

ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ ПОБУДОВИ КРИВИХ КОРОТКОЧАСНОЇ МІЦНОСТІ ДЕРЕВИНИ З ДВОВІСНИМ НАПРУЖЕНИМ СТАНОМ

Михайло Дендюк¹, Любомир Флуд², Назар Семенишин³

¹⁻³ Національний лісотехнічний університет України

¹ dendiuk@ukr.net, ORCID: 0000-0002-7631-022X

² fludlybomir@gmail.com, ORCID: 0000-0002-8347-4265

³ semenyshyn@nltu.edu.ua, ORCID: 0000-0003-0156-4871

© Дендюк М., Флуд Л., Семенишин Н., 2020

У статті реалізовано алгоритм побудови кривих короткочасної міцності деревини з двовісним напруженим станом у радіально-тангентальній площині структурної симетрії. Для реалізації цього алгоритму було розроблено програмне забезпечення на основі крос-платформного інструментарію Qt, яке дозволяє будувати та аналізувати критерії короткочасної міцності у поперечному розрізі деревини. Створена програма має можливість вибору одного із трьох критеріїв міцності, виду деревини, її температурного та вологісного розподілу. Програмний код мовою C++ спроектований так, щоб можна було легко додати ще один вид деревини, а також критерій короткочасної міцності. Для відображення кривих їх можна виводити у вигляді графіка або таблиці. Графіки можна фіксувати на графічному віджеті, і додавати нові, порівнюючи з попередніми.

На основі аналізу побудованих кривих, встановлено граничний напружений стан матеріалу в часткових випадках. А також зроблено висновки щодо доцільності використання певних критеріїв для опису міцнісних характеристик деревини з сильною та слабкою асиметрією меж міцності.

Ключові слова: анізотропія, міцність деревини, критерій короткочасної міцності, крива короткочасної міцності.

Вступ

Деревина належить до анізотропних матеріалів. Її фізичні властивості залежать від анатомічної будови, яка визначає три взаємно перпендикулярні напрями: радіальний (від центра до краю), тангентальний (дотична до річних кілець) та аксіальний (уздовж волокон), за цими напрямками властивості деревини суттєво відрізняються. До проблем міцності анізотропних тіл належать два аспекти, а саме: дослідження залежності характеристик міцності від напрямку зусилля відносно осей структурної симетрії матеріалу (анізотропія характеристик міцності); оцінка міцності анізотропних тіл при складних (багатовісних) напружених станах.

Постановка проблеми

Розроблення програмного забезпечення та реалізація алгоритму для побудови кривих короткочасної міцності деревини з двовісними напруженими станами дадуть змогу чіткіше оцінити міц-

ність анізотропних тіл при складних напружених станах, а також дослідити залежності характеристик міцності від напрямку зусилля відносно осей структурної симетрії матеріалу.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Сьогодні для композитних анізотропних матеріалів, до класу яких належить деревина, побудовано багато феноменологічних теорій короткочасної міцності: Р. Хілла, Р. Мізеса, Маріна-Ху, Норіса-Мак-Кінена, Прагера, Є. К. Ашкеназі, А. К. Малмейстра, К. В. Захарова, Й. І. Гольденблата, В. О. Копнова і ін. Однак не всіх їх доцільно використовувати для визначення допустимих напружень у деревині [1, 2].

Формулювання цілі статті

Мета роботи – реалізувати програмне забезпечення з допомогою інструментарію розробки Qt для побудови кривих короткочасної міцності деревини із двовісними напруженими станами та проаналізувати граничний напружений стан матеріалу в часткових випадках.

