

ОСОБЛИВОСТІ РОЗРАХУНКУ ВУЗЛІВ АРОК З ЛОБОВИМИ УПОРАМИ, ЗЦЕНТРОВАНИМИ НА ЦЕНТРАЛЬНІ ОСІ НАПІВАРОК

DESIGN ASPECTS OF ARCH CONNECTIONS WITH SKEW NOTCHED SUPPORTS CENTERED ON HALF ARCH CENTRAL AXIS

Перетятко Ю.Г. к.т.н., проф., Агеєнко С.Б., к.т.н., доц., Рюмін В.В. к.т.н., доц., Ляшенко І.Ю., к.т.н., доц. (Харківський національний університет будівництва та архітектури, м. Харків),

Peretiatko Yu.G., candidate of technical sciences, professor, orcid.org/0000-0002-8005-8776, Aheyenko S.B., candidate of technical sciences, associate professor, orcid.org/0000-0002-6093-0694, Riumin V.V. candidate of technical sciences, associate professor, orcid.org/0000-0001-8884-589x, Liashenko I.Yu., candidate of technical sciences, associate professor, orcid.org/0000-0001-6444-8515, (Kharkiv national university of civil engineering and architecture, Kharkiv)

Проведено дослідження характеру розподілу напружень в опорних та гребневому вузлах дощатоклеєної арки трикутного обрису прольотом 24 м, виконаних лобовими упорами, зцентрованими на центральні осі напіварок. Шляхом вирішення контактної задачі для системи: «торець арки – упорний елемент» встановлено, що в лобових упорах по площадкам зминання у дійсності до утворення шарніру мають місце нормальні напруження, які виникають не тільки від поздовжньої стискаючої сили, але і від згинального моменту, що хоче перетворити класичний лобовий упор у шарнір. Запропоновано новий підхід до розрахунку опорних та гребневих вузлів дощатоклеєних арок, виконаних лобовим упором.

Investigation of stresses distribution in support and skew notched connections of glulam triangular arches were carried out. On the basis of solved contact problem of “end face – support element” system it was shown that on the bearing planes of skew notched connections normal stresses occurred before hinge formation. These normal stresses arise not only from longitudinal compression force but also from bending moment, which tends to transform classical notched connection into hinge.

In order to obtain solution for “end face – support element” finite element model of half arch was built. Plane stress shell elements were used. Elements dimensions were 33x33 mm on the arch, and 15x35,542 mm at the skew notched zone. Additional line elements were attached in normal direction to the nodes of the end face elements of half arch. The main purpose of line

elements was consideration of bearing level of end faces of half arches. They allow to estimate length of stressed zone of end face and distribution pattern of normal bearing stresses on the cross-section height. Problem was solved by iterative method.

New approach which includes iterative method for design of support and skew notched connections of glulam arches proposed.

Ключові слова: Трьохшарнірна трикутна дерев'яна арка, прямокутний поперечний переріз, напружено-деформований стан, зминання опорних торців
Three-hinged triangular wooden arch, rectangular cross section, stress-strain state, crumpling of the support ends

Вступ. В сучасному будівництві у якості несучих конструкцій в промислових будівлях та будівлях цивільного призначення застосовують дощатоклеєні арки різного обрису. Способи розрахунків таких конструкцій достатньо вивчені. У той же час недостатніми є дослідження розрахунків їх вузлових з'єднань, зокрема опорних вузлів, виконаних лобовими упорами.

Аналіз останніх досліджень. Питання проектування та розрахунку дощатоклеєних арок представлено чисельними публікаціями [1...13]. Найпростішими з точки зору їх виготовлення вважаються трьохшарнірні арки трикутного обрису. Але з точки зору матеріаломісткості вони програють аркам кругового та близького до нього обрисам у зв'язку зі значними прольотними згинаючими моментами. В обох випадках вважається, що в арках з прольотами до 18 м опорні та гребневівузли слід виконувати шарнірними по типу лобового упору. В арках з прольотами понад 18 м в опорних та гребневихвузлах переходять на конструкції зі сталевими циліндричними шарнірами [2...4, 6, 9, 13].

Традиційно опорні та гребневівузли дощатоклеєних арок трикутного обрису, що виконані лобовим упором, вважаються шарнірними та розраховуються на зминання вздовж та під кутом до волокон за умови, що нормальні стискаючі напруження розподіляються рівномірно по площі взаємного контакту торця арки з упором [1, 6, 7, 9, 11, 12].

Дані вузли розраховуються за наступним алгоритмом:

1) попередньо задають висоту перерізу опорної та гребеневої частин напіварки в межах $h_{on}=(0,3...0,4)h$ з урахуванням цілої кількості обструганих дошок товщиною 33мм;

2) перевіряють опорний торець напіварки на міцність за зминанням деревини вздовж волокон (рис. 2):

$$\sigma_{зм,\alpha} = \frac{N_{on}}{A_{on}} = \frac{N_{on}}{b \cdot h_{on}} \leq R_{зм} \cdot K_N. \quad (1)$$

де K_N - коефіцієнт, що враховує концентрацію напружень та приймається за графіком на рис. 3.6,а [10] в залежності від співвідношення h_{on}/h .

