УДК 624.046.5:624.074 **DOI: https://doi.org/10.18664/1994-7852.162.2016.78284**

АНАЛІЗ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ТРАПЕЦІЄПОДІБНОЇ СТАЛЕВОЇ ПЛАСТИНИ ВУЗЛА З'ЄДНАННЯ ЕЛЕМЕНТІВ НИЖНЬОГО ПОЯСА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЇ СТРУКТУРНО-ВАНТОВОЇ СТАЛЕЗАЛІЗОБЕТОННОЇ ЦИЛІНДРИЧНОЇ ОБОЛОНКИ

Канд. техн. наук Г.М. Гасій

АНАЛИЗ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ТРАПЕЦИЕВИДНОЙ СТАЛЬНОЙ ПЛАСТИНЫ УЗЛА СОЕДИНЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ НИЖНЕГО ПОЯСА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ СТРУКТУРНО-ВАНТОВОЙ СТАЛЕЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ОБОЛОЧКИ

Канд. техн. наук Г.М. Гасий

ANALYSIS OF STRESS-STRAIN STATE OF THE TRAPEZOIDAL STEEL PLATE USED FOR JOINTS ELEMENTS OF THE BOTTOM CHORD OF THE EXPERIMENTAL COMPOSITE STEEL AND CONCRETE GRID-CABLE BARREL SHELL

Cand. of techn. sciences G.M. Gasii

У статті проаналізований напружено-деформований стан сталевої пластини трапецієподібної форми, що призначена для з'єднання модульних елементів нижнього пояса експериментального зразка збірної структурно-вантової сталезалізобетонної циліндричної оболонки. Чисельним методом виявлено місця концентрацій максимальних і мінімальних напружень, встановлено характер деформування та визначено запас міцності пластини на дію розрахункового навантаження.

Ключові слова: *сталезалізобетон, оболонка, структура, ванта, напруження, деформація.*

В статье проанализировано напряженно-деформированное состояние стальной пластины трапециевидной формы, предназначенной для соединения модульных элементов нижнего пояса экспериментального образца сборной структурно-вантовой сталежелезобетонной цилиндрической оболочки. Численным методом выявлены места концентраций максимальных и минимальных напряжений, установлен характер деформирования и определен запас прочности пластины на действие расчетной нагрузки.

Ключевые слова: *сталежелезобетон, оболочка, структура, ванта, напряжение, деформация.*

The paper studies mechanical behavior of elements of the new kind spatial structures. In particular, the stress-strain state of the trapezoidal steel plate that is used for joints modular elements of the bottom chord of the composite steel and concrete grid-cable barrel shell has been studied. The stress-strain state analyses of the plate has been performed with the finite element method. Solving has been performed for experimental sample of the structure with a span of 8.6 m. The structure is consisted of seven spatial modular elements and six modular bottom chord elements. Precisely through modular bottom chord elements, the load is applied to the steel plate. The maximum concentration of the stresses, the behavior and the factor of safety in plate under force have been found out. Optimization of the shape and size of the trapezoidal steel plate have been carried using the solid Von Mises stress contour that have been obtained.

Keywords: *composite steel and concrete, shell, space structure, cable, stress, strain.*

Вступ. Структурно-вантова сталезалізобетонна оболонка є новим композитним збірним просторовим покриттям, яке складається із просторових сталезалізобетонних модулів і гнучких модульних елементів нижнього пояса. Сутність таких модулів полягає у їх конструктивному рішенні і способі з’єднання між собою. Таке рішення дозволяє максимально ефективно і раціонально використовувати будівельні матеріали. Поєднання модулів в цілісну конструкцію покриття здійснюється за допомогою спеціально розроблених болтових з’єднань. Просторовий сталезалізобетонний модуль виготовляється із сталевих трубчастих стрижнів, сталебетонної плити, яка відіграє роль верхнього пояса, та вузлових деталей, через які модулі поєднуються. Беручи до уваги, що оболонка є збірною, – значну увагу необхідно приділяти аналізу і дослідженню напружено-деформованого стану вузлових деталей.

