

УДК 624.011

*А.О. Буряк, магістр, аспірант;
Д.В. Михайловський, к.т.н., КНУБіА, м. Київ*

ОЦІНКА НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ПРИОПОРНИХ ЗОН БАЛОК З КЛЕЄНОЇ ДЕРЕВИНИ

АНОТАЦІЯ

Проведено аналіз чисельних досліджень напружено-деформованого стану балок з клеєної деревини за класичною розрахунковою схемою та при реальній роботі в конструкціях. Запропоновано методику врахування складного напруженого стану клеєної деревини в приопорних зонах балок.

Ключові слова: клеєна деревина, балки, напружено-деформований стан.

Вступ. Деревина, як відомо, є одним з небагатьох самовідтворюваних природних матеріалів, застосовуваних у практиці сучасного будівництва. Особливо широке розповсюдження вона отримала в новій якості — у вигляді конструкцій склеєних з дощок. Висока питома міцність, незначна вага, низькі теплопровідність і коефіцієнт лінійного розширення, високі виробничі показники роблять використання конструкцій з клеєної деревини більш перспективними. При цьому вони особливо виграють в порівнянні з традиційними матеріалами (сталлю і залізобетоном) при особливих умовах експлуатації, в агресивних середовищах, а також у спорудах, які забезпечують радіопрозорість і магнітну проникність.

Значного розповсюдження в останній час набувають конструкції з клеєної деревини (ККД). Клеєна деревина акумулює в собі позитивні якості деревини і максимально нівелює негативні властивості. Балки є найпростішими, найбільш технологічними із всіх видів ККД.

Постановка проблеми. Багаторазово в різних наукових публікаціях міститься висловлювання про необхідність удосконалення методу розрахунку ККД з урахуванням анізотропії фізико-механічних властивостей та дійсного напруженого стану матеріалу. Більш конкретно це завдання можна сформулювати як розробку методики розрахунку балочних ККД з урахуванням складного напруженого стану (СНС) матеріалу. Існує нагальна необхідність уточнення деяких положень

чинних норм проектування, з метою усунення недосконалостей методик розрахунку ККД з точки зору забезпечення необхідної міцності матеріалу.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Тематика статті відповідає науково-технічному напрямку в оцінці технічного стану будівель та споруд згідно з постановою Кабінету Міністрів України №409 від 05.05.1999 р., та у забезпеченні надійності й безпеки будинків, споруд і комунікацій за постановою Кабінету Міністрів України №1313 від 20.08.2000 р.

Цілі статті. Основна мета даної публікації полягає в уточненні методики розрахунку балок з урахуванням реальних конструктивних рішень обпирання.

Виклад основного матеріалу. Всім ККД, в тому числі і клеєним балкам, притаманні не властиві для традиційних ДК форми і розміри поперечних перерізів, а також співвідношення цих розмірів h/b , h/l та ін. Збільшена відносна висота ($h/l = 1/8...1/12$, $h/b = 4...8$) поперечних перерізів сприяє зниженню матеріаломісткості балок з клеєної деревини порівняно з цільними. Високотемпературна сушка дощок стерилізує деревину, що збільшує біостійкість конструкцій. Використання для склеювання балок водостійких синтетичних клеїв розширює області застосування цих конструкцій щодо різноманітних умов експлуатації.

Клеєні балки застосовують в несучих конструкціях покриттів, перекриттів холодних і опалюваних будівель. Балки відносяться до класу безрозпірних плоских конструкцій. Сучасні клеєні балки діляться на дві основні групи:

1. Клеєдощаті масивні, що складаються з пакетів дощок, склеєних між собою в основному по пласту з плоско-паралельним розташуванням шарів.
2. Клеєфанерні тонкостінні, що складаються з дощатих поясів і приклеєних до них стінок з водостійкої фанери.

У другій половині XIX ст. в різних країнах світу уточнювалися розрахунки балок. Вітчизняні інженери та вчені багато зробили для розвитку теорії їх розрахунку і практичного застосування.