3) Міцність за дотичними напруженнями в опорному вузлі напіварки з

урахуванням їх нерівномірного розподілу по висоті перерізу перевіряють по формулі:

$$\tau = K_{ск} \cdot \frac{Q_{он} \cdot S_{он}}{\xi \cdot b \cdot I_{он}} \leq R_{ск}, \quad (2)$$

де $K_{ск}$ - враховує нерівномірність розподілу дотичних напружень по висоті перерізу, приймається за графіком на рис. 3.6,б [10] в залежності від співвідношення $h_{он}/h$.

Гребневі вузли розраховують аналогічно, але з урахуванням змінання деревини під кутом α до волокон (рис.5):

$$\sigma_{зм,\alpha} = \frac{N_{греб}}{A_{зм}} = \frac{N_{греб}}{b \cdot h_{греб}} \leq R_{зм,\alpha} \cdot K_N. \quad (3)$$

Слід відмітити, що як впливає з [10], коефіцієнт $K_{ск}$ застосовується у випадку зміщення лобового упору по відношенню до центральної осі перерізу арки. У разі випадку симетричного розміщення лобового упору урахування концентрації дотичних напружень в [10] є відсутнім. Оскільки дотичні напруження тв опорній частині напіварки пов'язані з поперечною силою $Q_{он}$, очевидно характер їх розподілу по висоті опорної частини перерізу буде залежати від конструктивного рішення опорного вузла. Традиційно вважається, що в арках невеликих прольотів (до 18м) поперечна сила $Q_{он}$ урівноважується силою тертя, що виникає між деревиною торця і матеріалом упорного елемента. Якщо в арках більших прольотів сили тертя недостатньо для урівноваження сили $Q_{он}$, в опорних базах улаштовують додаткові конструктивні заходи.

Навпаки коефіцієнт K_N , наведений у [10], відноситься до випадку центрованого лобового упору (гребневий вузол) і в [10] немає роз'яснень з питання урахування концентрації нормальних напружень у випадку виконання позацентрового лобового упору. Подібна невизначеність мабуть і пояснює те, що не всі автори застосовують дані коефіцієнти в вищенаведених формулах (1), (2), (3)[5, 7, 8, 11, 12].

Постановка мети і задач досліджень. В трьохшарнірних арках трикутного обрису при вертикальному навантаженні кожна з напіварок працює як розрізна балка на поперечний згин з додатковим осьовим стиском. Вважається, що на кінцях напіварок зцентровані на центральні осі перерізів арок лобові упори, працюють як ідеальні шарніри, в яких згинаючі моменти є відсутніми. Ідеальний шарнір не перешкоджає вільному повороту перерізу напіварки в її опорній частині. Ця умова забезпечується, якщо шарнір конструктивно виконаний сталевим по типу циліндричного шарніру.

У той же час навіть зцентрований лобовий упор початково перешкоджає вільному повороту торця напіварки і тим самим створює додатковий, протидіючий повороту згинаючий момент.

Вочевидь лобовий упор може забезпечити вище згаданий поворот шляхом змінання стиснутої частини його перерізу та часткового відриву від упору

розтягнутої частини перерізу під дією нормальних напружень від додаткового згинаючого моменту, який після деформації перерізу торця від дії зазначених напружень зникає.

Але при цьому умова рівномірного розподілу нормальних напружень від дії на торець поздовжньої стискаючої сили вочевидь порушується і тому рівнодіюча цих напружень зміщується від центральної осі і створює ексцентриситет, завдяки чому додатково виникає розвантажувальний опорний згинаючий момент. На перший погляд це явище можна не враховувати, оскільки воно в запас міцності дає зменшення значення прольотного згинаючого моменту, що виникає від заданого вертикального навантаження. З іншого боку завдяки відриву зменшується нерівномірно стиснута частина торця, в якій відповідно зростають значення нормальних стискаючих напружень. Виникає питання: чи достатньою буде висота стиснутої частини торця, що б максимальні стискаючі напруження на цій ділянці не перевершували значення відповідних розрахункових опорів змінанню відповідно вздовж та під кутом α до волокон деревини напіварки.

Відповідь на висвітлені вище питання і становить мету та задачі досліджень.

Методика досліджень.

З метою визначення дійсного характеру розподілу нормальних напружень в опорних та гребневих вузлах напіварок арок трикутного обрису проведено дослідження напружено-деформованого стану (НДС) дощатоклеєної арки із сосни 2-го сорту прольотом $L=24\text{м}$ і висотою підйому арки $f=4,8\text{м}$. Рівномірно розподілене вертикальне навантаження складає $q=15,34\text{кН/м}$.

Задачу по визначенню НДС вирішено з використанням методу кінцевих елементів в програмному комплексі SCAD. Оскільки застосування комплексу SCAD передбачає попереднє задання розмірів та жорсткостей конструкції, початковий розрахунок вище зазначеної арки виконано за аналітичним традиційним алгоритмом, як трьохшарнірної арки з затяжкою (рис. 1).