Огляд останніх джерел і публікацій показав, що значна частина досліджень присвячена вивченню напружено-деформованого стану сталебетонних плитних елементів, які будовою і характером роботи є схожими з елементами верхнього пояса структурно-вантової сталезалізобетонної оболонки [1–3]. Результати цих досліджень свідчать про високі показники міцності й ефективність застосування сталезалізобетону у складі різноманітних конструкцій покриття та перекриття [4–8]. Причому для дослідження напружено-деформованого стану конструкцій широко застосовують сучасні та прогресивні чисельні методи [9].

Виділення не розв’язаних раніше частин загальної проблеми. З аналізу попередніх праць видно, що недослідженим залишається питання вивчення напружено-деформованого стану вузлових з’єднань структурно-вантової сталезалізобетонної оболонки.

Постановка завдання. Враховуючи те, що вивченню напружено-деформованого стану плитних елементів структурно-вантового сталезалізобетонного покриття приділено достатньо уваги, нагальної потреби в їх подальшому дослідженні немає, на відміну від

дослідження елементів вузлових з'єднань. Зважаючи на це, метою роботи є проведення чисельного розрахунку і аналізу напружено-деформованого стану вузлової пластини трапецієподібної форми, яка призначена для з'єднання гнучких модульних елементів нижнього пояса із просторовим сталезалізобетонним модулем. На основі отриманих розрахунком даних ми маємо визначити міцність і встановити ймовірні вразливі місця деталі та у разі необхідності визначити способи їх ліквідації.

Основний матеріал і результати. Аналіз напружено-деформованого стану і проектні пропозиції вузлових деталей виконано на прикладі експериментальної структурно-вантової сталезалізобетонної циліндричної оболонки прольотом 8,6 м зі стрілою підйому 0,56 м (рис. 1).

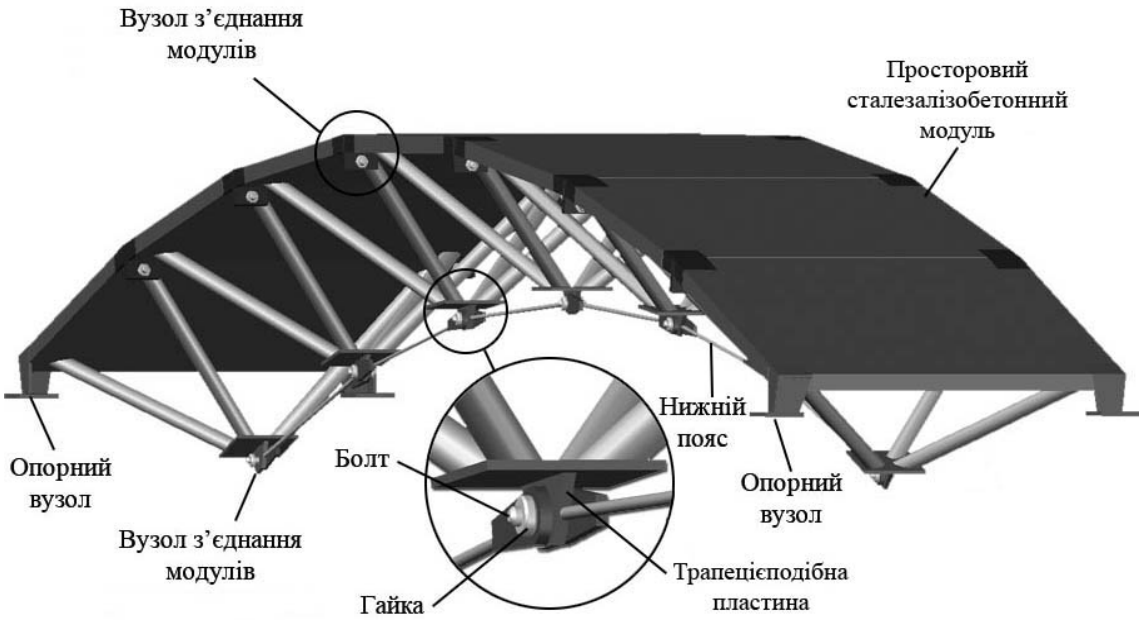

Рис. 1. Секція структурно-вантової сталезалізобетонної циліндричної оболонки

Для проведення дослідження необхідно було визначити внутрішні зусилля в оболонці. За результатами статичного розрахунку конструкції циліндричної оболонки на дію рівномірно-розподіленого навантаження 2,65 кН/м² було отримано значення поздовжніх сил *N* (рис. 2).

