

doi.org/10.29295/2311-7257-2020-102-4-201-207

УДК 624.011.1

Перетятко Ю.Г., Агєєнко С.Б., Ляшенко І.Ю

Харківський національний університет будівництва та архітектури
 (вул. Сумська, 40, Харків, 61002, Україна; e-mail: jura_51@ukr.net, sageenko@ukr.net,
summery_irina@ukr.net; orcid.org/0000-0002-8005-8776, orcid.org/0000-0002-6093-0694,
 orcid.org/0000-0001-6444-8515)

КОНТАКТНА ЗАДАЧА РОБОТИ ДЕРЕВ'ЯНОЇ БАЛКИ З ОПОРНОЮ ПІДКЛАДКОЮ

Об'єктом дослідження є робота дерев'яної балки прямокутного поперечного перерізу, що спирається на дерев'яні підкладки. Традиційно перевірка міцності на зминання деревини на опорах поперек волокон базується на умові рівномірного розподілу поперечних нормальних напружень по довжині контакту балки з опорами. Розрахунки напружено-деформованого стану балки з підкладками показали, що розподіл поперечних нормальних напружень по довжині контакту балки з опорами є нерівномірним з наявністю ділянок концентрації цих напружень та суттєвим перенапруженням деревини. В роботі виконано удосконалений розрахунок системи «балка-пружні підкладки», що урахує ортотропні властивості деревини балки та допускає зминання деревини підкладок поперек волокон, завдяки чому відбувається перерозподіл та вирівнювання нормальних поперечних напружень по довжині взаємного контакту балки з опорними підкладками та виконання умови міцності деревини за зминанням поперек волокон. При цьому дещо зростають максимальні нормальні поздовжні напруження в балці та прогин балки.

Ключові слова: дерев'яна балка, прямокутний поперечний переріз, напружено-деформований стан, ортотропні властивості деревини, зминання опорних підкладок.

Вступ. Відповідно до нормативних документів [1-3] при перевірці умови міцності за зминанням поперек волокон опорної частини дерев'яної балки та дерев'яної підкладки (рис. 1) вважають, що напруження зминання поперек волокон $\sigma_{зм,90}$ розподіляються рівномірно по площі взаємного контакту балки з опорою і відповідна перевірка міцності за зминанням поперек волокон має вид [4-8]:

$$\sigma_{зм,90} = V/A_{зм} = V/(b \cdot l_{зм}) \leq R_{зм,90,*} \quad (1)$$

де $R_{зм,90,*}$ - розрахункове значення розрахункового опору $R_{зм,90}$, що обчислюється за формулою [9]:

$$R_{зм,90,*} = R_{зм,90} \cdot m_* \quad (2)$$

$R_{зм,90}$ – розрахунковий опір базової деревини [9] стиску (зминанню) поперек волокон для опорних ділянок; m_* - узагальнений коефіцієнт умов праці;

$$m_* = m_{п} \cdot m_{в} \cdot m_{т} \cdot m_{д} \cdot m_{н} \cdot m_{б} \cdot m_{ш} \cdot m_{гн} \cdot m_0 \cdot m_a, \quad (3)$$

Значення коефіцієнтів m_i наведені в [1, 2].

В [10] було показано, що характер розподілу поперечних до волокон балки нормальних напружень $\sigma_{зм,90}$ та їх значення залежать від виду розподілу опорних реакцій по довжині площадок взаємного контакту балки з опорами. При цьому, опори розглядалися як абсолютно тверді. Було показано, що при рівномірному розподілу реакцій умова міцності за зминанням поперек волокон виконувалася: $\sigma_{у,90} = 0,233 \text{ кН/см}^2 < R_{зм,90,*} = 0,3 \text{ кН/см}^2$. У випадку розподілу опорних реакцій по трикутнику напруження $\sigma_{у,90}$ також розподілялися по довжині опор лінійно. При цьому, умова міцності за зминанням поперек волокон уже не виконувалася: $\sigma_{у,90,max} = 0,466 \text{ кН/см}^2 > R_{зм,90,*} = 0,3 \text{ кН/см}^2$, тобто балка у цьому випадку повинна зминатися.