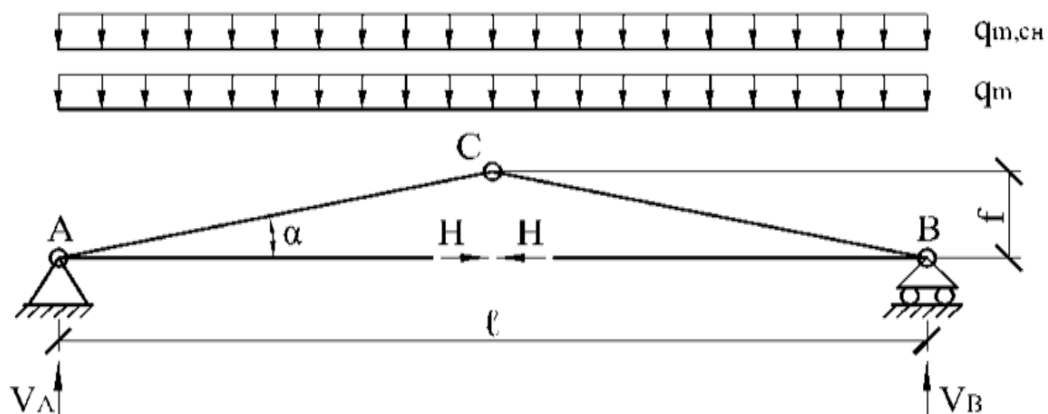


Рис. 1 – Розрахункова схема арки

За результатами попереднього статичного розрахунку арки без урахування деформованої схеми отримано наступні результати:

1) $M_{max}=29757\text{кНсм}$, $N_{сидн}=266,89\text{кН}$ – зусилля в середині прольоту напіварки;

2) $N_{on}=-297,8\text{кН}$, $N_{греб}=\text{H}=-242,2\text{кН}$ - нормальні до торців напіварки стискаючі сили відповіно в опорному та гребневому вузлах.

За значеннями M_{max} і $N_{відн}$ підібрано переріз арки розмірами $b=19,3\text{х}h=95,7$ см. При цьому фактичні максимальні нормальні напруження в середньому перерізі напіварки склали: $\sigma_{max}=-0,89\text{кН/см}^2$ (крайні верхні стиснуті волокна), $\sigma_{min}=0,67\text{кН/см}^2$ (крайні нижні розтягнуті волокна).

Висота лобового упору опорної частини напіварки прийнята $h_{on}=39,6\text{см}$, виходячи із співвідношення $h_{on}\geq 0,4\cdot h$.

Усвідомлюючи, що в лобових упорах опорного та гребневого вузлів мають місце концентрації напружень, нами по аналогії з [9] при розрахунку опорного вузла був врахований коефіцієнт $K_\tau=2.6$, в результаті чого перевірка за дотичними напруженнями в опорному вузлі виконана не була. У зв'язку з цим було збільшено переріз напіварки до розмірів $b=24,5\text{х}h=95,7$ см, але у підсумку незначне перенапруження збереглося. Для зменшення значення коефіцієнта концентрації K_τ довелося збільшити висоту лобового упору до значення $h_{on}=59,4\text{см}$. Для забезпечення симетрії обпирання висота лобового упору в гребні була прийнята $h_{греб}=64\text{см}$.

Для досягнення поставленої мети досліджень побудовано кінцево-елементну модель напіварки з її остаточно зазначеними вище розмірами (рис.2).

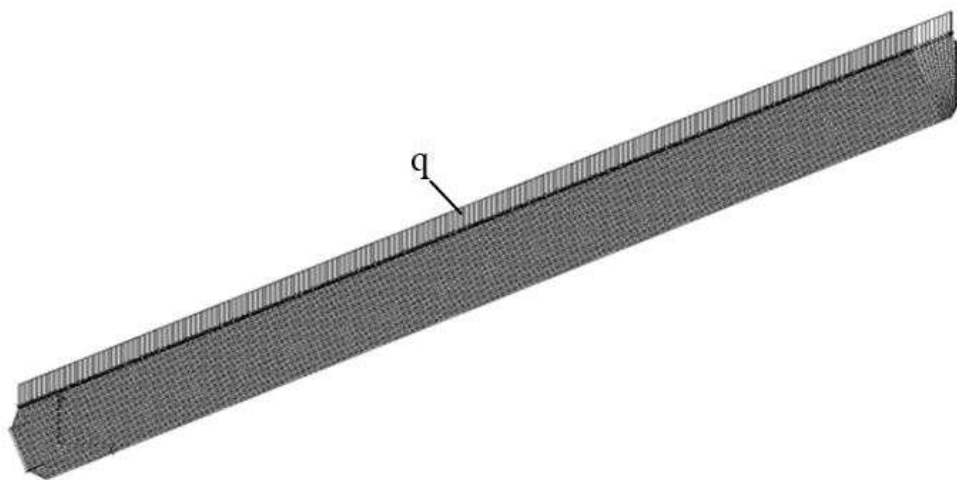


Рис. 2– Кінцево-елементна модель напіварки

Розрахункова схема в SCAD являє собою половину арки, яка змодельована пластинчастими кінцевими елементами (КЕ) (рис. 2). Напіварка покрита сіткою плоских прямокутних КЕ товщиною $t=245\text{мм}$ з розмірами $33\text{х}33\text{мм}$, а на ділянках лобового упору гребневої частини арки – $15\text{х}35,542\text{мм}$.