Елементи ККД масового застосування найчастіше працюють на згин або стиск зі згином, тобто знаходяться в умовах складного напружено-деформованого стану (НДС). Тому найбільший практичний інтерес представляє розгляд і аналіз цих видів НДС-конструкцій.

Питанню впливу анізотропії фізико-механічних властивостей деревини на її міцність, а відповідно і

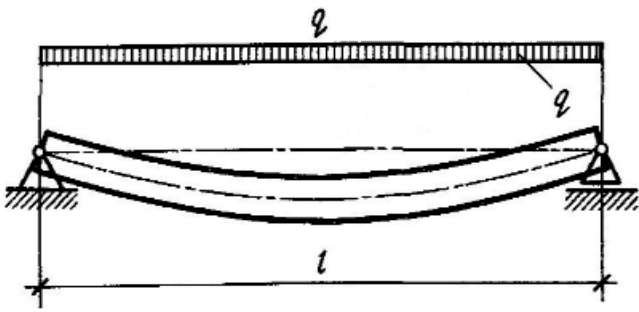


Рис. 1. Класична розрахункова схема балки, яка працює на згинання

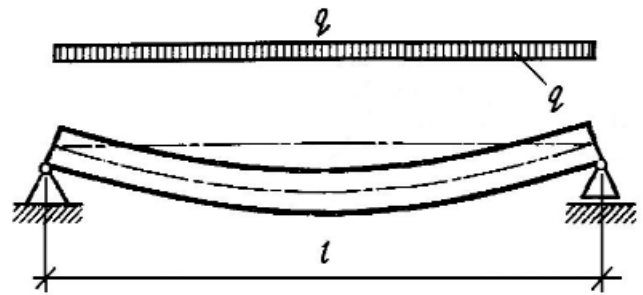


Рис. 2. Дійсна розрахункова схема балки, яка працює на згинання

несучу здатність, присвячено багато наукових робіт. В роботах [1–4, 7] стверджується, що анізотропія властивостей не суттєво впливає на величини напружень у головних напрямках пружної симетрії. В роботах О.К. Ашкеназі, докладно розглянуто закономірності механічної анізотропії деревини і фанери при складних НДС. На початку 80-х років минулого століття на підставі аналізу чисельних публікацій і аварій ККД, рядом вчених, особливий напружений стан клеєної деревини визначено як складний напружений стан (СНС), який характеризується різним сполученням в небезпечному місці нормальних, дотичних і поперечних напружень. При СНС міцність клеєної деревини різко знижується.

Дослідження [1, 5, 6] показали, що плоский напружений стан в сучасних клеєних балках досягає граничного значення, в першу чергу в приопорних зонах. В цих місцях виникає небезпечне сполучення нормальних напружень вздовж волокон, сколюючих за поперечних напружень.

Відомо, що клеєній деревині, порівняно з цільною, притаманна висока ступінь анізотропії, особливо при розтязі поперек волокон. Це обумовлено підвищенням однорідності, а отже і всіх механічних характеристик матеріалу вздовж волокон, і навпаки — збереженням їх (в кращому випадку), а частіше — погіршенням в поперечному напрямку.

Дана робота присвячена чисельним дослідженням проведеним для балок з клеєної деревини з використанням класичної (балка Б-1) та дійсної (реальної) (балка Б-2) розрахункових схем (рис. 1, 2). До розгляду брались балки з постійною шириною $b=15$ см, висотою $h=40$ см і прольотом $L=6$ м, з рівномірно розподіленим навантаженням $q=5$ кН/м.

Розрахунок проводився за допомогою багатofункціонального програмного комплексу "ПК ЛІРА". В якості граничних умов приймалося шарнірно нерухоме обпирання балок з одного бо-

ку та шарнірно рухоме обпирання на другій опорі. На рис. 3.1-3.3 наведені поля напружень (δ_x , δ_y , δ_{xy}) при закріпленні балки за умовами класичного закріплення балки по нейтральній осі. На рис. 4.1-4.3 наведено ізополі напружень при обпиранні балок в реальній конструкції через опорні подушки.

На рис. 5.1-5.5 наведено епюри всіх напружень в середині прольоту і в приопорних зонах на відстанях 15см і 35см від краю балки за обома варіантами.