Виклад основного матеріалу

На основі аналізу наявних критеріїв короткочасної міцності для анізотропних матеріалів та їхньої адаптації і апробації на деревині різних порід обрано критерії, за якими будуватимуться криві короткочасної міцності деревини. А саме:

Критерій Ашкеназі

$$A_{xx}\sigma_x^2 + A_{yy}\sigma_y^2 + 2A_{xxyy}\sigma_x\sigma_y + 4A_{xyxy}\tau_{xy}^2 = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + \sigma_x\sigma_y + \tau_{xy}^2}. \quad (1)$$

Тут: σ_x і σ_y – радіальна та тангентальна компоненти тензора допустимих напружень; τ_{xy} – напруження зсуву; A_{xx} , A_{yy} , A_{xxyy} , A_{xyxy} – компоненти тензорів міцності; x , y – координати точок поперечного перерізу дошки відносно перетину його діагоналей.

Критерій Гольденблата-Копнова

$$P_{xx}\sigma_x + P_{yy}\sigma_y + \sqrt{P_{xxxx}\sigma_x^2 + P_{yyyy}\sigma_y^2 + P_{xxyy}\sigma_x\sigma_y + 4P_{xyxy}\tau_{xy}^2} = 1. \quad (2)$$

Тут: σ_x і σ_y – радіальна та тангентальна компоненти тензора допустимих напружень; τ_{xy} – напруження зсуву; P_{xx} , P_{yy} , P_{xxxx} , P_{yyyy} , P_{xxyy} – компоненти тензорів міцності; x , y – координати точок поперечного перерізу дошки відносно перетину його діагоналей.

Критерій Захарова

$$A_{11}\sigma_{11} + A_{22}\sigma_{22} + A_{1111}\sigma_{11}^2 + A_{2222}\sigma_{22}^2 + 2A_{1122}\sigma_{11}\sigma_{22} - 1 = 0. \quad (3)$$

Тут: σ_{11} і σ_{22} – радіальна та тангентальна компоненти тензора допустимих напружень; A_{11} , A_{22} , A_{1111} , A_{2222} , A_{1122} – компоненти тензорів міцності; індекси 1, 2 – координати точок поперечного перерізу дошки відносно перетину його діагоналей.

У розробленому програмному забезпеченні “Межі міцності деревини” використано алгоритм побудови кривих короткочасної міцності деревини з двовісним напруженим станом [1]. Згадане ПЗ дає змогу вибрати один із трьох критеріїв, які наведені вище. Породи, які використовують, – сосна, ялина та береза (рис. 1).

Обравши один із критеріїв короткочасної міцності, у цьому випадку критерій Гольденблата-Копнова, а також вибравши породу деревини та з діапазонів 5–25 %, 20–40 °С, необхідну вологість і температуру відповідно, будують криву короткочасної міцності деревини з двовісним напруженим

станом. Окрім графічного зображення кривої, можна переглянути числові дані, по яких числа вона будувалася (рис. 2, а, б).

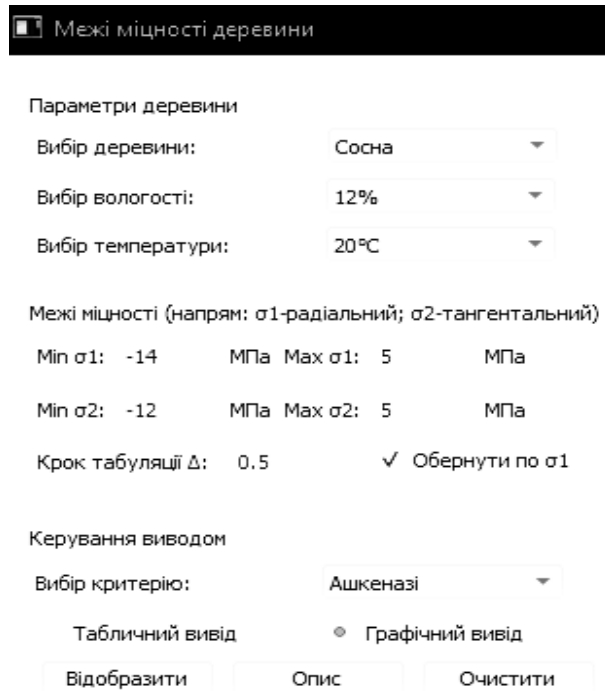
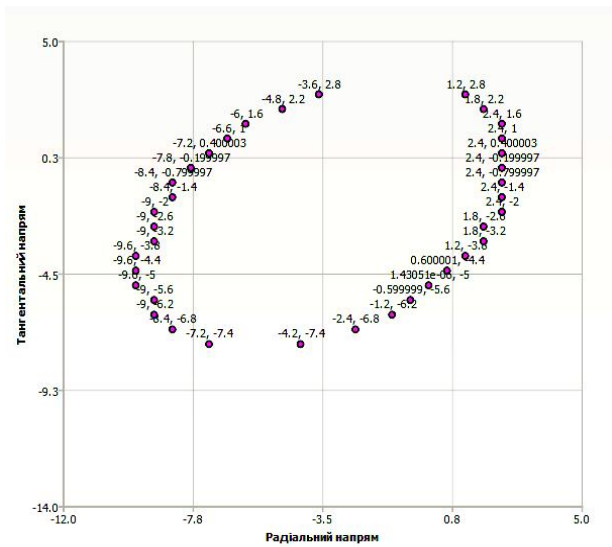


