

**ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПОВТОРНИХ НАВАНТАЖЕНЬ НА НАПРУЖЕНИЙ СТАН ТА НЕСУЧУ ЗДАТНІСТЬ БАЛОК ІЗ КЛЕЄНОЇ ДЕРЕВИНИ**

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПОВТОРНЫХ НАГРУЗОК НА НАПРЯЖЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И НЕСУЩУЮ СПОСОБНОСТЬ БАЛОК С КЛЕЕНОЙ ДРЕВЕСИНЫ**

**RESEARCH STRESS-STRAIN STATE FOR THE ACTIONS OF REPEATED LOAD ON THE BEARING CAPACITY OF THE BOARD-GLUED WOODEN BEAMS**

**Гомон С.С., к.т.н., проф.,** (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне) **Сасовський Т.А., викладач будівельних дисциплін** (ВСП «Рівненський коледж НУБіП України»)

**Гомон, С.С., к.т.н., проф.,** (Национальный университет водного хозяйства и природопользования, г. Ровно) **Сасовский Т.А., преподаватель строительных дисциплин** (ВСП «Ровенский колледж НУБіП Украины»)

**Gomon S.S., candidate of technical sciences, professor,** (National University of Water Management and Environmental Engineering, Rivne) **Sasovskiy T.A., lecturer construction disciplines** (Separated structural subdivision «Rivne College National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine», Rivne)

**Наведені результати експериментальних досліджень згинальних елементів із клеєної деревини за дії повторних навантажень. Встановлено вплив повторних навантажень на напружений стан та несучу здатність балок із клеєної деревини.**

**Представлены результаты экспериментальных исследований изгибаемых элементов из клееной древесины за действия повторных нагрузок. Установлено влияние повторных нагрузок на напряженное состояние и несущую способность балок из клееной древесины.**

**The experimental results of bending elements made of glued wood beams for the actions of repeated loads. The effect of repeated impact loads on the stress state and carrying capacity of board-glued wooden beams.**

**Ключові слова:**

Деревина, дощатоклеєні балки, стиск, розтяг, напруження.

Древесина, балки из клееной древесины, сжатие, растяжение, напряжения.

Wood, board-glued beams, compression, tension.

**Стан питання та задачі дослідження.** В чинних нормах проектування дерев'яних конструкцій із цільної та клеєної деревини [1,2,3,4], які діють на теренах різних держав, ніяким чином не враховано дія повторних навантажень. В розрахунковій моделі поперечного перерізу даних норм при визначенні несучої здатності, прийнята та ж трикутна епюра напружень у стиснутій і в розтягнутій зонах деревини як і за дії одноразових навантажень. За таких епюр висота стиснутої зони деревини та положення нейтральної лінії не відповідають дійсному їх положенню і не дає можливості розглядати і встановлювати напружено-деформований стан нормального перерізу елемента на різних стадіях роботи. Уникнути цих недоліків можна шляхом прийняття криволінійної епюри напружень у деревині стиснутої зони, що в більшій мірі відповідає дійсній роботі поперечних перерізів згинальних елементів з деревини.

Виходячи з наведеного, подальше дослідження роботи балок з клеєної деревини за дії повторних навантажень та розробка методики встановлення напружено-деформованого стану на основі деформаційної моделі є задачею актуальною і необхідною для подальшого розвитку теорії розрахунку конструкцій з деревини.

**Метою даної роботи є** встановлення впливу повторних навантажень на напружено-деформований стан в нормальному перерізі елементів з деревини на різних етапах завантажень. Пропонується вважати руйнуванням елемента з деревини у момент, коли деформації в найвіддаленішій точці від нейтральної лінії розтягнутої чи стиснутої зони досягають граничного значення.

**Методика досліджень.** З огляду на зазначену мету були проведені експериментальні дослідження і проаналізовано напружено-деформований стан роботи балок із клеєної деревини БДК-4, БДК-5, БДК-6, БДК-7, БДК-8, БДК-9 за дії повторних короткочасних навантажень різних режимів, які досліджувалися в лабораторії кафедри промислового, цивільного будівництва та інженерних споруд Національного університету водного господарства та природокористування.