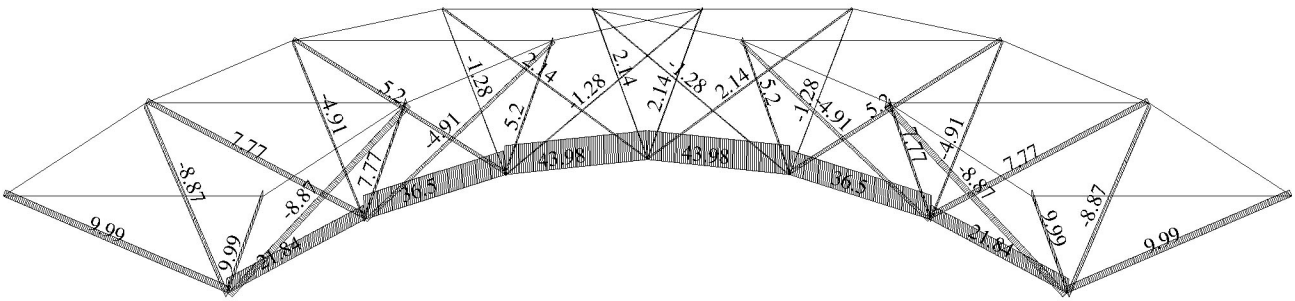

Рис. 2. Епюра поздовжніх сил *N*, Кн

З епюри поздовжніх сил *N* видно, що максимальне зусилля розтягу, яке діє в стрижневих елементах нижнього пояса структурно-вантової сталезалізобетонної оболонки, дорівнює 43,98 кН. Як зазначалося раніше, структурно-вантова сталезалізобетонна циліндрична оболонка складається із просторових сталезалізобетонних модулів і модульних елементів нижнього пояса. Ці модульні елементи поєднуються у конструкцію покриття за допомогою вузла з'єднання, головним елементом якого є трапецієподібна пластина (рис. 3). Несуча здатність пластини послаблена отвором під болт, який працює на зріз. Крім того пластина сприймає напруження від дії поздовжніх сил розтягу в елементах нижнього пояса у двох напрямках, що може спричинити її кручення.

Згідно з розробленим кресленням було побудовано тривимірну модель деталі вузла з'єднання (рис. 4).

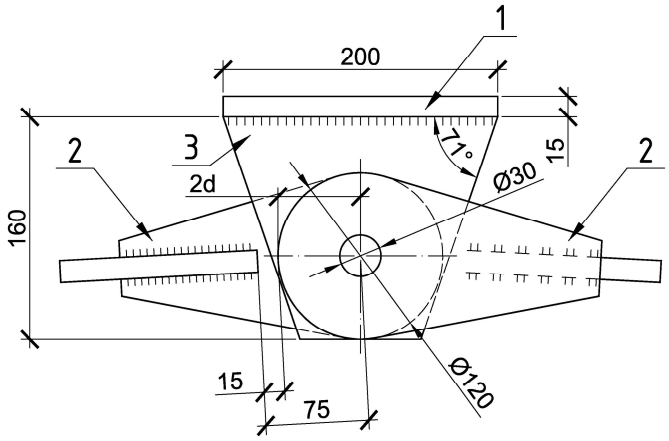

Рис. 3. Вузол з'єднання модульних елементів нижнього пояса і просторового сталезалізобетонного модуля структурно-вантової сталезалізобетонної циліндричної оболонки:
1 – сталева пластина прямокутної форми; 2 – сталеві деталі нижнього пояса;
3 – трапецієподібна сталева пластина з отвором

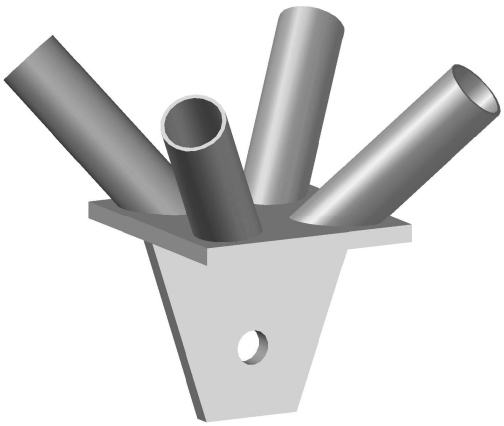

Рис. 4. Модель вузла з'єднання модульних елементів нижнього пояса і просторового сталезалізобетонного модуля структурно-вантової сталезалізобетонної циліндричної оболонки