Мета роботи. Продовжити дослідження, розпочаті в [10], доповнивши їх наступними суттєвими додатковими умовами:

1) Сама балка розраховується як ортотропна з заданими ортотропними властивостями деревини вздовж (по координаті x) та поперек (по координаті z) волокон з використанням узагальненого закону Гука для ортотропного тіла [11-13]:

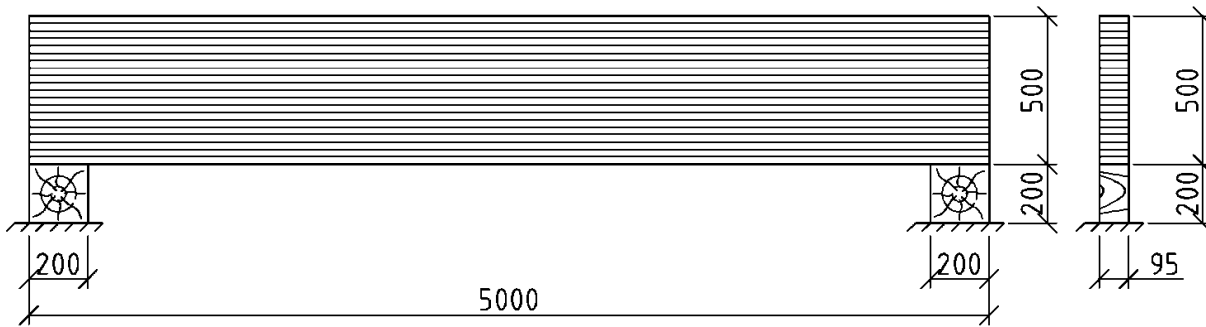


Рис. 1. Загальний вигляд балки.

$$\varepsilon_x = \frac{1}{E} \cdot \sigma_x - \frac{\nu_{xz}}{E_{90}} \cdot \sigma_z, \quad \varepsilon_z = \frac{1}{E_{90}} \cdot \sigma_z - \frac{\nu_{zx}}{E} \cdot \sigma_x, \quad \gamma_{xz} = \frac{1}{G} \cdot \tau_{xz}, \quad (4)$$

де $E=10000$ МПа, $E_{90}= 400$ МПа – модулі пружності деревини відповідно вздовж та поперек волокон; $G= 500$ МПа – модуль зсуву; $\nu_{xz}=0,02$; $\nu_{zx}=0,5$ – усі значення за [1, 2]. При цьому, для ортотропного тіла маємо співвідношення:

$$E \nu_{xz} = E_{90} \nu_{zx}. \quad (5)$$

Для вище наведених значень умова (5) задовольняється: $10000 \cdot 0,02 = 400 \cdot 0,5$, $200 = 200$.

2) Дерев'яна підкладка у своєму перерізі (в площині балки) приймається як ізотропне тіло з $E=10000$ МПа, $G= 500$ МПа, $\nu=0,5$, тобто є деформованою.

Балка дерев'яна із сосни 2-го сорту. Її розміри наведені на рис. 1. Інтенсивність рівномірно розподіленого навантаження прийняте рівним $q=17,7$ кН/м з умови забезпечення міцності балки за максимальними нормальними σ_x та дотичними τ_{xz} (за формулою Журавського) напруженнями відповідно в середньому та опорному поперечних її перерізах.

Зміст роботи та отримані результати. Дослідження контактної задачі роботи дерев'яної балки з дерев'яною опорною підкладкою проведені чисельно методом кінцевих елементів (МКЕ) з використанням програмного комплексу SCAD [14, 15]. Балка та підкладки покриті сіткою плоских прямокутних КЕ з розмірами 5×5 мм, а на ділянках концентрації напружень – $5 \times 1,25$ мм (рис. 2, вузол 1, з боку внутрішньої сторони підкладки).

Результати розрахунку напружено-деформованого стану (НДС) системи «балка-підкладки» (рис. 1) наведені на рис. 2-5.

Так, максимальний прогин балки склав 16,3мм. Також отримали переміщення опорні поверхні взаємного контакту балки з підкладками. Як видно з рис. 2, вузол 1, найбільші вертикальні деформації отримали підкладки зі своїх внутрішніх сторін в зонах концентрації напружень (в крайньому вузлі в т. А – 2,12мм).

На рис. 3 зображені поля розподілу нормальних напружень σ_x в системі «балка-підкладки». Як бачимо, в середньому перерізі балки міцність деревини за максимальними нормальними напруженнями σ_x при заданому навантаженні $q=17,7$ кН/м є забезпеченою: $\sigma_x=1,29$ кН/см² < $R_{32,*}=1,3$ кН/см² [1, 9]. А ось в т. А (рис. 3, вузол 2) маємо зміну знаку та незначне перенапруження стиску.