**Основна частина.** Для проведення експериментальних досліджень була прийнята статична схема - балка на двох опорах, прольотом 3 м, завантажена двома симетрично зосередженими силами, відстань між якими складала 900мм. Зовнішнє зусилля створювалося за рахунок домкрата, а величина навантаження фіксувалося динамометром. Навантаження на балку прикладалося ступенями по (0,1...0,15) від орієнтовного руйнівного зусилля. [5].

Для вимірювання деформацій деревини балок з клеєної деревини були наклеєні тензодатчики у верхній, нижній зонах балок, а також по висоті бічних поверхонь в зоні чистого згину.

**Зразки БДК-4 та БДК-5.** Зразки БДК-4 та БДК-5 випробовувались в режимі малоциклових навантажень  $(0,2-0,4)M_p$ , тобто зразки працювали в діапазоні навантажень, які створювали режим роботи від  $0,2 M_p=5,4 \text{ кН}\cdot\text{м}$  до  $0,6M_p=10,8\text{кН}\cdot\text{м}$ , за приросту моменту на кожній ступені прикладення навантаження  $\Delta M_p=2,6\text{кН}\cdot\text{м}$  на кожному циклі завантаження-розвантаження.

Дослідження напруженого стану балок проводимо порівнянням напружень найбільш віддалених шарів деревини стиснутої зони балок. За всіх рівнів навантажень роботи балки з клееної деревини БДК-5 найбільші напруження розтягу спостерігаються в найбільш віддаленому шарі розтягнутої зони елемента, а значення можна встановити з рис. 1. та рис. 2. Порівняння проводимо для першого та останнього циклу малоциклового завантаження. Максимальні ж відносні напруження стиснутої зони для балки БДК-5 за навантажень нижнього рівня  $M=0,2M_p$  максимальні відносні напруження стиснутої зони на першому циклі випробування становили  $\sigma_{c,d,max,1} = 16,56\text{МПа}$  (рис.1.). Відповідно максимальні напруження стиснутої зони для п'ятдесятого циклу завантаження склали  $\sigma_{c,d,max,50} = 16,55\text{МПа}$ . Приріст значень найбільших напружень стиснутої деревини між циклами за рівня навантажень  $M=0,2M_p$  становить 1,75%.

В той же час за навантажень рівня  $M=0,4M_p$  максимальні відносні напруження стиснутої зони на першому циклі випробування становили (рис.2.)  $\sigma_{c,d,max,1}=33,11 \text{ МПа}$ . Відповідно максимальні напруження стиснутої зони для десятого циклу завантаження склали  $\sigma_{c,d,max,50} = 33,34\text{МПа}$ . Приріст напружень найбільш стиснутої деревини між циклами становить лише 1,4%. У відповідності до отриманих експериментальних даних видно, що балка з клееної деревини марки БДК-5 за режиму роботи  $M=(0,2-0,4)M_p$  працює в межах II стадії напружено-деформованого стану з максимальними напруженнями стиску  $\sigma_{c,d,max,50}=33,34\text{МПа}$  на п'ятдесятому циклі завантаження, але це не перевищило тимчасового опору деревини стиску  $f_{i,T} = 49,4\text{МПа}$ .

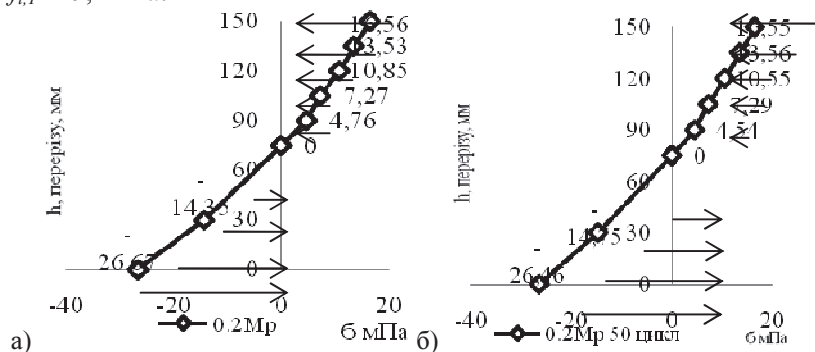


Рис.1. Розвиток напружень стиснутої та розтягнутої деревини за мало циклового навантаження дощато-клеєної балки марки БДК-5 в зоні чистого згину за рівня навантажень  $M=0,2M_p$ : а) на першому циклі, б) на п'ятдесятому циклі