Рис. 1. Вікно параметрів програми "Межі міцності деревини"



а

	-9.00	-8.00	-7.00	-6.00	-5.00	-4.00	-3.00	-2.00	-1.00	0.00	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00		
1.00	0.48223	0.32800	0.24958	0.17085	0.09206	0.01343	0.00484	0.14287	0.22054	0.28747	0.37348	0.44808	0.52041	0.58873	0.64914	0.69171	0.69
0.40	0.32840	0.24859	0.16973	0.08990	0.00910	0.07007	0.15039	0.23006	0.30964	0.38911	0.46840	0.54742	0.62598	0.70364	0.77923	0.84913	0.81
0.20	0.25723	0.17720	0.09730	0.01735	0.00200	0.14254	0.22247	0.30238	0.38227	0.46213	0.54194	0.62167	0.70127	0.78059	0.85921	0.93501	0.94
0.00	0.18494	0.11548	0.03610	0.04318	0.12235	0.20135	0.28016	0.35889	0.43804	0.51446	0.59127	0.66678	0.74002	0.80879	0.86719	0.89593	0.84
-1.40	0.14190	0.06359	0.01448	0.09224	0.16962	0.24651	0.32277	0.39818	0.47243	0.54504	0.61518	0.68150	0.74143	0.78993	0.81666	0.80232	0.71
-2.00	0.08832	0.02182	0.05418	0.12955	0.20414	0.27774	0.35005	0.42066	0.48897	0.55405	0.61649	0.66798	0.70700	0.73364	0.73509	0.69489	0.61
-2.60	0.05433	0.00972	0.02952	0.15507	0.22591	0.29511	0.36221	0.42656	0.48724	0.54296	0.59175	0.63075	0.65573	0.66079	0.63868	0.58275	0.48
-3.20	0.03392	0.01106	0.10077	0.16893	0.23518	0.29904	0.35988	0.41684	0.46876	0.51484	0.55545	0.57499	0.58372	0.57190	0.53409	0.46853	0.31
-3.80	0.02498	0.04238	0.10800	0.17151	0.23244	0.29021	0.34403	0.39289	0.43545	0.46997	0.49419	0.50532	0.50002	0.47478	0.42648	0.35321	0.21
-4.40	0.01920	0.04997	0.10498	0.16330	0.21839	0.26955	0.31589	0.35520	0.38937	0.41336	0.42616	0.42534	0.40825	0.37237	0.31569	0.23724	0.11
-5.00	0.02252	0.03622	0.06222	0.14498	0.19386	0.23810	0.27676	0.30869	0.33250	0.34655	0.34897	0.33773	0.31081	0.26640	0.20325	0.12086	0.01
-5.60	0.03429	0.01964	0.07034	0.11726	0.15973	0.19695	0.22796	0.25162	0.26663	0.27151	0.26466	0.24443	0.20929	0.15799	0.08969	0.00421	0.04
-6.20	0.05414	0.00525	0.03997	0.08093	0.11694	0.14719	0.17073	0.18650	0.19331	0.18985	0.17478	0.14681	0.10476	0.04777	0.02468	0.11204	0.21
-6.80	0.08159	0.03785	0.00180	0.03678	0.06639	0.08984	0.10623	0.11458	0.11382	0.10284	0.08053	0.04586	0.00202	0.06376	0.13964	0.22463	0.31
-7.40	0.11611	0.07559	0.04348	0.01443	0.00893	0.02584	0.03546	0.03690	0.02922	0.01148	0.01721	0.02507	0.11055	0.17628	0.25504	0.34673	0.45
-8.00	0.15719	0.12286	0.09626	0.07197	0.05463	0.04396	0.04070	0.04605	0.05483	0.08342	0.11775	0.16326	0.22044	0.28959	0.37079	0.46291	0.56
-8.60	0.20401	0.17011	0.15288	0.13518	0.12260	0.11180	0.12148	0.13232	0.15252	0.18124	0.22057	0.27050	0.32142	0.40350	0.48880	0.58116	0.68