На рис. 4 зображені поля розподілу поперечних нормальних напружень σ_z . В перерізі 2-2 та інших (за виключенням приопорних ділянок балки) маємо розподіл напружень σ_z та їх значення, аналогічні отриманим в [10]. При наближенні до опор напруження σ_z

зростають у нижній частині балки (переріз 3-3). При цьому, міцність за напруженнями σ_z в балці, окрім її опорних ділянок, забезпечена. А ось у вузлі 3 в т. А маємо перенапруження:

$$\sigma_z = 0,939 \text{ кН/см}^2 > R_{зм,90,*} = 0,3 \text{ кН/см}^2 \text{ (якщо підкладка з деревини сосни)}$$

$$\sigma_z = 0,939 \text{ кН/см}^2 > R_{зм,90,*} = 0,6 \text{ кН/см}^2 \text{ (якщо підкладка з деревини дуба)}.$$

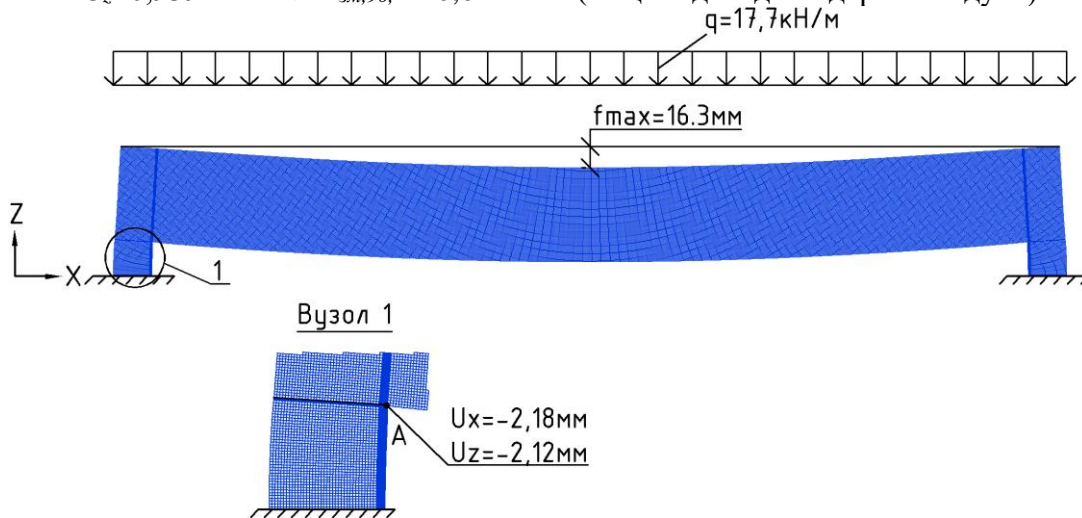


Рис. 2. Деформація балки при навантаженні.

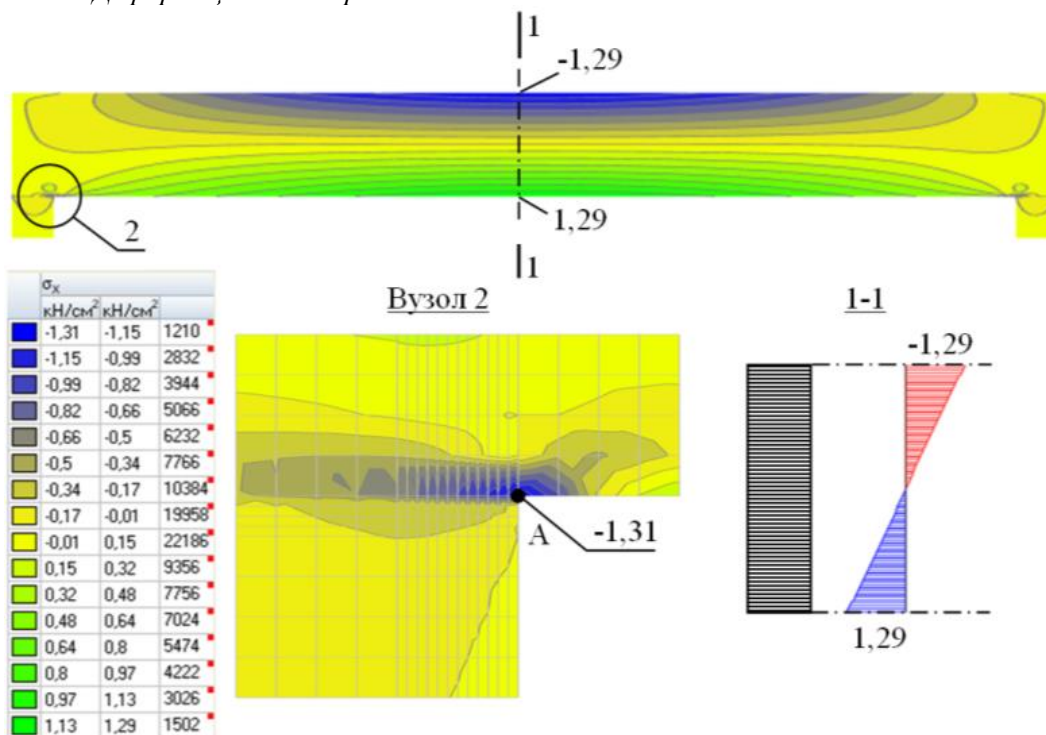


Рис. 3. Напруження σ_x , кН/см².