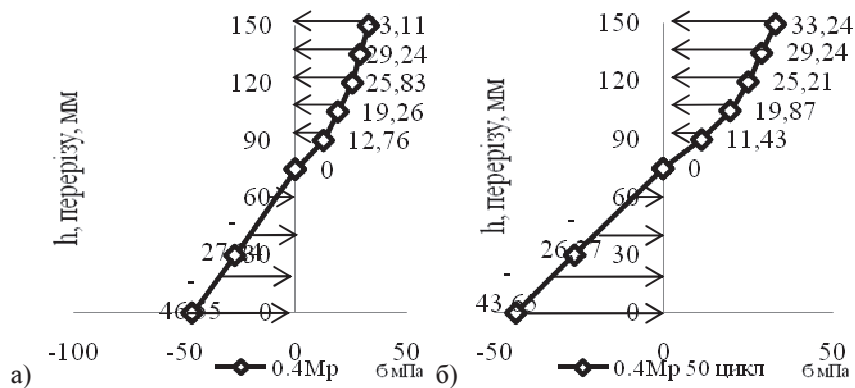


Рис. 2. Розвиток напружень стиснутої та розтягнутої деревини за дії малоциклового навантаження дощато-клеєної балки марки БДК-5 в зоні чистого згину за рівня навантажень  $M=0,4M_p$ : а) на першому циклі, б) на десятому циклі

**Зразки БДК-6 та БДК-7.** Зразки БДК-6 та БДК-7 випробовувалися за повторних навантажень в діапазоні  $(0,2-0,6)M_p$ , тобто зразки працювали за рівнів навантажень, які створювали режим роботи від  $0,2M_p=5,4 \text{ кН}\cdot\text{м}$  до  $0,6M_p=16,2 \text{ кН}\cdot\text{м}$ , за приросту моменту на кожній ступені прикладення навантаження  $\Delta M_p=0,26 \text{ кН}\cdot\text{м}$  на кожному циклі завантаження-розвантаження.

Дослідження напруженого стану балок проводимо порівнянням напружень найбільш віддалених шарів деревини стиснутої зони балок. Порівняння проводимо для першого та останнього циклу малоциклового завантаження.

Аналіз проводимо на роботі балки марки БДК-7. За всіх рівнів навантажень роботи балки з клеєної деревини БДК-7 найбільші напруження розтягу спостерігаються в найбільш віддаленому шарі розтягнутої зони елемента, а значення можна встановити з рис. 3., рис. 4. та рис. 5. В балці БДК-7 за навантажень нижнього рівня  $M=0,2M_p$  максимальні відносні напруження стиснутої зони на першому циклі випробування становили  $\sigma_{c,d,max,1} = 20,81 \text{ МПа}$  (рис. 3.).

Відповідно максимальні напруження стиснутої зони для п'ятисотого циклу завантаження склали  $\sigma_{c,d,max,500} = 27,32 \text{ МПа}$ . Приріст максимальних напружень стиснутої деревини між циклами становить 23,82 %.

В той же час за навантажень в балці рівня  $M=0,4M_p$  максимальні відносні напруження стиснутої зони на першому циклі випробування досягли значень (рис. 4.)  $\sigma_{c,d,max,1} = 39,26 \text{ МПа}$ , і на п'ятисотому циклі завантаження вони зросли до  $\sigma_{c,d,max,500} = 45,39 \text{ МПа}$ . Приріст напружень стиснутої деревини між циклами за цей проміжок становить 13,51%.