б

Рис. 2. Крива короткочасної міцності деревини сосни з температурою 200 °С, відносною вологістю W-10 % (а), числові дані, за якими побудована крива короткочасної міцності (б)

Таке програмне забезпечення має можливість побудови кількох графіків, що дає можливість наочно побачити, як змінюється крива короткочасної міцності деревини при зміні одного з параметрів (рис. 3).

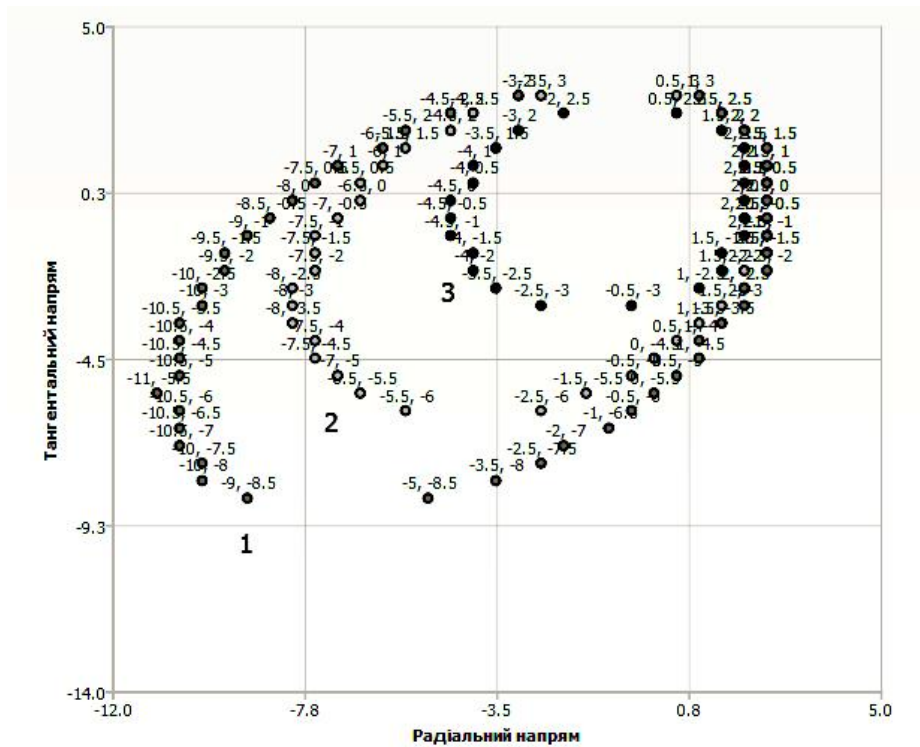


Рис. 3. Крива короточасної міцності деревини сосни з температурою 20 °С, відносно вологістю W та відносним напруженим станом у радіально-тангентальній площині структурної симетрії: 1 – $W=10\%$; 2 – $W=15\%$; 3 – $W=25\%$

Також існує можливість одночасної побудови кривих короточасної міцності при однакових вхідних параметрах для всіх запропонованих критеріїв, що дає швидке уявлення про доцільність використання того чи іншого критерію (рис. 4).