Розподіл стискаючих напружень σ_z та відповідних вертикальних переміщень u_z у підкладці вздовж лінії контакту з балкою наведені на рис. 5. Як бачимо, характер їх зміни майже лінійний, за виключенням ділянки концентрації напружень σ_z в т. А (рис. 4, вузол 3) та її околиці довжиною до 10мм.

Таким чином, наведений вище розрахунок балки показав, що на відміну від рівномірного розподілу реакцій опори (традиційний спосіб розрахунку [4-8]), при якому [10] міцність деревини по умові її змінання поперек волокон на опорних ділянках є забезпеченою, в реальності маємо локальне і суттєве перенапруження, що повинно викликати

руйнування деревини балки і підкладок. Але в існуючих реальних конструкціях воно не відбувається. Очевидно, що деревина локально обминається, завдяки чому напруження σ_z в зонах їх концентрації (в околиці т. А) перерозподіляються за рахунок меншого тиску на підкладки в т. А від прогинання балки.

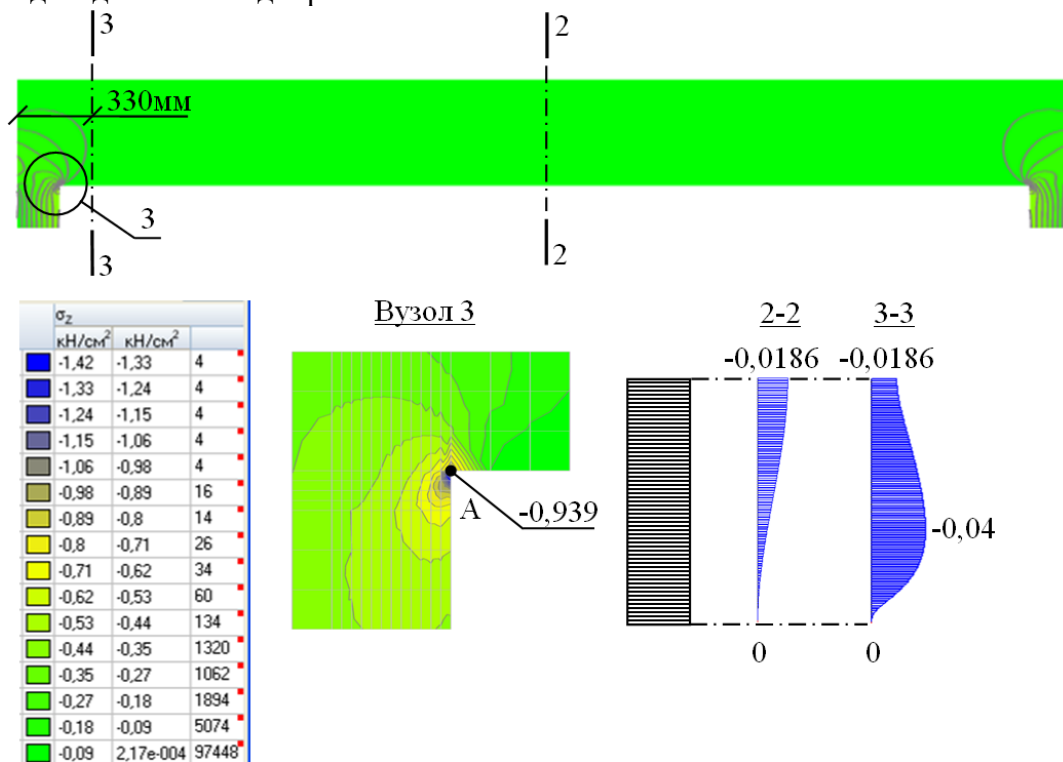


Рис. 4. Напруження σ_z , кН/см².

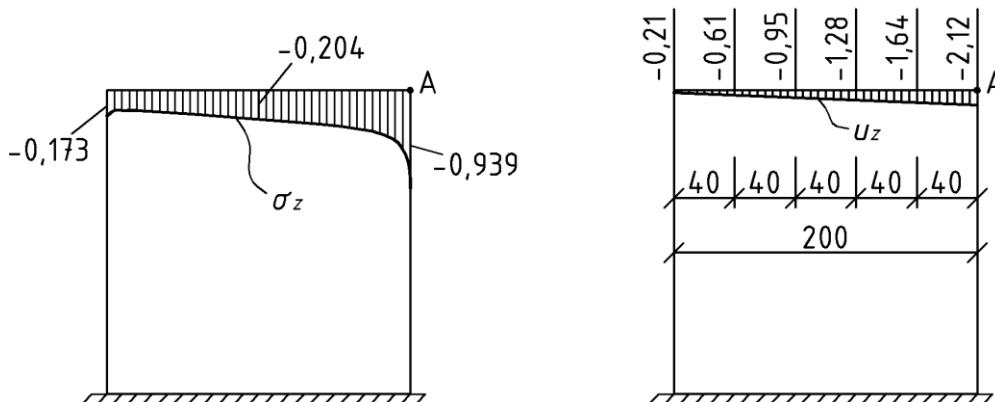


Рис. 5. Епюра напружень σ_z (кН/см²) та вертикальні переміщення u_z (мм) у підкладці вздовж лінії контакту з балкою.