На початку процесу навантаження арки лобовий упор перешкоджає вільному повороту торця напіварки, створюючи додатковий, протидіючий повороту згинаючий момент, від дії якого поворот площадки контакту лобового упору викликає зминання його нижньої стиснутої частини та частковий відрив від упору верхньої розтягнутої частини.

Вирішення даної контактної задачі стало можливим шляхом введення

додаткових прямолінійних пружних стержнів, нормальних до торців напіварки та приєднаних до відповідних вузлів торцевих кінцевих елементів.

Результати досліджень. Розрахунки напружено-деформованого стану напіварки виконувалися ітераційним шляхом.

Результат першої спроби розрахунку показав, що в декількох стержнях верхньої частини лобового упору виник розтяг, який свідчить про намагання верхньої частини «відірватися» від площадки взаємного контакту торця арки з упором. Подальші ітерації виконувалися з контролем двох критеріїв:

1 – розтягнуті стержні виключалися з розрахункової схеми; 2 – максимальні змінючі нормальні напруження не повинні були перевищувати значення відповідного розрахункового опору деревини, а саме: для опорного вузла арки - $1,5 \text{ кН/см}^2$, для гребневого вузла - $1,246 \text{ кН/см}^2$ (значення розрахункового опору деревини сосни 2-го сорту зминанню під кутом $\alpha=21.8^\circ$ до волокон). Виконання другого критерію досягалося послідовним регулюванням жорсткостей стержнів. Остаточні розподіли нормальних напружень по висоті лобових упорів виявилися достатньо близькими до лінійного розподілу. Аналогічна закономірність має місце і в нормальних переміщеннях вузлів торців напіварки (рис. 3). Найбільші їх значення не перевищують 1,5мм. Довжини площадок зминання (стиснутої ділянки) на кожному кінці напіварки виявилися значно меншими, ніж фактичні розміри їх торців.

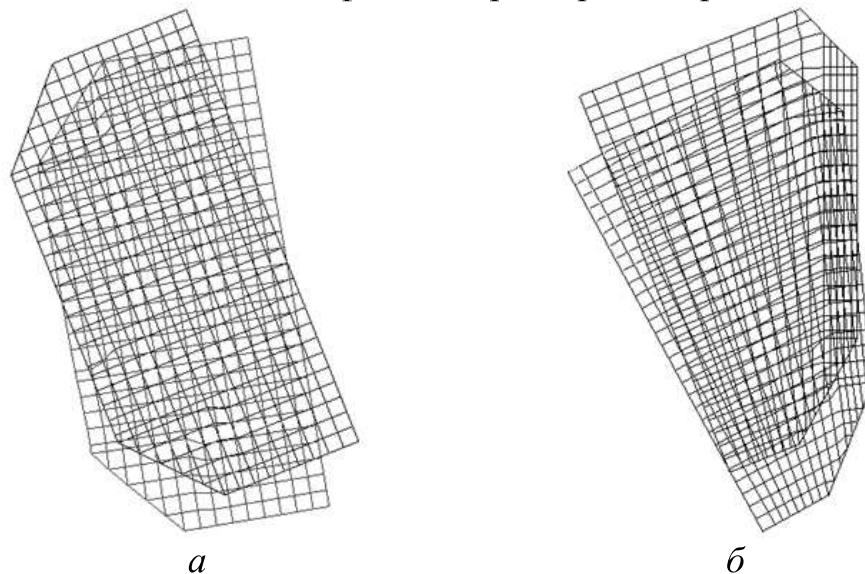


Рис. 3 – Деформації напіварки: *a* – опорного торця; *б* – гребневого торця

Отримання остаточних результатів було пов'язано зі значною кількістю перерахунків НДС, що значно ускладнило розв'язання даної задачі.

Авторами запропоновано новий метод вирішення даної проблеми. Його суть полягає в тому, що незалежно від кількості стержнів на торці їх рівнодіюча залишається незмінною за величиною та дорівнює опорній реакції, нормальній до торця. У зв'язку з цим пропонується наступна послідовність розрахунку задачі: 1) допоміжні стержні розміщуються по всій висоті лобового упору кінця напіварки; 2) незалежно від знаків зусиль у

стержнях обчислюється їх рівнодіюча; 3) розподіл змінюючих нормальних напружень приймається за трикутником з максимальним напруженням, що дорівнює відповідному розрахунковому опору деревини; 4) маючи ці два параметри, обчислюється довжина стиснутої епюри та порівнюється з фактичною довжиною лобового упору і повинна бути не більшою за останню; 5) знаючи положення центру ваги трикутника, в нього переміщують рівнодіючу та обчислюють відповідний ексцентриситет її зміщення відносно центральної осі арки.

Нижче на рис. 4, 5 наведено результати розрахунків лобового упору на опорі напіварки за новим методом.