Для встановлення особливостей напружено-деформованого стану і міцності трапецієподібної пластини вузла з'єднання було прийнято схему дослідження, яка моделювала її роботу і передбачала закріплення в поперечних перерізах стрижнів з прикладенням сили до отвору. На рис. 5 зображено діаграму розподілу напружень, з якої видно, що прийняті геометричні розміри і фізико-механічні властивості міцність пластини не забезпечують, оскільки напруження, що виникли в пластині, перевищують граничні значення. У зв'язку з цим виникла необхідність пошуку певних заходів, виконання яких дозволить досягти перерозподілу напружень таким чином, щоб їх максимальна величина не перевищувала допустимих значень. Спершу було збільшено товщину пластини на 10 мм, таким чином товщина пластини дорівнювала 25 мм. На рис. 6 зображено діаграму розподілу напружень після проведення перших оптимізаційних дій та порівняння напружень до і після зміни товщини пластини.

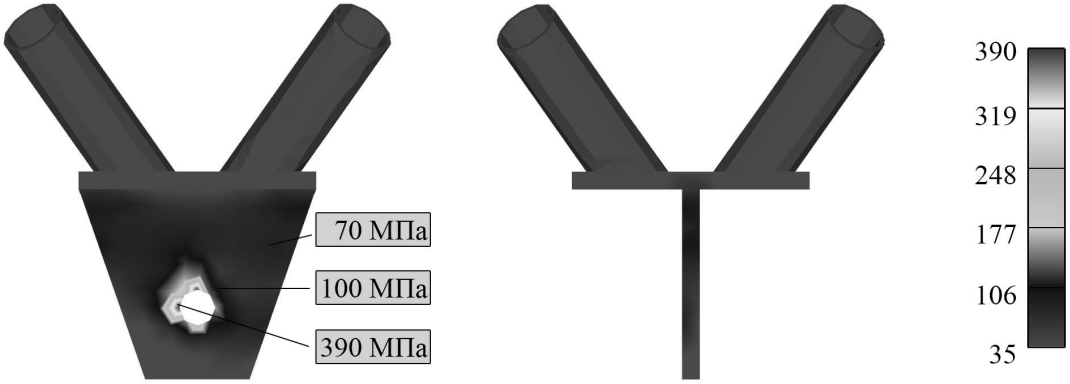

Рис. 5. Діаграма розподілу напружень в трапецієподібній пластині, МПа

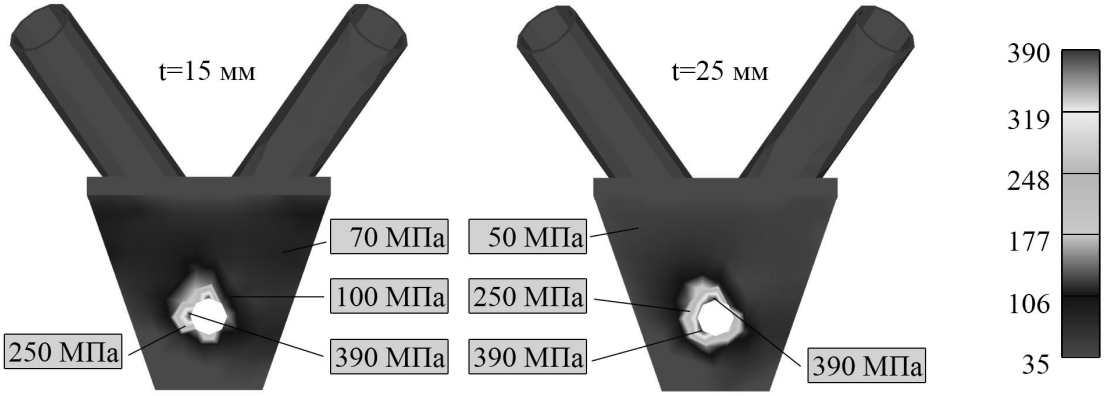

Рис. 6. Порівняння діаграм розподілу напружень до і після зміни товщини трапецієподібної пластини, МПа