Нижче на рис. 6-9 наведені результати розрахунку системи «балка-пружні опори» з урахуванням можливості зминання деревини підкладок по їх довжині контакту з балкою. В алгоритм розрахунку було закладено умову, що зминання деревини відбувається, якщо напруження σ_z досягають величини $R_{зм,90}^* = 0,3 \text{ кН/см}^2$.

Як видно з порівняння рис. 2 та рис. 6, прогин балки зріс за не суттєво – з 16,3 мм до 17 мм. Це пояснюється обминанням підкладки в околиці т. А (рис. 6, вузол 4). Вертикальне переміщення т. А за рахунок обминання підкладки зросло незначно з 2,12 мм (рис. 2, вузол 1) до 2,74 мм (рис. 6, вузол 4), тобто на 0,62 мм, що візуально навіть не помітно. Максимальні нормальні напруження σ_x в середині балки дещо збільшилися на 1,55%

(рис. 7, переріз 4-4), що пояснюється вирівнюванням розподілу напружень σ_z по лінії контакту балки з підкладками (рис. 9) зі зміщенням вертикальних рівнодіючих опорних реакцій балки до її кінців та відповідно збільшенням прольоту балки.

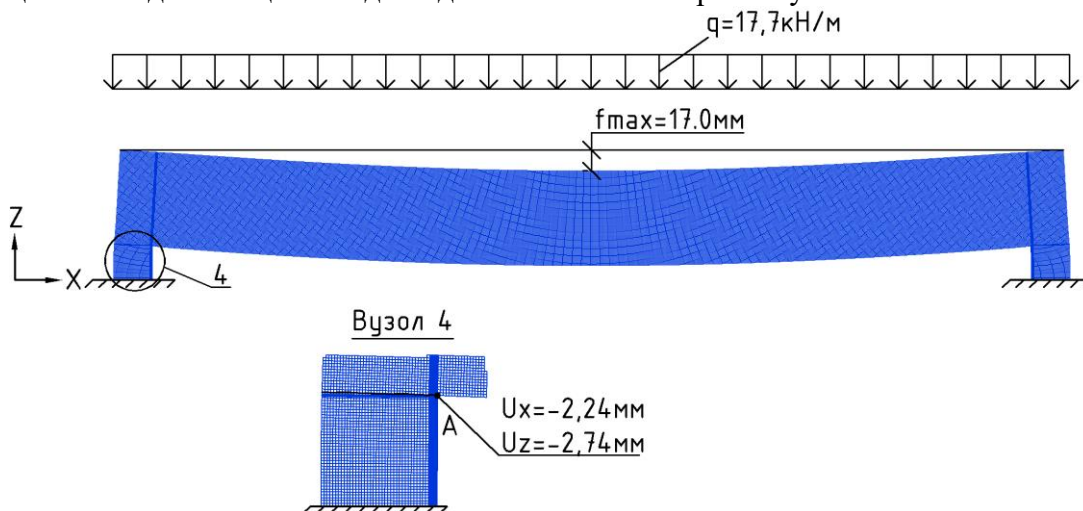


Рис. 6. Деформація балки та опорних підкладок з урахуванням їх змінання.