Різниця максимальних нормальних напружень в розрахунковому перерізі становить до 2...4 %, що дозволяє в інженерній практиці застосовувати спрощену розрахункову модель (нехтувати реальним — фактичним обпиранням балок).

Суттєво змінюється НДС в приопорних зонах балок. Навіть дотичні напруження вже важко описати класичною формулою Журавського Д.І. Окрім цього, в приопорних зонах при моделюванні реального обпирання спостерігається поява дуже небезпечних для дерев'яних конструкцій напружень поперек волокон (особливо розтягу).

Для реальної оцінки НДС в приопорних зонах балок необхідно моделювати реальні умови обпирання і проводити аналіз і перевірку СНС. Клеєдоцяті балки розраховуються як елементи цільного перерізу. Оцінка міцності нормальних напружень проводиться за формулою:

$$\delta_{m,d} = M_d / W \leq f_{m,d} k_h / \gamma_n$$

Максимальні нормальні напруження δ_{max} зазвичай виникають поза перерізом, де діє M_{max} . Місце розташування перерізу з δ_{max} залежить від основних геометричних параметрів балки ($h_{оп}$, $b_{оп}$, l , і та ін.) і характеру навантажень на неї.

Також обов'язково для балочних конструкцій перевіряти сколюючі (дотичні) напруження в опорному перерізі:

$$\tau = QS / Ib.$$

Для деревини, яка володіє яскраво вираженими анізотропними властивостями, перевірка на міц-