Порівняння діаграм розподілу напружень в пластині після збільшення її товщини показує, що більшою мірою величина концентрацій напружень зменшилася, але міцність пластини знову не забезпечена. Таким чином, зміна товщини не дала позитивного результату, тому необхідно продовжувати пошук

заходів для забезпечення міцності пластини. Оскільки збільшувати товщину пластини далі недоцільно тому, що вона значно перевищуватиме товщини інших елементів і деталей вузла з'єднання, було прийнято рішення залишити товщину пластини рівною 15 мм, а збільшити діаметр отвору під болт на 12 мм. Таке рішення задовольняє вимоги діючих норм, бо відношення *a/d* рівне 1,5. Збільшення діаметра отвору приведе до збільшення площі контакту болта з пластиною і, як наслідок, величина напружень буде зменшуватися. На рис. 7 показано діаграму розподілу напружень в пластині зі збільшеним отвором.

При такому конструктивному рішенні в пластині виникають максимальні напруження величиною 220 МПа, – свідчить про достатню міцність пластини. Тепер необхідно проаналізувати характер деформування пластини. На рис. 8 показано деформовану модель вузла з'єднання.

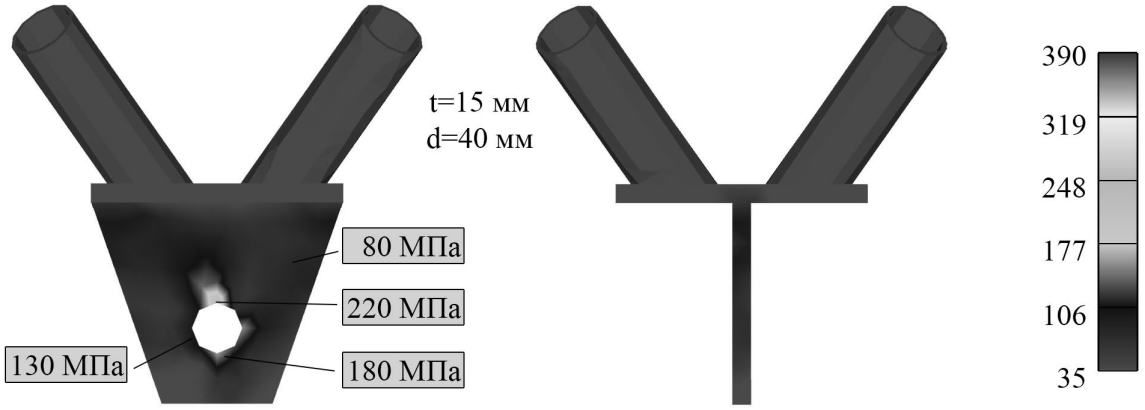

Рис. 7. Діаграма розподілу напружень в трапецієподібній пластині зі збільшеним отвором, МПа

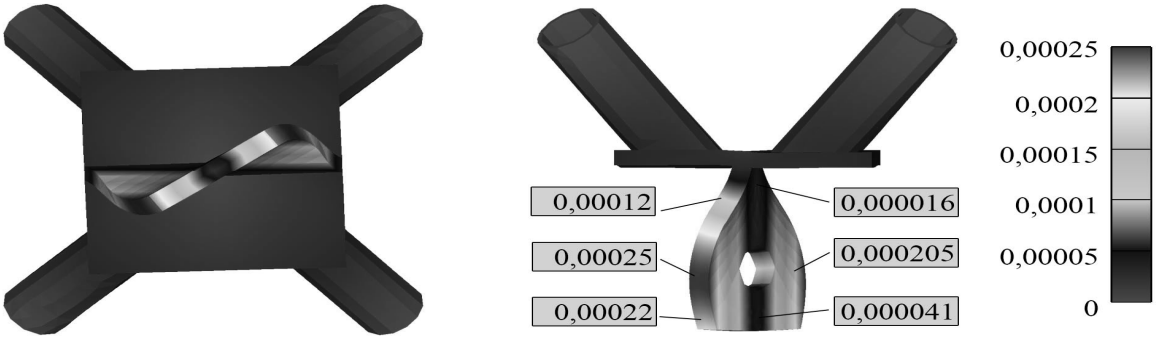

Рис. 8. Деформована модель трапецієподібної пластини зі збільшеним отвором (переміщення), м

Деформації пластини є незначними, тому можна вважати, що міцність пластини забезпечена повною мірою.