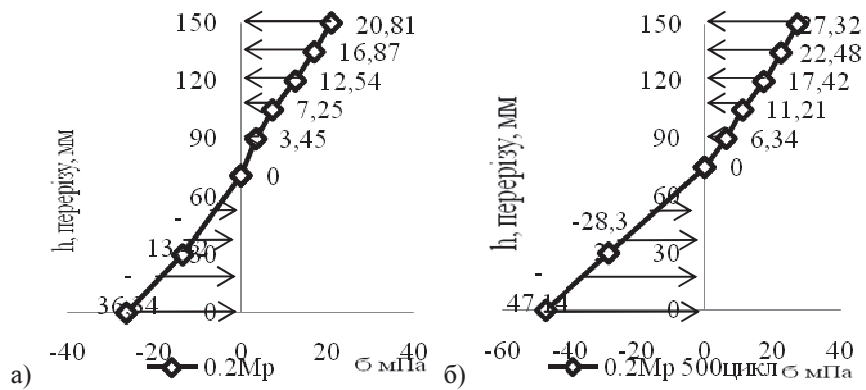


Рис. 3. Розвиток напружень стиснутої та розтягнутої деревини за дії циклового навантаження балки з клеєної деревини марки БДК-7 в зоні чистого згину за рівня навантажень  $M=0,2M_p$ : а) на першому циклі, б) на п'ятисотому циклі

За рівня навантажень  $M=0,6M_p$  максимальні відносні напруження стиснутої зони на першому циклі випробування становили  $\sigma_{c,d,max,1} = 42,78$  МПа та вони зросли на п'ятисотому циклі завантаження до  $\sigma_{c,d,max,500} = 48,34$  МПа (рис. 5.). Приріст максимальних напружень стиснутої деревини між циклами становить 11,51%.

Отримані значення напружень в стиснутій зоні деревини по значеннях відносних деформацій отриманих за датчиками №11,13,15,17,19,21 для балки з клеєної деревини марки БДК-7 наведено в таблиці 1.

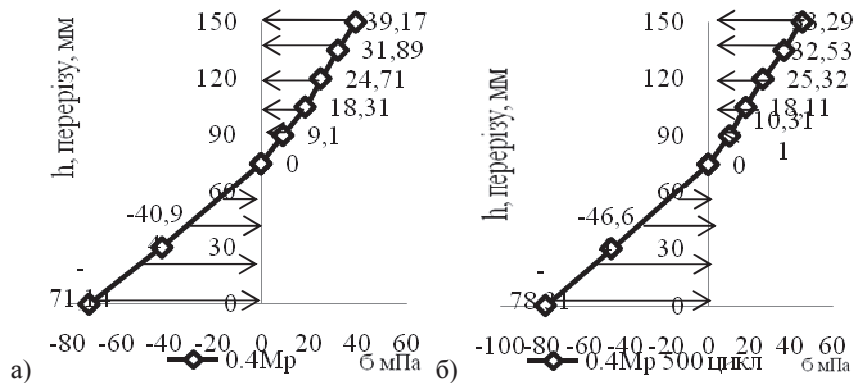


Рис. 4.– Розвиток напружень стиснутої та розтягнутої деревини за мало циклового навантаження дощато-клеєної балки марки БДК-7 в зоні чистого згину за рівня навантажень  $M=0,4M_p$ : а) на першому циклі, б) на п'ятисотому циклі