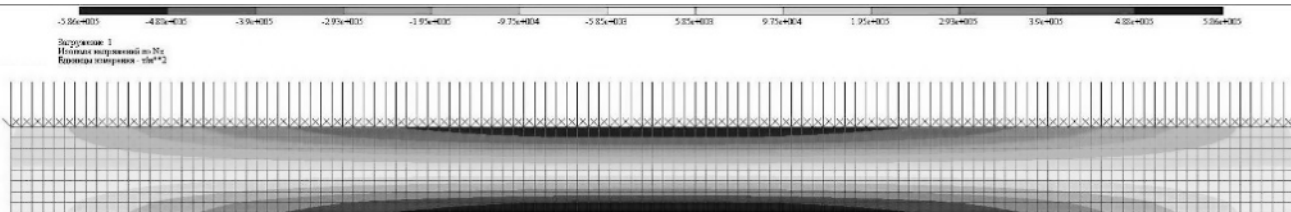


Рис. 3.1. Поля напряжень δ_x балки Б-1

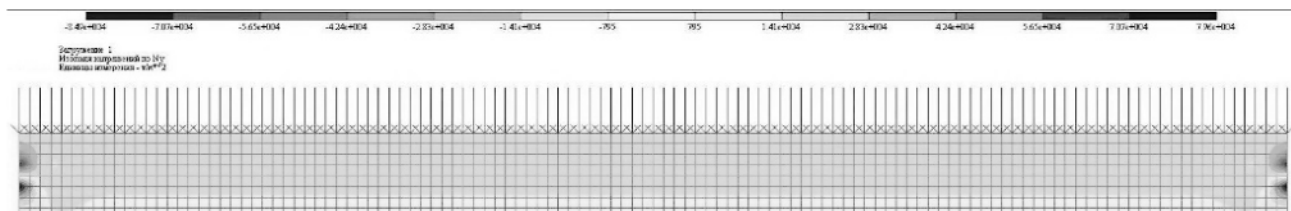


Рис. 3.2. Поля напряжень δ_y балки Б-1

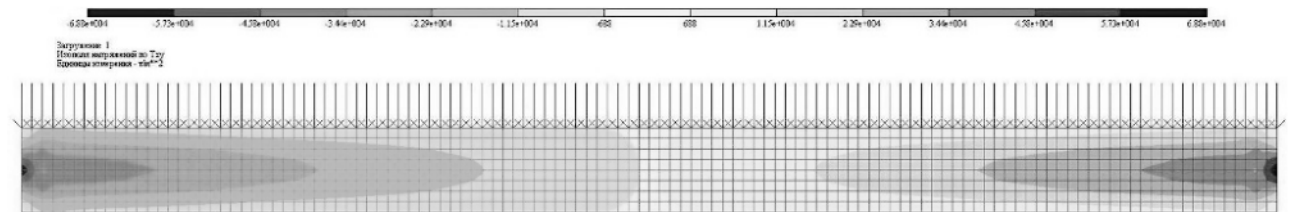


Рис. 3.3. Поля напряжень δ_{xy} балки Б-1

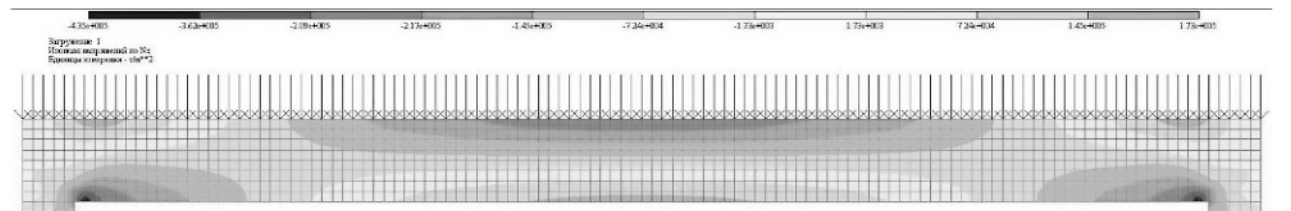


Рис. 4.1. Поля напряжень δ_x балки Б-2

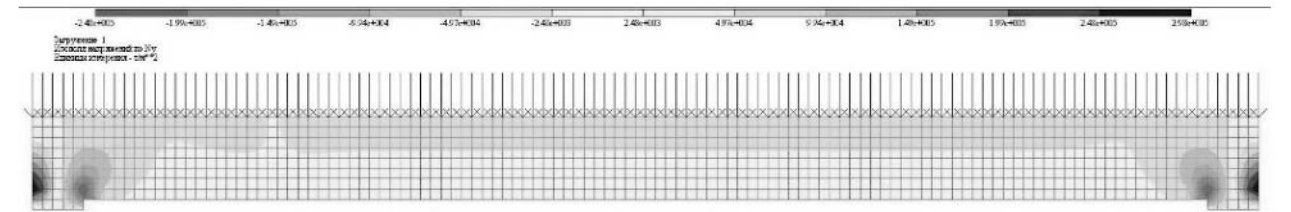


Рис. 4.2. Поля напряжень δ_y балки Б-2

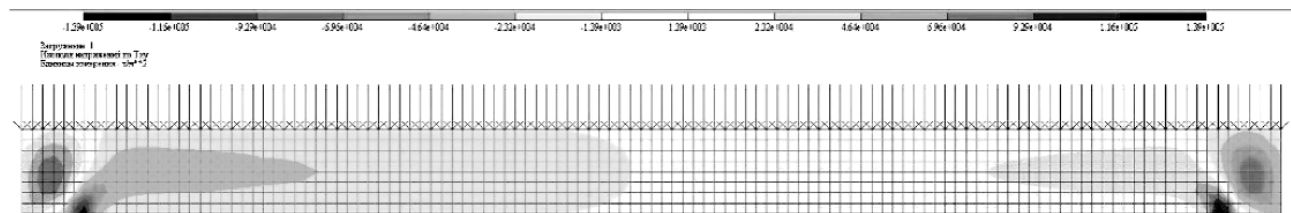


Рис. 4.3. Поля напряжень δ_{xy} балки Б-2