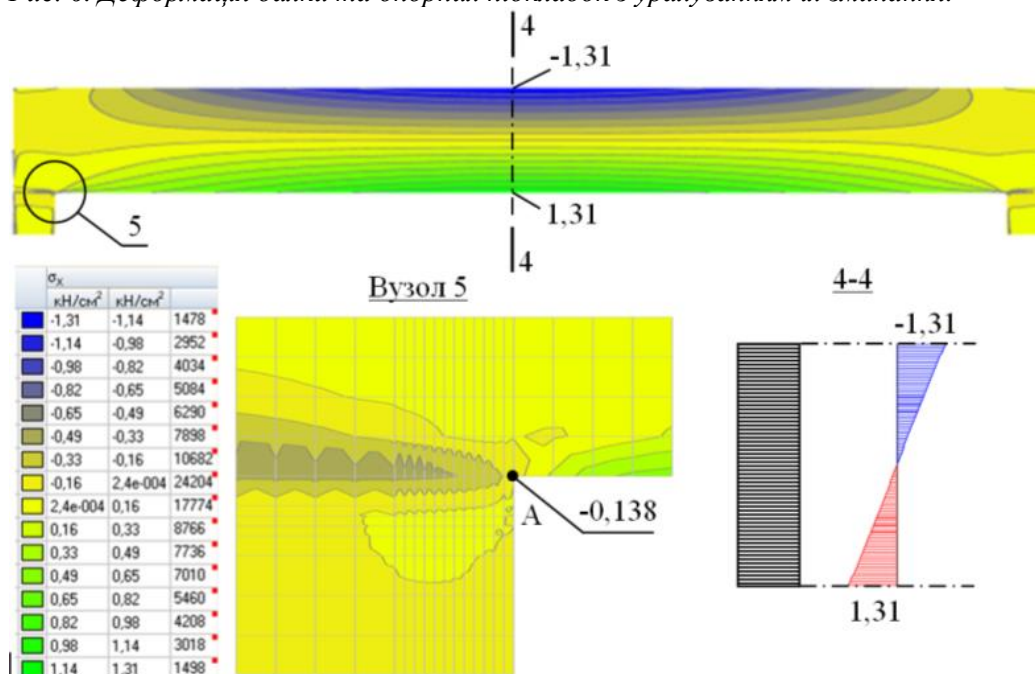


Рис. 7. Напруження σ_x , кН/см².

Порівнюючи характер розподілу та значення поперечних нормальних напружень σ_z в опорних підкладках по довжині контактів з балкою (див. рис. 5 та рис. 9), бачимо, що за рахунок обминання деревини підкладок розподіл напружень σ_z став більш рівномірним без ділянок концентрації напружень. При цьому міцність деревини підкладок за змінанням поперек волокон навіть із сосни є забезпеченою.

Що стосується характеру розподілу та значень напружень σ_z на середній ділянці балки (між опорами), то вони залишилися незмінними (див. рис. 4 та рис. 8).

Висновки. На відміну від загально прийнятої умови про рівномірний розподіл поперечних нормальних напружень $\sigma_z = \sigma_{z,m,90}$ по довжині опори під балкою та використанню відповідної умови міцності у вигляді залежності (1) [4-8] теоретично він є нерівномірним з наявністю ділянок концентрації цих напружень, що викликають суттєві перенапруження деревини.

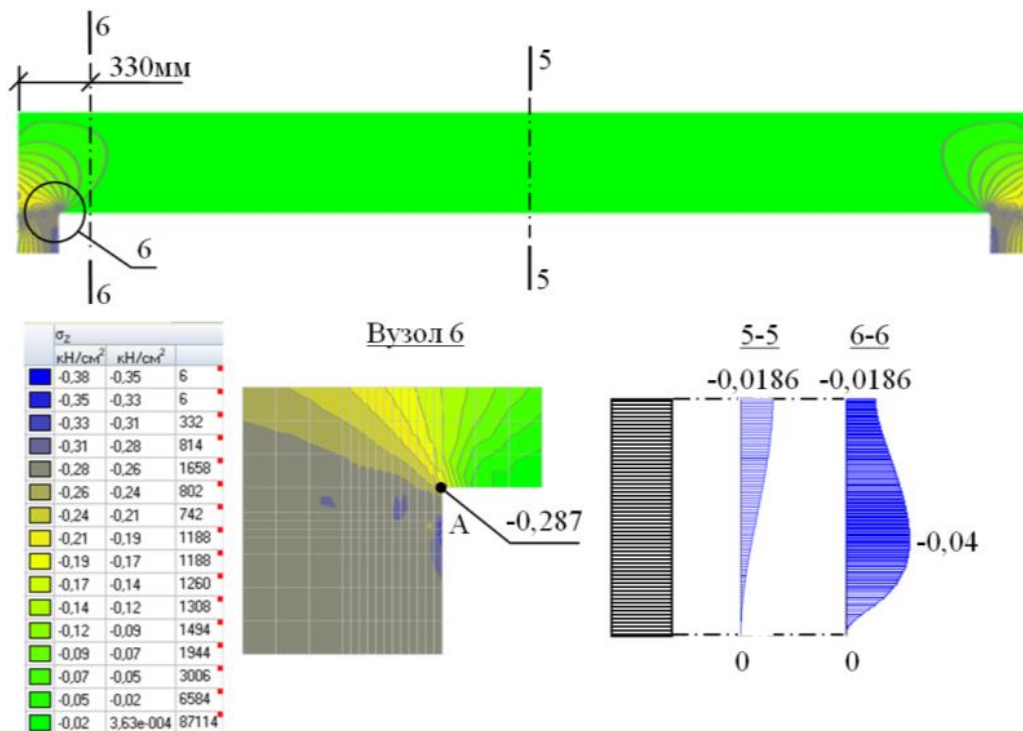


Рис. 8. Напруження σ_z , кН/см².