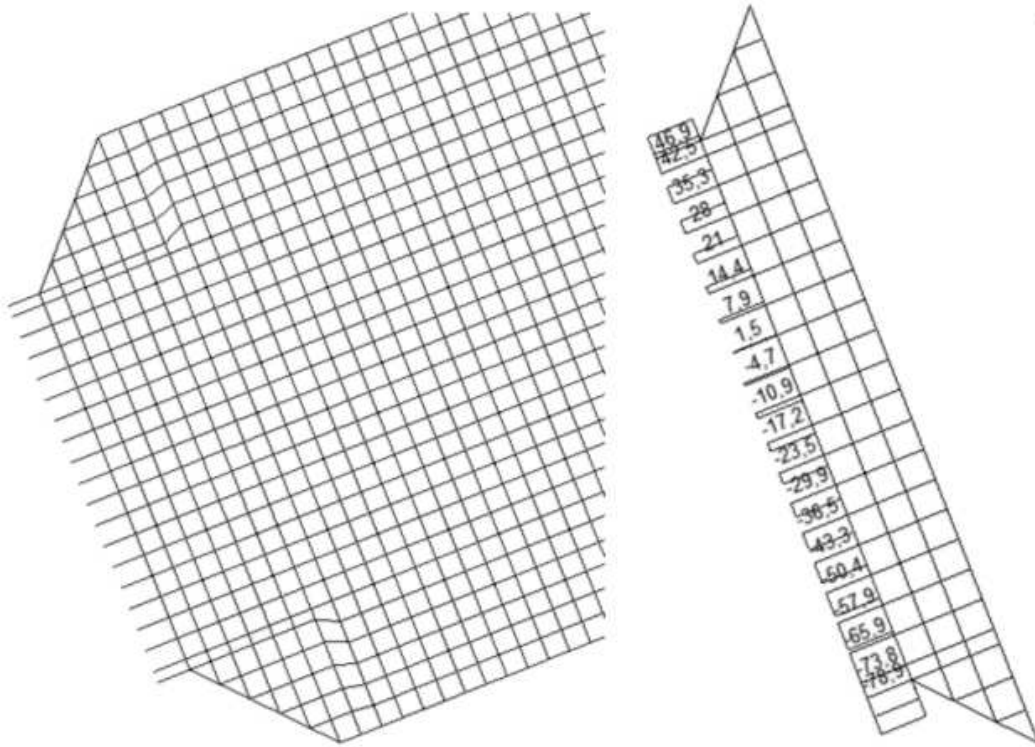


Рис. 4— Початковий випадок розрахунку – додаткові стержні по всій висоті лобового упору опорного вузла. Жорсткість на розтяг-стиск $EA=5000\text{кН}$

На рис. 4 показані зусилля в додаткових стержнях після першого кроку розрахунку вузла. Їх рівнодіюча дорівнює $R=-295,4\text{кН}$, що на 0,8% менше, ніж $N_{on}=-297,8\text{кН}$. Задаючи значення максимальних змінюючих напружень $\sigma_{max}=1,5\text{кН/см}^2$, знаходимо довжину l стиснутої по трикутнику епюри нормальних напружень:

$$l = \frac{2 \cdot R}{\sigma_{max} \cdot b} = \frac{2 \cdot 295,4}{1,5 \cdot 24,5} = 16,08\text{см}. \quad (4)$$

Виходячи з того, що напруження розподіляються рівномірно по висоті кінцевого елемента, а їх значення прикладені посередині цієї висоти, запис виразу рівнодіючої R цих напружень на ділянці торця довжиною l дає розподіл цих напружень по лінійному закону по висоті даної ділянки. При цьому довжина l відраховується від середини найбільш напруженого

нижнього кінцевого елемента (рис. 5). Значення цього напруження $\sigma=1,36\text{кН/см}^2$ в середині кінцевого елемента відповідає значенню $\sigma_{max}=1,5\text{кН/см}^2$, діючого в кінцевій точці стиснутої ділянки лобового упору.