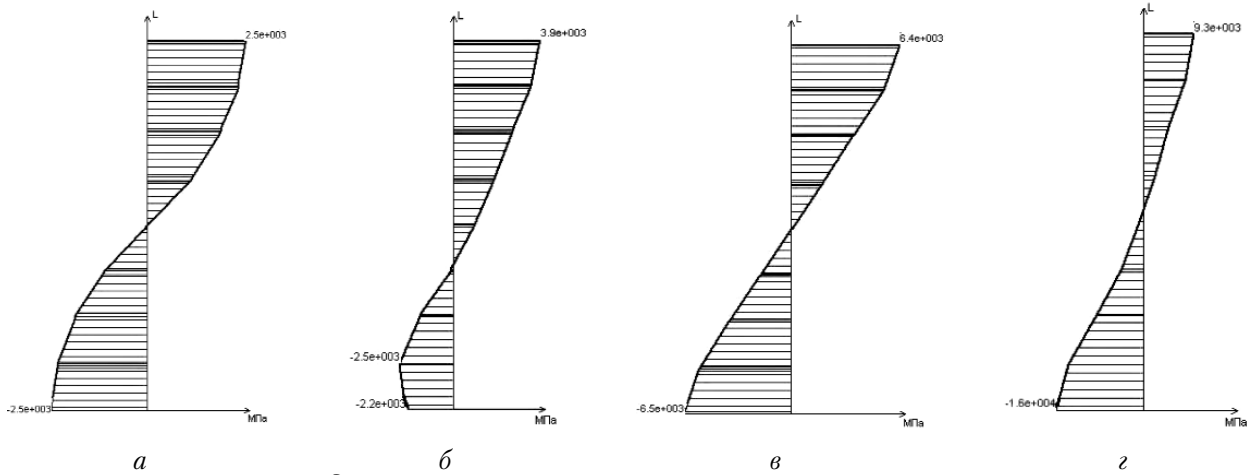


Рис. 5.1. Епюри напружень δ_x : а – балки Б-1 на відстані 15см від краю балки; б – балки Б-2 на відстані 15см від краю балки; в – балки Б-1 на відстані 35см від краю балки; г – балки Б-2 на відстані 35см від краю балки

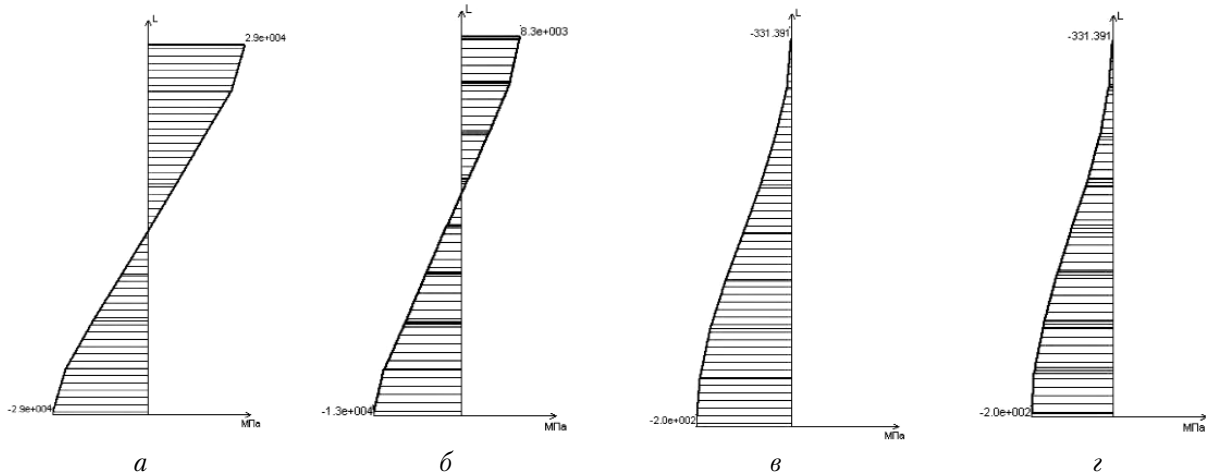


Рис. 5.2. Епюри напружень: а – δ_x балки Б-1 в середині прольоту; б – δ_x балки Б-2 в середині прольоту; в – δ_y балки Б-1 в середині прольоту; г – δ_y балки Б-2 в середині прольоту