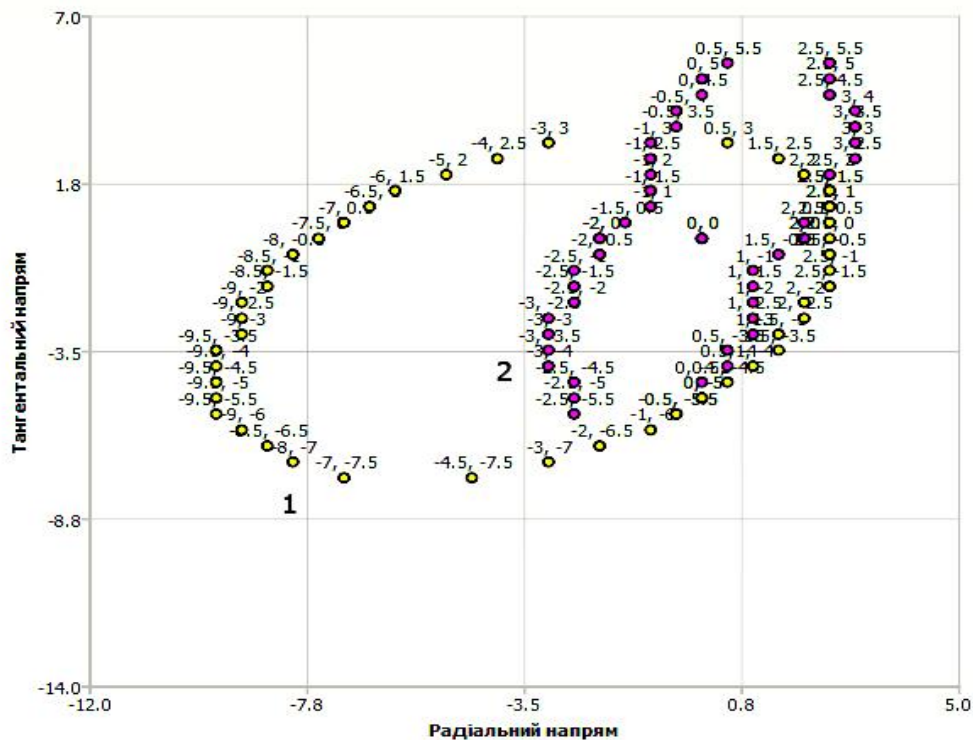


Рис. 4. Крива короточасної міцності деревини сосни з температурою 20 °С, відносно вологістю $W=12\%$: 1 – критерій Гольденבלата-Копнова; 2 – критерій Ашкеназі

З проведеного аналізу кривих короточасної міцності деревини, які відображені на рисунку 4, видно, що крива 2, яка побудована за критерієм Ашкеназі Є. К., не є плавною і випуклою, що не відповідає евристичним вимогам побудови відомих феноменологічних механічних теорій текучості [3, 4]. Отже, критерій Ашкеназі Є. К. недоцільно використовувати для побудови кривих короточасної міцності для деревини хвойних порід [2].

Для розроблення програмного забезпечення було використано безкоштовне інтегроване середовище розробки Qt Creator. Таке середовище має безліч можливостей та класів для розробки, від низькорівневих драйверів до високопрофесійних прикладних програмних забезпечень, яке запускається під різні операційні системи. В основі цього середовища лежить мова програмування C++, розширена різноманітними класами, що перебувають у модулях і динамічних бібліотеках. Для цієї роботи був вибраний тип додатка Qt Widgets Application – тип проєкту з графічним інтерфейсом користувача і цільова платформа Windows.