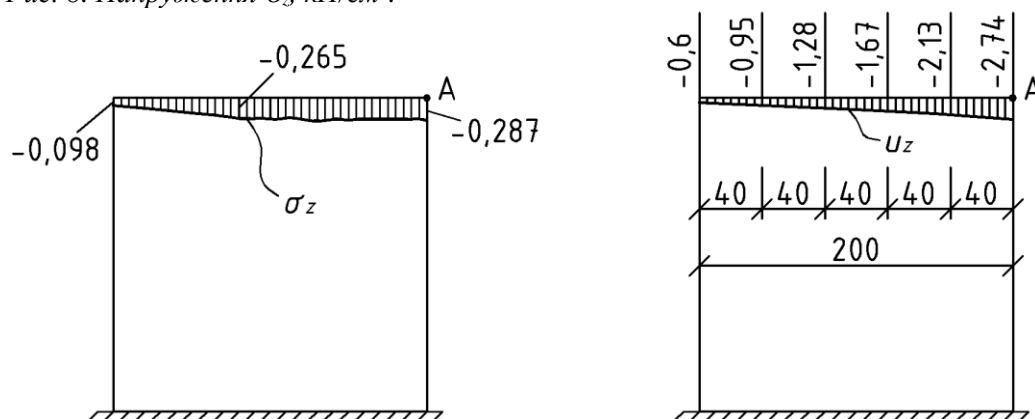


Рис. 9. Еюра напружень σ_z (кН/см²) та вертикальні переміщення u_z (мм) у підкладці вздовж лінії контакту з балкою.

В роботі виконано удосконалений розрахунок системи «балка-пружні підкладки», що урахує ортотропні властивості деревини балки та допускає зминання деревини підкладок поперек волокон, завдяки чому відбувається перерозподіл та вирівнювання напружень $\sigma_z = \sigma_{zm,90}$ по довжині взаємного контакту балки з опорними підкладками та виконання умови міцності деревини за зминанням поперек волокон. При цьому дещо зростають максимальні нормальні напруження в балці σ_x та прогин балки.

ЛІТЕРАТУРА:

1. СНиП II-25-80. Деревянные конструкции. Москва: Стройиздат, 1980. 65 с.
2. СП 64.13330.2017. СНиП II-25-80. Деревянные конструкции. Москва: 2017. 97 с.
3. ДБН В.2.6-161:2017 Дерев'яні конструкції. Основні положення. Київ: Мінрегіон України, 2017. 111 с.

REFERENCES:

1. SNiP II-25-80 Derevyannyye konstruksii. M.: Stroyizdat, 1980. 65 s.
2. SP 64.13330.2017. SNiP II-25-80 Derevyannyye konstruksii.M.: 2017. 97 s.
3. DBN V.2.6-161:2017 Dereviani konstruksii. Osnovni polozhennia. Kyiv: Minrehion Ukrainy, 2017. 111 s.