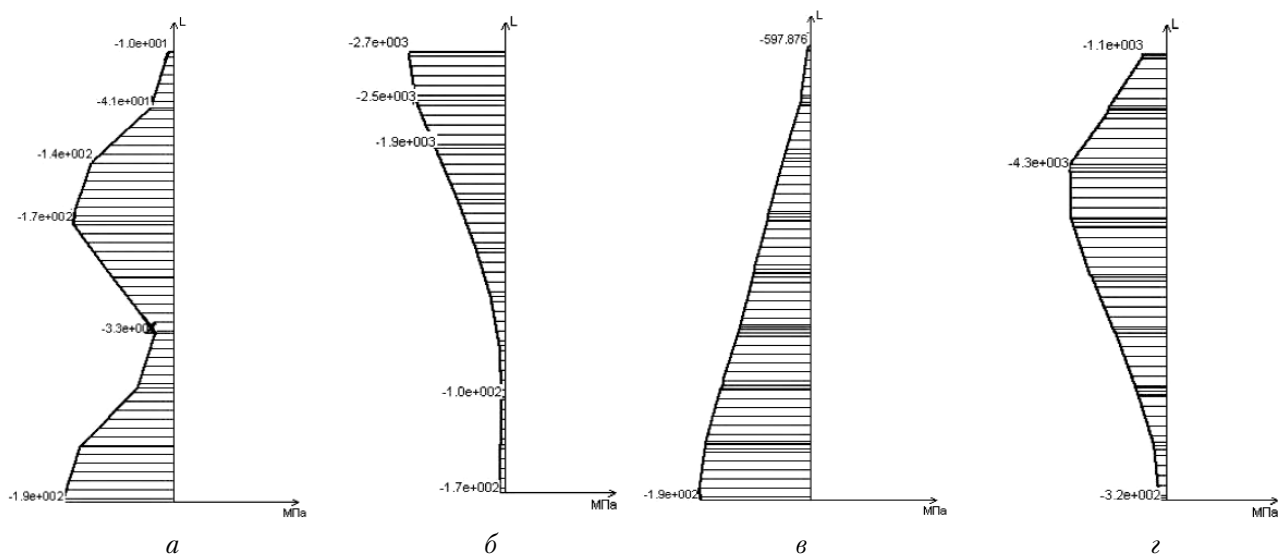


Рис. 5.3. Епюри напружень δ_y : а – балки Б-1 на відстані 15см від краю балки; б – балки Б-2 на відстані 15см від краю балки; в – балки Б-1 на відстані 35см від краю балки; г – балки Б-2 на відстані 35см від краю балки