Таким чином, трапецієподібна пластина товщиною 15 мм і з отвором діаметром 42 мм під болт здатна сприймати напруження, що виникають внаслідок дії в елементах нижнього пояса структурно-вантової сталезалізобетонної циліндричної оболонки поздовжньої сили *N* величиною 43,98 кН.

Висновки. За результатами проведеного дослідження вивчено напружено-деформований стан сталевої пластини трапецієподібної форми, що призначена для з'єднання гнучких елементів нижнього пояса і просторових модулів структурно-вантової сталезалізобетонної циліндричної оболонки. Моделюванням встановлено характер деформування пластини і місця концентрацій максимальних напружень. Проведений аналіз напружено-деформованого стану дозволив виявити слабкі місця пластини та виконати її оптимізацію. Внаслідок зміни діаметра отвору під болт відбувся перерозподіл напружень таким чином, що максимальні значення не перевищували граничних. Це свідчить про достатню несучу здатність і міцність пластини.

Список використаних джерел

1. Storozhenko, L.I. Experimental research of strain-stress state of ferrocement slabs of composite reinforced concrete structure elements [Electronic resource] / L.I. Storozhenko, G.M. Gasii // Metallurgical and Mining Industry. – 2014. – №6. – P. 40–42. – Access mode: http: // www.metaljournal.com.ua / assets / MMI_2014_6 / 8-Gasii.pdf.
2. Behaviour and Design of Composite Steel and Concrete Building Structures [Text] / B. Uy, Z. Tao, D. Lam, L.H. Han. – Boca Raton: CRC Press, 2016. – 400 p.
3. Gasii, G.M. Technological and design features of flat-rod elements with usage of composite reinforced concrete [Electronic resource] / G.M. Gasii // Metallurgical and Mining Industry. – 2014. – №4. – P. 23–25. – Access mode: http: // www.metaljournal.com.ua / assets / Journal / 5.2014.pdf.
4. Гасій, Г.М. Експериментальні дослідження структурно-вантових покриттів [Текст] / Г.М. Гасій // Збірник наукових праць. Сер.: Галузеве машинобудування, будівництво. – 2014. – Вип. 3(42). – С. 47–51.
5. Стороженко, Л.І. Просторове сталезалізобетонне структурно-вантове покриття [Текст]: сб. научных трудов / Л.І. Стороженко, Г.М. Гасій // Строительство, материаловедение, машиностроение. – 2015. – Вип. 82 – С. 226–230.
6. Стороженко, Л.І. Просторові сталезалізобетонні структурно-вантові покриття [Текст] : монографія / Л.І. Стороженко, Г.М. Гасій, С.А. Гапченко. – Полтава: ТОВ «АСМІ», 2015. – 218 с.
7. Johnson, R.P. Composite Structures of Steel and Concrete: Beams, Slabs, Columns, and Frames for Buildings: Third Edition [Text] / R.P. Johnson. – Blackwell, 2004. – 252 p.
8. Oehlers, D.J. Composite Steel and Concrete Structures: Fundamental Behavior [Text] / D.J. Oehlers, M.A. Bradford. – Elsevier, 2013. – 588 p.
9. De Sousa Jr. J.B. Numerical analysis of composite steel-concrete columns of arbitrary cross section [Text] / J.B. De Sousa Jr., R.B. Caldas // Journal of structural engineering. – 2005. – Vol. 131. – №11. – P. 1721–1730.

Рецензент д-р техн. наук, професор Л.І.Строженко

Гасій Григорій Михайлович, канд. техн. наук, доцент, докторант кафедри конструкцій із металу, дерева і пластмас, Полтавський національний технічний університет ім. Юрія Кондратюка. E-mail.: grigorii_g_m@ukr.net.

Gasii Grygorii Mykhailovych, cand. of techn. sciences, associate Professor, doctoral student of the department of structures from a metal, wood and plastics, Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University. E-mail.: grigorii_g_m@ukr.net.

Стаття прийнята 08.06.2016 р.