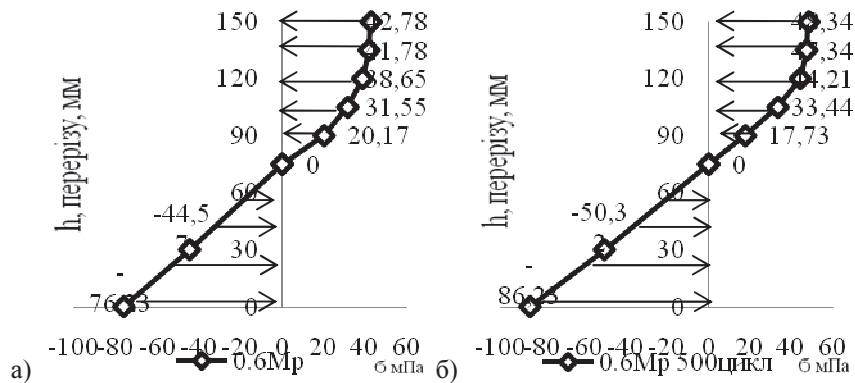


Рис. 5.– Розвиток напружень стиснутої та розтягнутої деревини за мало циклового навантаження дощато-клеєної балки марки БДК-7 в зоні чистого згину за рівня навантажень  $M=0,6M_p$ : а) на першому циклі, б) на п'ятисотому циклі

В балці БДК-7 за режиму роботи  $M=0,2M_p$  на висоті крайнього волокна поперечного перерізу спостерігаємо максимальні напруження  $\sigma_{c,d,max,1}=20,81\text{МПа}$  на першому циклі та  $\sigma_{c,d,max,500}=27,32\text{МПа}$  на п'ятисотому циклі завантаження. Балка вже на цьому рівні працює за II стадії напружено-деформованого стану, спостерігається невеликий приріст пластичних деформацій у деревині стиснутої зони, епюри напружень у цій зоні викривлюються, але зберігають форму близьку до трикутної, а крайові напруження не досягають тимчасового опору міцності деревини на стиск. За режимів навантажень  $M=0,4M_p$  та  $M=0,6M_p$  максимальні напруження спостерігаємо в найбільш віддаленому стиснутому шару, але після п'ятиста циклів прикладення навантаження максимальні напруження рівні  $\sigma_{c,d,max,500}=48,34\text{МПа}$ , які не перевищують тимчасового опору деревини стиску  $f_{i,T}=49,4\text{МПа}$ , але близькі до нього. Робота балки відповідає II стадії напружено-деформованого стану.

Таблиця 1.

Напруження деревини у відповідності до висоти перерізу за дії циклічних навантажень в найбільш стиснутих шарах деревини в балці марки БДК-7 (датчики №11,13,15,17,19,21)

Датчик	11	13	15	17	19	21
$M=0.2M_p$ 1ц.	0	3,45	7,25	12,54	16,87	20,81
$M=0.2M_p$ 500ц.	0	6,34	11,21	17,42	22,48	27,32
$M=0.4M_p$ 1ц.	0	9,1	18,31	24,705	31,89	39,26
$M=0.4M_p$ 500ц.	0	10,311	18,11	26,32	36,53	45,39
$M=0.6M_p$ 1ц.	0	20,17	31,55	38,65	41,78	42,78
$M=0.6M_p$ 500ц.	0	17,73	33,44	44,21	47,34	49,24

**Зразки БДК-8 та БДК-9.** Зразки БДК-8 та БДК-9 випробовувалися за повторних навантажень рівнів  $(0,2-0,8)M_p$ . Зразки працювали в діапазоні навантажень, які створювали режим роботи від  $0,2M_p=5,4 \text{ кН}\cdot\text{м}$  до  $0,8M_p=21,6 \text{ кН}\cdot\text{м}$ , за приросту моменту на кожній ступені прикладення навантаження  $\Delta M_p=2,6 \text{ кН}\cdot\text{м}$  на кожному циклі завантаження-розвантаження. Дослідження напруженого стану балок проводимо порівнянням напружень найбільш віддалених шарів деревини стиснутої зони балок. Порівняння проводимо для першого та десятого циклу малоциклового завантаження, так як балка БДК-8 зруйнувалася на десятому циклі, а БДК-9 – на одинадцятому.

Аналіз проводимо для балки БДК-9. За всіх рівнів навантажень роботи балки з клеєної деревини БДК-9 найбільші напруження розтягу, як і в попередніх балках, спостерігаються в найбільш віддаленому шарі розтягнутої зони елемента, а значення можна встановити з рис. 6., рис. 7., рис. 8. та рис. 9. Отримані значення напружень в стиснутій зоні деревини визначені за формулою 3.6 по значеннях відносних деформацій отриманих за датчиками №11,13,15,17,19,21 для балки з клеєної деревини марки БДК-9 наведено в таблиці 2.