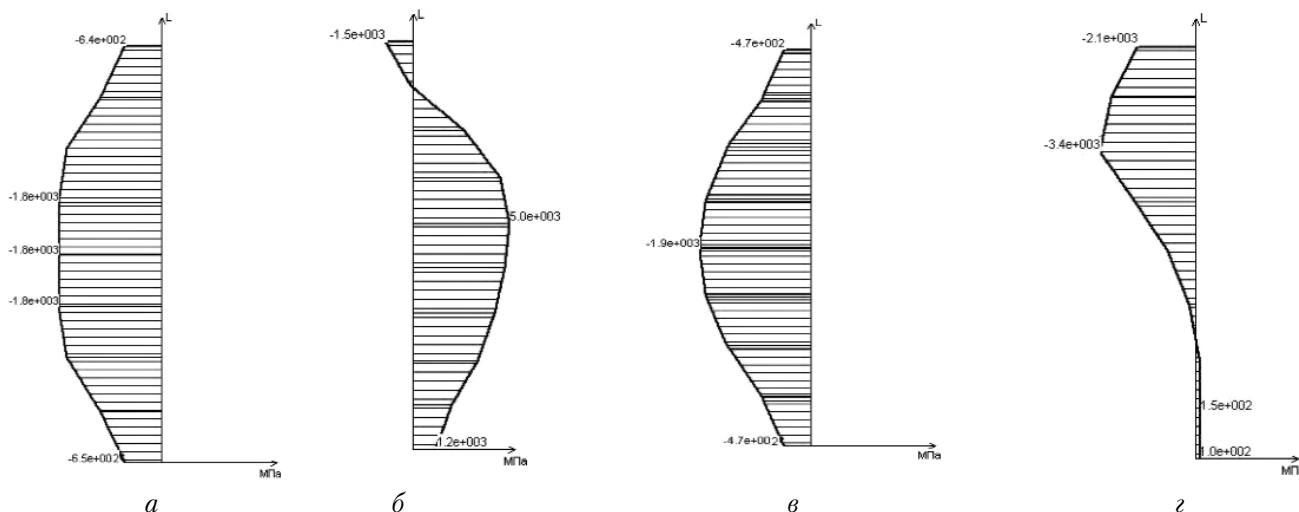


Рис. 5.4. Епюри напружень δ_{xy} : а – балки Б-1 на відстані 15см від краю балки; б – балки Б-2 на відстані 15см від краю балки; в – балки Б-1 на відстані 35см від краю балки; г – балки Б-2 на відстані 35см від краю балки

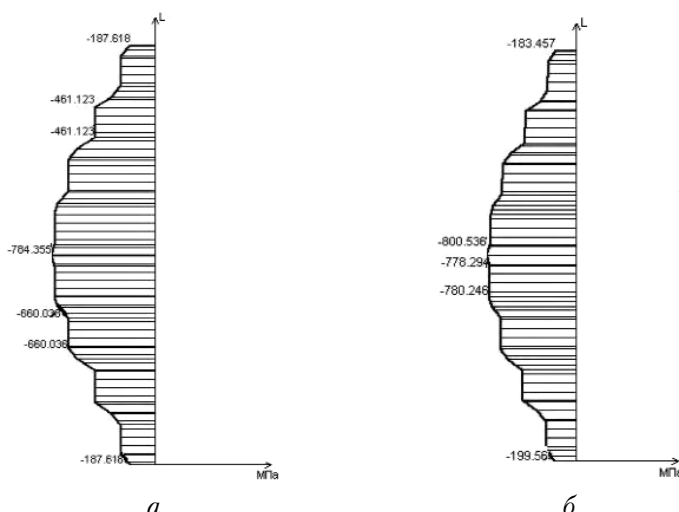


Рис. 5.5. Епюри напружень δ_{xy} : а – балки Б-1 в середині прольоту; б – балки Б-2 в середині прольоту

ність по дотичним напруженням вкрай необхідна.

Максимальні нормальні напруження в балках, що працюють на згин мають крайовий ефект (максимальні напруження виникають у верхньої та нижньої граней поперечного перерізу), що відображено на епюрах "д" на рис. 5.1. При цьому між волокнами такого неоднорідного матеріалу, як деревина, особливо в клеєній деревині, виникають дотичні напруження, спрямовані по тій же осі, що і нормальні стискаючі і дотичні напруження, що викликані згинальним моментом. Ці дотичні напруження ніби намагаються розколоти балку на окремі шари, кожен з яких буде працювати як окрема балка. Різниця ж несучої здатності між окремо взятими шарами і цілісною балкою очевидна. Наприклад, якщо взяти пачку паперу хоч в 500 аркушів, то зігнути таку пачку – пара дрібниць, а якщо склеїти всі аркуші, тобто шари балки між со-

бою, то ми отримаємо суцільний елемент, а його вже зігнути буде набагато важче. Але між склеєними листами і будуть виникати ті самі, умовно кажучи, нормальні дотичні напруження.

В припорних зонах балок спостерігається одночасна дія нормальних напружень вздовж волокон, дотичних (сколюючих) та нормальних напружень поперек волокон. Ці зони балок обов'язково слід перевіряти на сумісну дію всіх компонентів напруженого стану за умовою міцності при СНС:

$$\left(\frac{\sigma_{c(t),0,d}}{f_{c(t),0,d}}\right)^2 + \left(\frac{\tau_{v,d}}{f_{v,d}}\right)^2 \cdot A_{c(t)} + \left(\frac{\sigma_{c(t),90,d}}{f_{c(t),90,d}}\right)^2 \cdot B_{c(t)} \leq 1$$

де $A_{c(t)}$ і $B_{c(t)}$ – коефіцієнти, що враховують рівень нормальних напружень вздовж волокон та анізотропію фізико-механічних властивостей деревини.