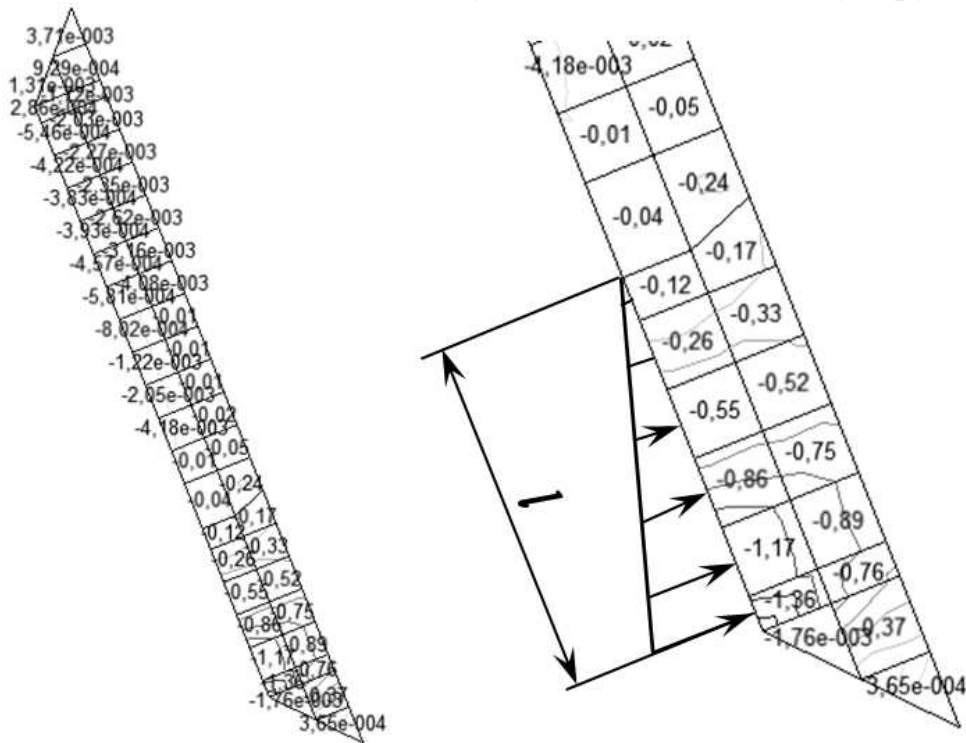


Рис. 5 – Значення нормальних змінюючих напружень, розподілених лінійно по стиснутій частині лобового упору опорного вузла

Результати, наведені на рис. 5, в практичних розрахунках не потрібні. Вони лише підтверджують лінійний характер розподілу нормальних напружень по стиснутій частині лобового упору. Їх рівнодіюча дорівнює $R=-290,6\text{кН}$, що на 1,6% менше, ніж значення рівнодіючої $R=-295,4\text{кН}$, обчислене після першого кроку розрахунку вузла.

Аналогічні розрахунки були виконані у гребневому лобовому упорі.

На рис. 6, 7 наведено результати розрахунків лобового упору в гребневому вузлі напіварки за новим методом.

На рис. 6 показані зусилля в додаткових стержнях після першого кроку розрахунку вузла. Їх рівнодіюча дорівнює $R=-239,6\text{кН}$, що на 1,07% менше, ніж $N_{греб}=-242,2\text{кН}$. Задаючи значення максимальних змінюючих напружень під кутом $\alpha=21,8^\circ$ до волокон $\sigma_{max}=1,246\text{кН/см}^2$, знаходимо довжину l стиснутої по трикутнику епюри нормальних напружень:

$$l = \frac{2 \cdot R}{\sigma_{max} \cdot b} = \frac{2 \cdot 239,6}{1,246 \cdot 24,5} = 15,7\text{см.} \quad (5)$$

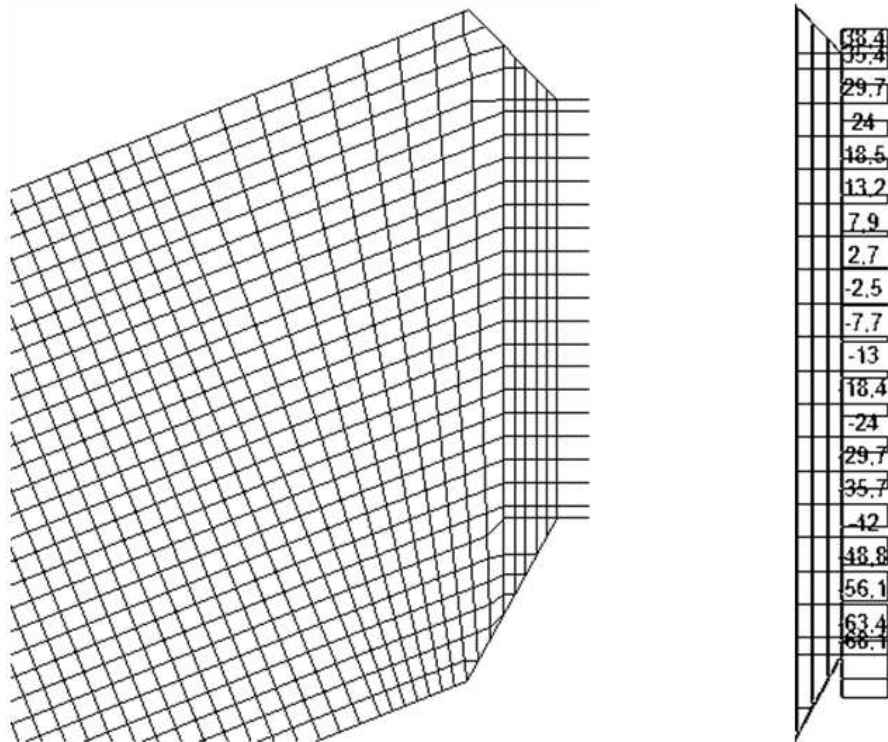


Рис. 6— Початковий випадок розрахунку – додаткові стержні по всій висоті лобового упору гребневого вузла. Жорсткість на розтяг-стиск $EA=5000\text{кН}$

Виходячи з того, що напруження розподіляються рівномірно по висоті кінцевого елемента, а їх значення прикладені посередині цієї висоти, запис виразу рівнодіючої R цих напружень на ділянці торця довжиною l дає розподіл цих напружень по лінійному закону по висоті даної ділянки. При цьому довжина l відраховується від середини найбільш напруженого нижнього кінцевого елемента (рис. 7). Значення цього напруження $\sigma=1,12\text{кН/см}^2$ в середині кінцевого елемента відповідає значенню $\sigma_{max}=1,246\text{кН/см}^2$, діючого в кінцевій точці стиснутої ділянки лобового упору.

