.A. Analiz metodiki ispytaniy arbolita pri szhatii // Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Tehnika i tehnologii. – 2012. – №2, Ch. 3. – S.185-186.
6. Kabanov V., Masalov A. Fracture toughness of bend glued laminated members // Proceedings of the 5th international symposium "Wood in engineering structures". – Kočovce, Slovakia, 1995. – P. 44-50.
7. Kabanov V., Masalov A., Solianik J. Normalization of exploitation loading of wood composites for building structures // Proceedings of the 5th World Conference on Timber Engineering.- Montreux, Switzerland, 1998. – Vol.2. – R. 796-797.
8. Kabanov V. The reliability of glued laminated timber members under fatigue loading. Dissertation. – Bratislava: SvF STU, 2001.
9. Patton-Mallory M., Cramer S. Fracture mechanics: a tool for predicting wood components strength. FPJ, p.47-47, (v.37).
10. Sih G.S., Paris P.C., Irwin G.R. On cracks in rectilinearly anisotropic bodies. Int. J. Fract. Mech. vol. 3, #3, p. 364-368.
11. Stupishin L., Kabanov V., Masalov A. Fracture resistance of bended glued timber elements with flaws // Advanced materials research. – 2014. – V.988. – R.363-366.
12. Tomin M. Influence of wood orthotropy on basic equations of linear fracture mechanics // Drevarskyvyskum. – 1971. – Vol. 4. – P.219-230.
13. Tomin M. Fracture of wood induced by sharp inclusions // Drevarskyvyskum. – 1973. Vol. 3. – P.175-182.