Графіки будуються за допомогою класу QChartView і відображаються множиною точок-коренів, у яких досліджуваний критерій міцності дав мінімальне за модулем значення. Густина цих точок залежить від кроку табуляції. Всі криві міцності будуються для наочності різними кольорами, і при зміні будь-якого досліджуваного параметру створюються нові криві при збереженні попередніх. Для того, щоб видалити всі криві, потрібно натиснути кнопку “Очистити”. Програма має широкі можливості кольорової стилізації. Один із виглядів головного вікна наведено на рис. 5. У цій версії програми параметри порід і сортів деревини задані у вигляді структур, у вихідному коді програми, отже, їх є фіксована кількість.

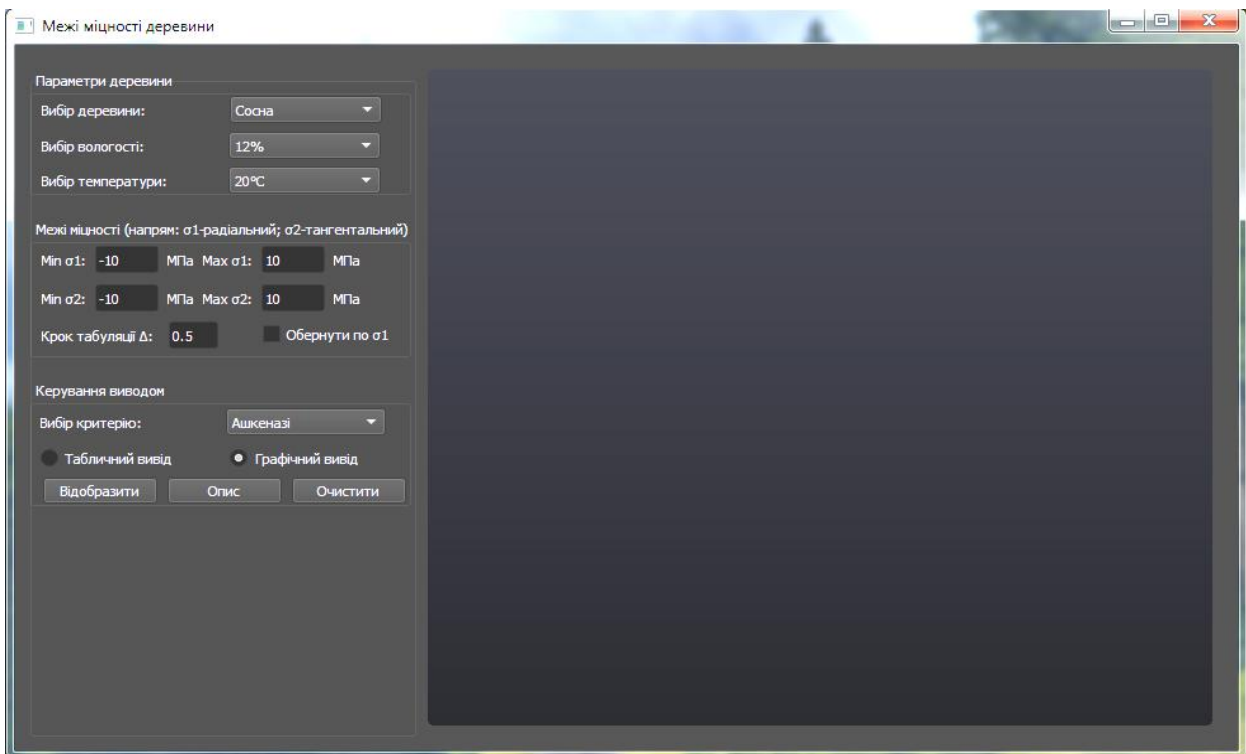


Рис. 5. Видяд головного вікна програми “Межі міцності деревини” для темної кольорової схеми