Результати, наведені на рис. 7, в практичних розрахунках не потрібні. Вони лише підтверджують лінійний характер розподілу нормальних напружень по стиснутій частині лобового упору. Їх рівнодіюча дорівнює $R=-239,2\text{кН}$, що на 0,17% менше, ніж значення рівнодіючої $R=-239,6\text{кН}$, обчислене після першого кроку розрахунку вузла.

В результаті зміщення рівнодіючих R змінюючих лобові упори нормальних напружень вниз маємо розвантажувальні опорні моменти, завдяки яким у даному випадку фактичні максимальні нормальні напруження в середньому перерізі напіварки знизилися з $\sigma_{max}=-0,89\text{кН/см}^2$ до $\sigma_{max}=-0,73\text{кН/см}^2$ (крайні верхні стиснуті волокна), $\sigma_{min}=0,67\text{кН/см}^2$ до $\sigma_{min}=0,51\text{кН/см}^2$ (крайні нижні розтягнуті волокна).

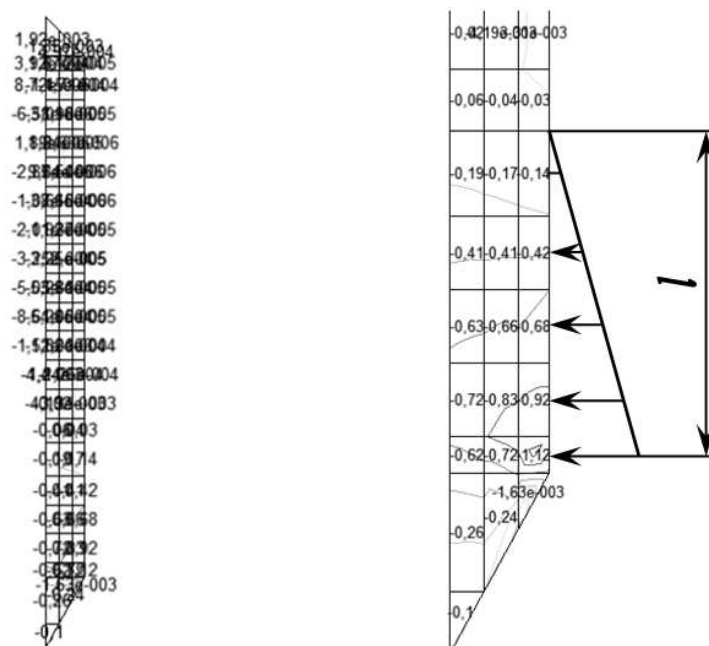


Рис. 7 – Значення нормальних змінюючих напружень, розподілених лінійно по гребневій частині лобового упору

Висновки. 1. Нормальні напруження, що мають місце на площадках контакту кінців напіварок з упорами, розподіляються не рівномірно по цим площадкам, як це прийнято в існуючих розрахунках даних вузлів. Їх розподіл по висоті стиснутих частин лобових упорів має нерівномірний характер, достатньо близький до лінійного.

2. Авторами запропоновано новий метод уточненого розрахунку опорних та гребневих вузлів арок різних обрисів, виконаних лобовим упором, що враховує нерівномірний характер розподілу нормальних напружень по площадкам контакту кінців напіварок з упорами.

1. Клименко В.З. Конструкції з дерева і пластмас: Підручник. Київ: Вища шк., 2000. 304 с.

Klymenko V.Z. Konstruktsii z dereva i plastmas: Pidruchnyk. Kyiv: Vyshcha shk., 2000. 304 s.

2. Михайловський Д.В. Деякі особливості розрахунку арок з клеєної деревини / Д.В. Михайловський, Т.С. Бабич // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. Рівне: НУВГП, 2014. Вип. 29. С. 273-280.

Mykhailovskyi D.V. Deiaki osoblyvosti rozrakhunku arok z kleienoї derevyny / D.V. Mykhailovskyi, T.S. Babych // Resursoekonomni materialy, konstruktsii, budivli ta sporudy. Rivne: NUVHP, 2014. №29. S. 273-280.

3. Найчук А. Я. Опорные и коньковые узлы деревянных клееных трехшарнирных арок: автореф. дис. на соискание степени канд. техн. наук: спец. 05.23.01 "Строительные конструкции, здания и сооружения" / Найчук А. Я. Киев, 1985. 22 с.

Najchuk A. Ya. Opornye i konkovye uzly derevyannyh kleenyh trehsharnimyh arok: avtoref. dis. na soiskanie stepeni kand. tehn. nauk: spec. 05.23.01 "Stroitelnye konstrukcii, zdaniya i sooruzheniya" / Najchuk A. Ya. Kiev, 1985. 22s.