За навантажень нижнього рівня  $M=0,2M_p$  максимальні відносні напруження стиснутої зони на першому циклі випробування становили  $\sigma_{c,d,max,1} = 12,87 \text{ МПа}$  (рис. 6.). Відповідно максимальні напруження стиснутої зони для десятого циклу завантаження склали на цьому рівні навантажень  $\sigma_{c,d,max,10} = 24,68 \text{ МПа}$ . Приріст значень напружень стиснутої деревини між циклами значний і становить 91,8 %.

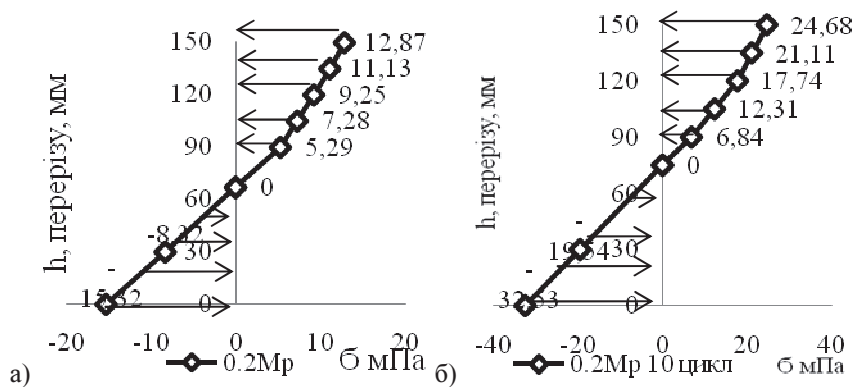


Рис. 6.– Розвиток напружень стиснутої та розтягнутої деревини за мало циклового навантаження дощато-клеєної балки марки БДК-9 в зоні чистого згину за рівня навантажень  $M=0,2M_p$ : а) на першому циклі, б) на десятому циклі

Таблиця 2.

Відносні напруження деревини у відповідності до висоти перерізу за дії циклічних навантажень у найбільш стиснутих шарах деревини в балці марки БДК-9 (датчики №11,13,15,17,19,21)

Датчики	11	13	15	17	19	21
0.2M <sub>p</sub> 1ц.	0	5,294	7,287	9,256	11,132	12,87
0.2M <sub>p</sub> 10ц.	0	6,05	12,38	17,368	21,853	24,68
0.4M <sub>p</sub> 1ц.	0	4,2512	9,072	15,4512	23,904	29,52
0.4M <sub>p</sub> 10ц.	0	12,55	21,76	28,155	35,34	42,71
0.6M <sub>p</sub> 1ц.	0	24,73	36,11	43,21	46,34	47,34
0.6M <sub>p</sub> 10ц.	0	25,24	33,53	37,56	42,18	45,17
0.8M <sub>p</sub> 1ц.	0	21,86	35,765	46,76	49,24	46,21
0.8M <sub>p</sub> 10ц.	0	25,75	35,34	44,21	49,24	47,64

За рівня навантажень  $M=0,4M_p$  максимальні відносні напруження стиснутої зони на першому циклі випробування для цієї балки становили  $\sigma_{c,d,max,1}=29,52\text{МПа}$  (рис. 7.), а на десятому циклі завантаження вони зросли до  $\sigma_{c,d,max,10}=42,71\text{МПа}$ . Приріст відносних напружень стиснутої деревини на рівні  $M=0,4M_p$  між циклами становить 30.9 %.