Висновки

Таке програмне забезпечення дає змогу будувати криві короточасної міцності деревини з двовісними напруженими станами та проводити їхній аналіз. Зокрема, чітко видно, чи побудована крива відповідає евристичним вимогам побудови відомих феноменологічних механічних теорій текучості, пластичності та міцності твердих тіл: 1) криві граничного напруженого стану (криві короточасної міцності) повинні бути плавними та випуклими; 2) співвідношення між характеристиками кривої короточасної міцності повинні бути такими, щоб у випадку зміни хоча б однієї

константи матеріалу (модулі пружності, коефіцієнти Пуассона, тощо) нова крива повинна перебувати всередині або зовні первинної. Обидві криві можуть мати лише кілька точок дотику, але у жодному випадку вони не повинні перетинатися.

Список літератури

1. Поберейко Б. П., Дендюк М. В., Флуд Л. О. Визначення короткочасної міцності деревини з двовісним напруженим станом. Науковий вісник НЛТУ України, 2010, 20 (13), 332–338.
2. Поберейко Б. П., Флуд Л. О., Петрив О. М., Поберейко С. Б. (2013). Обоснование выбора критерия кратковременной прочности для древесины. Актуальные проблемы лесного комплекса, (36), 86–91.
3. Яценко В. Ф. Прочность композиционных материалов. К.: Выща шк., 1988. 191 с.
4. Божидарник В. В., Сулим Г. Т. Элементы теории пластичности та міцності. Львів: Світ, 1999. Т. 1. 532 с.

References

1. Pobereyko B. P., Dendiuk M. V., Flud L. O. (2010). Determination of short-term strength of wood with biaxial stress. Scientific Bulletin of UNFU, 20 (13), 332–338.
2. Pobereyko B. P., Flud L. O., Petriv O. M., Pobereyko S. B. (2013). Justification of the choice of the criterion for short-term strength for wood. Actual Problems of the Forest Complex, (36), 86–91.
3. Yatsenko V. F. (1988). Strength of composite materials. K.: Vyscha shkola., 191 p.
4. Bozhidarnik V. V., Sulim G. T. (1999). Elements of the theory of plasticity and strength. Lviv: Svit, 532 p.

SOFTWARE IMPLEMENTATION OF THE CONSTRUCTION OF CURVES SHORT-TERM STRENGTH OF WOOD WITH BIAxIAL STRESS STATE

Mykhailo Dendiuk¹, Lyubomir Flud², Nazar Semenyshyn³

¹⁻³ Ukrainian National Forestry University

¹ dendiuk@ukr.net, ORCID: 0000-0002-7631-022X

² fludlybomir@gmail.com, ORCID: 0000-0002-8347-4265

³ semenyshyn@nltu.edu.ua, ORCID: 0000-0003-0156-4871

© Dendiuk M., Flud L., Semenyshyn N., 2020

This paper is devoted to implementing the algorithm for constructing short-term strength curves of wood with biaxial stress states in the radial-tangential plane of structural symmetry. To implement this algorithm was developed software based on the Qt cross-platform toolkit, which allows to build and analyze short-term strength curves in the cross section of wood. The created program has a possibility to choose one of three failure criteria, a kind of wood, temperature and humidity distribution of lumber. The C++ program code is designed so that you can easily add another type of wood as well as a failure criterion. To display the curves, you can select table or graph mode. Graphs can be fixed on a graphics widget, and new ones can be added to compare to previous ones.

Based on the analysis of the constructed curves, the ultimate stress state of the material in partial cases is established. In conclusion about expedient using some criteria to describe the strength characteristics of wood with strong and weak asymmetry of strength limits.

Key words: anisotropy, wood strength, short-term strength criterion, short-term strength curve.