4. Демчина Б.Г., Сурмай М.І., Шидловський Я.М. Дослідження дерев'яної арки таврового перерізу на металозубчастих пластинах/ Будівельні конструкції: теорія і практика. Київ: КНУБА, 2017, 1. С. 28-35.

Demchyna B.H., Surmai M.I., Shydlovskiy Ya.M. Doslidzhennia derevianoj arky tavoroho pererizu na metalozubchastykh plastynakh/ Budivelni konstruktsii: teoriia i praktyka. Kyiv: KNUBA, 2017, 1. S. 28-35.

5. Индустриальные деревянные конструкции. Примеры проектирования: Учеб. пособие для вузов/ Ю.В. Слицкоухов, И.М. Гуськов, Л.К. Ермоленко и др.; Под ред. Ю.В. Слицкоухова. Москва: Стройиздат, 1991. 256 с.

Industrialnye derevyannye konstrukcii. Primery proektirovaniya: Ucheb. posobie dlya vuzov/ Yu.V. Slitskouhov, I.M. Guskov, L.K. Ermolenko i dr.; Pod red. Yu.V. Slitskouhova. Moskva: Strojizdat, 1991. 256 s.

6. Строительные конструкции из дерева и синтетических материалов. Проектирование и расчет: Учеб. пособие/ И.М. Гринь, К.Е. Джан-Темиров, В.И. Гринь. Киев.: Выцашк., 1990. 221с.

Stroitelnye konstruktsii iz dereva i sinteticheskikh materialov. Proektirovanie i raschet: Ucheb. posobie/ I.M. Grin, K.E. Dzhan-Temirov, V.I. Grin. Kiev.: Vyshashk., 1990. 221s.

7. Деревянные конструкции: учеб. пособие. А.В. Калугин. Москва: АСВ, 2008. 288 с. Derevyannye konstruktsii: ucheb. posobie. A.V. Kalugin. Moskva: ASV, 2008. 288 s.

8. М.М. Гаппоев, И.М. Гуськов, Л.К. Ермоленко, В.И. Линьков, Е.Т. Серова, Б.А. Степанов, Э.В. Филимонов. Конструкции из дерева и пластмасс. Учебник. Москва: Издательство АСВ, 2004. 440 с.

M.M. Gappoev, I.M. Guskov, L.K. Ermolenko, V.I. Linkov, E.T. Serova, B.A. Stepanov, E.V. Filimonov. Konstruktsii iz dereva i plastmass. Uchebnik. Moskva: Izdatelstvo ASV, 2004. 440 s.

9. Проектирование деревянных конструкций: учеб. пособие/ Е.Н. Серов, Ю.Д. Санников, А.Е. Серов; под ред. Е.Н. Серова. Москва: Издательство АСВ, 2011. 536 с.

Proektirovaniederevyannyhkonstruktsij: ucheb. posobie/ E.N. Serov, Yu.D. Sannikov, A.E. Serov; podred. E.N. Serova. Moskva: IzdatelstvoASV, 2011. 536s

10. Пособие по проектированию деревянных конструкций (к СНиП II-25-80) / ЦНИИСК им. Кучеренко. Москва: Стройиздат, 1986. 216 с.

Posobieproektirovaniyuderevyannyhkonstruktsij (kSNiPII-25-80) / CNIISKim. Kucherenko. Moskva: Strojizdat, 1986. 216 s.

11. Деревянные конструкции: учеб. пособие для студентов вузов/ А.В. Крицин, Г.Н. Шмелёв. Нижний Новгород: ННГАСУ, 2012. 212 с.

Derevyannye konstruktsii: ucheb. posobiedlyastudentovvuzov/ A.V. Kricin, G.N. Shmelyov. NizhnijNovgorod: NNGASU, 2012. 212 s.

12. Вдовин В.М. Конструкции из дерева и пластмасс. Проектирование клеёнощитых и клеёфанерных конструкций, балок, арок и рам: учеб. пособие. Пенза: ПГУАС, 2016. 208 с.

Vdovin V.M. Konstruktsii iz dereva i plastmass. Proektirovanie kleedoshatyh i kleefanernyh konstruktsij, balok, arok i ram: ucheb. posobie. Penza: PGUAS, 2016. 208 s.

13. Згировский, А. И. Сравнение различных видов узлов сопряжения арки с использованием Autodesk Inventor / А. И. Згировский, С. А. Ванюк // Теория и практика исследований и проектирования в строительстве с применением систем автоматизированного проектирования (САПР): сборник статей III Международной научно-технической конференции. Брест, 29–30 марта 2019 года. Брест: БрГТУ, 2019. С. 31–37.

Zghyrovskiy, A. Y. Sravnenye razlychnykh vydov uzlov sopriazheniya arky s uspolzovanyem Autodesk Inventor / A. Y. Zghyrovskiy, S. A. Vaniuk // Teoryia y praktyka yssledovaniy y proektyrovaniya v stroytelstve s prymenenyem system avtomatyzyrovannoho proektyrovaniya (SAPR): sbornyk statei III Mezhdunarodnoi nauchno-tekhnycheskoi konferentsyy. Brest, 29–30 marta 2019 hoda. Brest: BrHTU, 2019. S. 31–37