Аналітичні формули на сьогодні не дають змо-

гу отримати реальні значення окремих напружень при СНС, тому при визначенні значень окремих напружень слід користуватись сучасними програмними комплексами, такими як LIRA, ANSYS, Nastran тощо.

При перевірці СНС за запропонованою умовою міцності, слід виконувати пошук небезпечного місця, в якому ліва частина формули досягає максимального значення при різних комбінаціях напружень у зонах поперечного перерізу вище і нижче нейтральної осі.

Провівши відповідні перевірочні розрахунки було визначено, що при довжині балки $L=6$ м нерівність перестає виконуватись на відстані $h_1=3...4$ см від нейтральної осі і в інтервалі $x=15...39$ см від краю балки. Отже, можна зазначити, що чим ближче до "нейтрального" шару балки, тим небезпечніший СНС спостерігається в приопорній зоні. І саме в цих місцях ми можемо спостерігати руйнування і розслоювання шарів балки.

Висновки. Проведені чисельні дослідження показали, що застосування класичної теорії опору матеріалів можливе лише для попереднього аналізу загальної міцності і жорсткості балочних конструкцій в прольоті, в зоні, де діє максимальний згинальний момент. Для аналізу СНС (зони, де виникають небезпечні напруження поперек волокон) класичної теорії недостатньо для забезпечення надійної роботи, необхідна обов'язкова оцінка дійсного НДС з врахуванням дійсних умов обпирання балок та анізотропії властивостей клеєної деревини.

ЛІТЕРАТУРА

1. Серов Е.Н. Рациональное использование анизотропии прочности материалов в клееных деревянных конструкциях массового изготовления: дис. д-р техн. наук / Е. Н. Серов. — Л., 1988. — 521 с.
2. Космодамианский А. С. Изгиб анизотропной балки под действием равномерной нагрузки / А.С. Космодамианский // Учен. зап. Ростовского гос. ун-та, 1955. Вып. 32, № 4. — С. 75-94.
3. Серов Е.Н. Проблемы совершенствования методов оценки прочности клееных деревянных конструкций / Е. Н. Серов // Расчет и компьютерное

проектирование деревянных конструкций. Матер. Всесоюзного семинара. — Владимир-Суздаль, 1991. — С. 17–19.

4. Хатин А. В. О разрушении клеодошчатых балок увеличенной высоты / А. В. Хатин // Конструкции из клеёной древесины и пластмасс: межвуз. темат. сборник трудов ЛИСИ. — Л., 1979 — С. 19–25.

5. Светозарова Е.И. Некоторые вопросы совершенствования клееных деревянных конструкций в процессе изготовления / Светозарова Е.И., Серов Е.Н., Лабудин Б.В. // Изв. вузов. Лесной журнал. — Архангельск. — 1985. — №2. — С. 65–68.

6. Серов Е.Н. Напряженное состояние и прочность деревянных клееных элементов ломаного очертания / Серов Е.Н. // Повышение долговечности и надежности строительных конструкций: межвуз. темат. сб. тр.; ЛИСИ. — Л., 1977. — С. 18–29.

7. Серов Е.Н. Прочность деревянных конструкций в сложном напряженном состоянии / Серов Е.Н., Мелешко Л., Орлович Р. // Дерево и древесные материалы в строительных конструкциях: матер. международной научн. конференции. — Щецын, 1999. — С. 83–89

АННОТАЦИЯ

Проведен анализ численных исследований напряженно-деформированного состояния балок из клееной древесины по классической расчетной схеме и при реальной работе в конструкциях. Предложена методика учета сложного напряженного состояния клееной древесины в приопорных зонах балок.

Ключевые слова: клееная древесина, балки, напряженно-деформированное состояние.

ANNOTATION

The analysis of numerical studies of the stress-strain state of beams made of laminated wood in a classic design scheme and when the real work in constructions. Proposed a method calculating the complex state of stress laminated wood beams in the support zones.

Keywords: laminated wood, beams, complex state of stress, support zone.