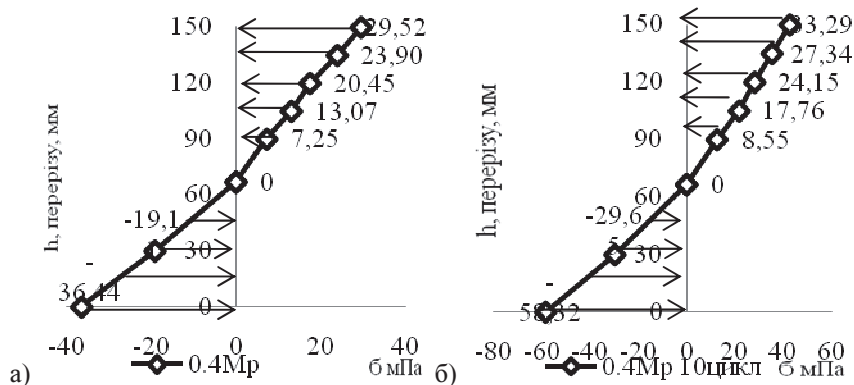


Рис. 7.– Розвиток напружень стиснутої та розтягнутої деревини за мало циклового навантаження дощато-клеєної балки марки БДК-9 в зоні чистого згину за рівня навантажень  $M=0,4M_p$ : а) на першому циклі, б) на десятому циклі

На рівні навантажень  $M=0,6M_p$  максимальні відносні напруження стиснутої зони на першому циклі випробування становили  $\sigma_{c,d,max,1}=47,34\text{МПа}$ . Відповідно максимальні напруження стиснутої зони для десятого циклу завантаження склали  $\sigma_{c,d,max,10} = 45,17\text{МПа}$  (рис. 8.). Приріст значень



напружень стиснутої деревини між циклами не спостерігалось, пройшла релаксація напружень на 4,6%.

При максимальному для балки БДК-9 рівні навантаження  $M=0,8M_p$  відносні напруження стиснутої зони на першому циклі випробування найбільш віддаленого шару становили  $\sigma_{c,d,1}=46,21\text{ МПа}$  (див. рис. 9.). Відповідно напруження в цьому шарі стиснутої зони для десятого циклу завантаження склали  $\sigma_{c,d,1}=47,64\text{ МПа}$ . Приріст напружень стиснутої деревини в цьому шарі деревини між циклами становить 3.0 %. В той же час максимальні напруження виникли нижче цього шару і на десятому циклі вони становили  $\sigma_{c,d,max,10}= 49,24\text{ МПа}$ .

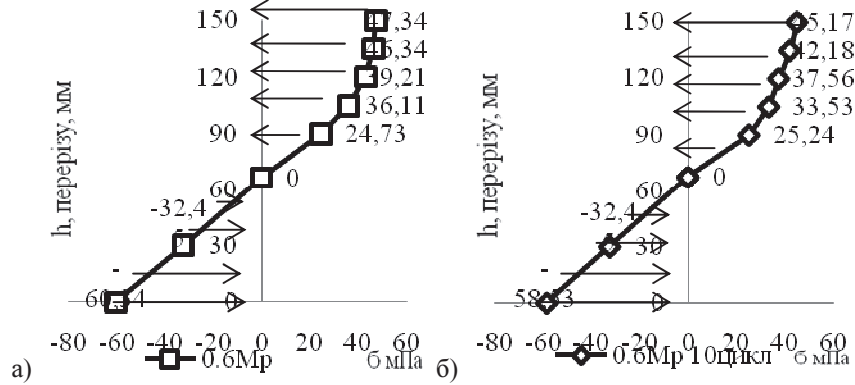


Рис. 8.– Розвиток напружень стиснутої та розтягнутої деревини за мало циклового навантаження дощато-клеєної балки марки БДК-9 в зоні чистого згину за рівня навантажень  $M=0,6M_p$ : а) на першому циклі, б) на десятому циклі