4. Бойтемиров Ф.А., Головина В.М., Улицкая Э.М. Расчет конструкций из дерева и пластмасс: Учеб. пособие. / Под ред. Ф.А. Бойтемирова. Москва: Издательский центр «Академия», 2006. 160 с.
5. Дмитриев П.А. Деревянные балки и балочные клетки: Учеб. пособие. Новосибирск: ППО «Печать», 1989. 161 с.
6. Калугин А.В. Деревянные конструкции: Учеб. пособие. Москва: Изд-во АСВ, 2003. 224 с.
7. Гомон С.С. Конструкції із дерева та пластмас. Практикум. Навчальний посібник. Рівне: НУВГП, 2012. 154 с.
8. Слицкоухов Ю.В., Гуськов И.М., Ермоленко Л.К., Освенский Б.А., Сидоренко А.С., Филимонов Э.В., Фролов А.Ю. Индустриальные деревянные конструкции. Примеры проектирования: Учеб. пособие. / под ред. Ю.В. Слицкоухова. Москва: Стройиздат, 1991. 256 с.
9. Перетяtko Ю.Г. Конспект лекций по курсу «Конструкции из дерева и пластмасс». Раздел: «Древесина – конструкционный материал». Харьков: ХИСИ, 1993. 120 с.
10. Перетяtko Ю.Г., Агеенко С.Б., Ляшенко І.Ю. Вплив виду опорних реакцій на змінання дерев'яної балки на опорах. Науковий вісник будівництва. Харків: ХНУБА, 2021. Т.104, № 2. С. 186-192.
11. Лехницкий С.Г. Теория упругости анизотропного тела. Москва: Наука, 1977. 416 с.
12. Ашкенази Е. К., Ганов Э.В. Анизотропия конструкционных материалов: Справочник. Ленинград: Машиностроение, 1980. 247 с.
13. Малмейстер А.К., Тамуж В.П., Тетерс Г.А. Сопротивление жестких полимерных материалов. Рига: Изд-во «Зинатне», 1967. 398 с.
14. Карпиловский В.С., Криксунов Э.З., Маляренко А.А., Перельмутер А.В., Перельмутер М.А. SCAD Office. Вычислительный комплекс SCAD. Москва: Изд-во СКАД СОФТ, 2011. 656 с.
15. Семенов А.А., Габитов А.И., Порываев И.А., Сафиуллин М.Н. Деревянные конструкции. Основы расчета с использованием ПК SCAD Office: Учебное пособие. Москва: Изд-во АСВ, Изд-во СКАД СОФТ, 2013. 248 с.
4. Boytemirov F.A., Golovina V.M., Ulitskaya E.M. Raschet konstruksiy iz dereva i plastmass: ucheb. posobie. / Pod red. F.A. Boytemirova. M.: Izdatelskiy tsentr «Akademiya», 2006. 160 s.
5. Dmitriev P.A. Derevyannyye balki i balochnyye kletki: Ucheb. posobie. Novosibirsk: PPO «Pechat», 1989. 161 s.
6. Kalugin A.V. Derevyannyye konstruksii: Ucheb. posobie. M.: Izd-vo ASV, 2003. 224 s.
7. Homon S.S. Konstruksii iz dereva ta plastmas. Praktykum. Navchalnyi posibnyk. Rivne: NUVHP, 2012. 154 s.
8. Slitskoukhov Yu.V., Huskov Y.M., Ermolenko L.K., Osvenskiy B.A., Sidorenko A.S., Filimonov E.V., Frolov A.Yu. Industrialnyye dereviannyje konstruksii. Primery proektirovaniya: Ucheb. Posobije / pod red. Yu.V. Slitskoukhova. Moskva: Stroyizdat, 1991. 256 s.
9. Peretyatko Yu.G. Konspekt lektsiy po kursu «Konstruksii iz dereva i plastmass». Razdel: «Drevesina – konstruksionnyiy material». Khar'kov: KhISI, 1993. 120 s.
10. Peretiatko Yu.G., Aheyenko S.B., Liashenko I.Yu. Vplyv vydu opornyh reaktsiy na zmyannja derevjanoyi balky na oporah. Naukovyi visnyk budivnytstva. Kharkiv: KhNUBA, 2021. T.104, № 2. S. 186-192.
11. Lekhnytskyi S.H. Teoriya uprughosty anizotropnoho tela. Moskva: Nauka, 1977. 416 s.
12. Ashkenazy E. K., Ganov E.V. Anizotropiya konstruksyonnykh materialov: Spravochnik. Leninhad: Mashinostroenie, 1980. 247 s.
13. Malmeister A.K., Tamuzh V.P., Teters H.A. Soprotivlenie zhestkikh polimernykh materialov. Riga: Izd-vo «Zinatne», 1967. 398 s.
14. Karylovskiy V.S., Kriksunov E.Z., Maliarenko A.A., Perelmuter A.V., Perelmuter M.A. SCAD Office. Vychislitelnyi kompleks SCAD. Moskva: Izd-vo SKAD SOFT, 2011. 656 s.
15. Semenov A.A., Habitov A.I., Poryvaev I.A., Safiullin M.N. Dereviannye konstruksii. Osnovy rascheta s ispolzovaniem PK SCAD Office: Uchebnoe posobie. Moskva: Izd-vo ASV, Izdatelstvo SKAD SOFT, 2013. 248 s.

Peretiatko Yu.G., Aheyenko S.B., Liashenko I.Yu. THE CONTACT PROBLEM OF THE WORK OF A WOODEN BEAM WITH SUPPORT PADS.

The object of the research is the work of a wooden beam of rectangular cross-section, resting on wooden supports. Traditionally, check crumple strength of wood across the fiber on the supports is based on the condition of a uniform transverse distribution of normal stress along the length of the contact beam with supports. Calculations of the stress-strain state of a beam with linings showed that the distribution of transverse normal stresses along the length of the contact of the beam with the supports is uneven with the presence of areas of concentration of these stresses and a significant overstress of wood. In this work, an improved calculation of the "beam-elastic linings" system has been carried out, which takes into account the orthotropic properties of the timber of the beam and allows crumple of the timber of the substrates across the fibers, whereby there is a redistribution and equalization of the normal transverse stresses along the length of mutual contact of the beam with support linings and that the condition of collapse strength of wood across the fibers. In this case, the maximum normal longitudinal stresses in the beam and the deflection of the beam increase slightly.

Key words: wooden beam, rectangular cross-section, stress-strain state, orthotropic properties of wood, crumple of support linings.