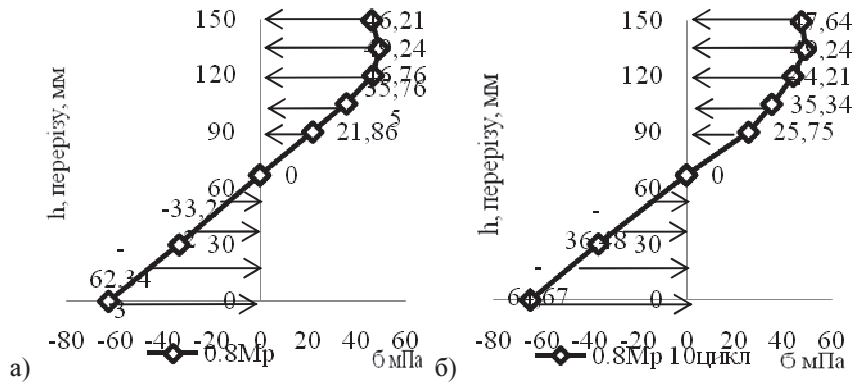


Рис. 9.– Розвиток напружень стиснутої та розтягнутої деревини за мало циклового навантаження дощатоклеєної балки марки БДК-9 в зоні чистого згину за рівня навантажень  $M=0,8M_p$ : а) на першому циклі, б) на десятому циклі

В балці з клеєної деревини БДК-9, яка працювала за режиму повторних навантажень  $(0,2-0,8)M_p$  за рівня  $M=0,8M_p$  на першому циклі завантаження максимальні напруження спостерігаємо не на самому віддаленому волокні, а всередині епюри напружень стиснутої зони поперечного перерізу балки і вони складають для першого циклу  $\sigma_{c,d,max,1} = 49,24 \text{ МПа}$ .

Отже вже на першому циклі завантаження за режиму  $M=0,8M_p$  балка працює за III стадії напружено-деформованого стану. Виникає змінання волокон та утворюються складки змінання в деревині стиснутої зони, частина шарів деревини переходить в закритичну зону роботи деревини, проходить перерозподіл напружень по висоті балки, стискаючи зусилля сприймаються ділянкою деревини під складкою та ділянкою деревини, на якій утворилася складка, проходить зростання деформацій стиснутої зони.

**Висновки.** 1. Запропонована методика дає можливість робити розрахунок напруженого стану на всіх стадіях експлуатації елементів з цільної та клеєної деревини аж до руйнування і дозволяє враховувати передісторію їх роботи та оцінювати вплив різних режимів малоциклового навантаження.

2. Напруження в крайніх, найбільш віддалених шарах деревини розтягнутої зони у всіх приведених дощатоклеєних балках, в зоні чистого згину, які працювали за дії повторних навантажень, на верхніх рівнях прикладення навантажень із зростанням кількості циклів поступово збільшуються.

3. Удосконалена методика визначення напружено-деформованого стану поперечних перерізів з використанням повних діаграм деформування деревини за стиску дозволяє розв'язувати задачі з розрахунку елементів з деревини за будь-якого стиску чи згину не тільки в граничних, але й на проміжних стадіях в режимі роботи за одноразових статичних та малоциклових змінних навантажень.

1. ДБН В.2.6-161:2010. Конструкції будинків і споруд. Дерев'яні конструкції. Основні положення. – Київ: Укрархбудінформ, 2011.- 102с. 2. ДСТУ-Н Б В.2.6-184:2012 Конструкції з цільної та клеєної деревини. Настанова з проектування. - Київ: Мінрегіонбуд України, 2013.-158с. 3. ДСТУ Б В.2.6-151:2010 Конструкції дерев'яні клеєні. Загальні технічні умови 4. СНиП II-25-80. – Деревянные конструкции. Нормы проектирования. –М.: Стройиздат, 1982. – 65с. 5. Eurocode 5. Design of timber structures. Part 1.1. General rules and rules for buildings. – 1995. - 124p. 6. Сасовський Т.А. Методика дослідження роботи дощатоклеєних балок за дії повторних навантажень// Матеріали Всеукраїнської конференції молодих учених і студентів «Перспективи розвитку будівельної галузі» (10-11 жовтня 2013 року). – Полтава: ПолтНТУ, 2013. – С. 145-148. 7. Гомон С.С., Сасовський Т.А. «Дослідження напруженого стану згинальних елементів із деревини з використанням повної діаграми деформування матеріалу» 36. Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. – Вип. 27. Рівне, НУВГП, 2013. – С.62-67.