

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІМЕНІ ІВАНА ПУЛЮЯ  
ФАКУЛЬТЕТ ІНЖЕНЕРІЇ МАШИН, СПОРУД І ТЕХНОЛОГІЙ  
КАФЕДРА БУДІВЕЛЬНОЇ МЕХАНІКИ

**БАСАРА МИКОЛА АНДРІЙОВИЧ**

УДК 624.014.078.45

**ВПЛИВ КОНСТРУКТИВНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ ВУЗЛІВ НА ТРИМКІСТЬ  
ЗВАРНИХ ФЕРМ**

8.06010101 «Промислове та цивільне будівництво»

**Автореферат**

дипломної роботи на здобуття освітнього ступеня «магістр»

Тернопіль  
2017

Роботу виконано на кафедрі будівельної механіки Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя Міністерства освіти і науки України

**Керівник роботи:** кандидат технічних наук, доцент  
**Ковальчук Ярослав Олексійович**  
Тернопільський національний технічний університет  
імені Івана Пулюя, завідувач кафедри

**Рецензент:** начальник ПМК 12  
Гринчишин Ігор Михайлович

Захист відбудеться 22 лютого 2017 р. о 10<sup>00</sup> годині на засіданні екзаменаційної комісії №7 у Тернопільському національному технічному університеті імені Івана Пулюя за адресою: 46001, м. Тернопіль, вул. Руська, 56, навчальний корпус №2, ауд. 35

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Складність конструкції зварних ферм і технологічні дефекти зварних з'єднань зумовлюють неоднозначну поведінку конструкцій при дії експлуатаційних навантажень. Частина ферм, зокрема підкроквяні ферми промислових будівель, передбачають встановлення на них кранових шляхів і, відповідно, працюють в умовах циклічних навантажень. При цьому рівень напружень в них значно відрізняється від розрахункових, а наявність в зварних фермах концентраторів напружень і технологічних дефектів є однією із причин появи втомної тріщини в процесі експлуатації ферм. Тому раціональне конструювання вузла дасть змогу забезпечити підвищення ресурсу роботи зварних ферм, що є актуальним на сьогоднішній день.

**Мета роботи** виявлення параметрів НДС у різних конструкціях вузлів зварних ферм при їх навантажуванні.

**Об'єкт дослідження** – тримкість зварних будівельних ферм при дії статичних та циклічних навантажень.

**Предмет дослідження** – конструктивні особливості вузлів зварних ферм.

**Методи дослідження** – метод скінченних елементів реалізований у прикладному програмному комплексі ANSYS Workbench 17.1.

**Наукова новизна отриманих результатів:**

– удосконалено конструкцію підкроквяної зварної ферми за рахунок виконання косинок з вирізами, що забезпечило підвищення довговічності ферми при дії циклічних навантажень;

– отримав подальший розвиток метод комп'ютерного моделювання для визначення НДС у вузлах зварних ферм з використанням програмного пакету ANSYS Workbench 17.1 за рахунок верифікації результатів досліджень.

**Практичне значення отриманих результатів.**

Отримані в роботі результати досліджень можуть бути використані при проектуванні зварних ферм в цілому та їх вузлів зокрема.

**Апробація.** Основні положення та висновки даного дослідження доповідались на V міжнародній науково-технічній конференції молодих учених та студентів ТНТУ імені І. Пулюя (Тернопіль, 2016) та опубліковані в збірнику тез цієї конференції.

**Структура роботи.** Робота складається з розрахунково-пояснювальної записки та мультимедійної презентації. Розрахунково-пояснювальна записка складається з вступу, семи розділів, висновків, переліку посилань. Обсяг роботи: розрахунково-пояснювальна записка – 100 аркушів формату А4, мультимедійна презентація – 18 слайдів.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі подано загальну характеристику роботи: стан наукової проблеми й актуальність роботи, мету і завдання роботи, об'єкт, предмет і методи дослідження,

описано наукову новизну і практичну значимість отриманих результатів, зв'язок напрямку дослідження із планами науково-дослідних робіт кафедри.

У першому розділі «Вплив міцності вузлів на тримкість зварних ферм» виконано огляд літератури за темою роботи, зокрема конструктивні особливості зварних ферм, типи вузлів, а також напружено-деформівний стан у зварних швах. Проаналізовано основні чинники руйнування ферм та їх вузлів. Розглянуто системи скінчено-елементного аналізу, які реалізовано в різних прикладних програмних пакетах комп'ютерних розрахунків, що дозволяє на стадії проектування підібрати оптимальні розміри елементів конструкції і підвищити їх надійність і довговічність впродовж експлуатації.

У другому розділі «Сучасні методики дослідження тримкості зварних ферм» виконано аналіз нормативних вимог для виготовлення зварних ферм, також розглянуто принципи напівнатурного експериментального дослідження зварних ферм, які полягають у виявленні особливостей поведінки складних технічних систем. Здійснено вибір ферми для досліджень та розроблено її фізичну модель. Для дослідження в роботі прийнято зварну підкрюквяну ферму 18000x3600 зі сталюого вальцьованого кутника 100x100x7 мм (рис.1).

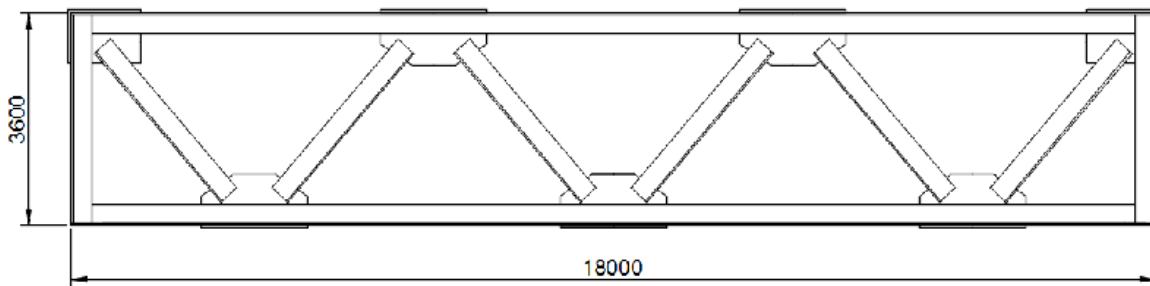


Рисунок 1 – Конструкція досліджуваних ферм

Таку конфігурацію ферми можна використовувати як підкрюквяну ферму в спорудах, де основний тип навантаження статичний, так і для тримких конструкцій мостів, підкранових шляхів та башт підймальних кранів, опор ліній електропередач, де, крім статичних навантажень, суттєвим є вплив циклічних навантажень (рис. 2).

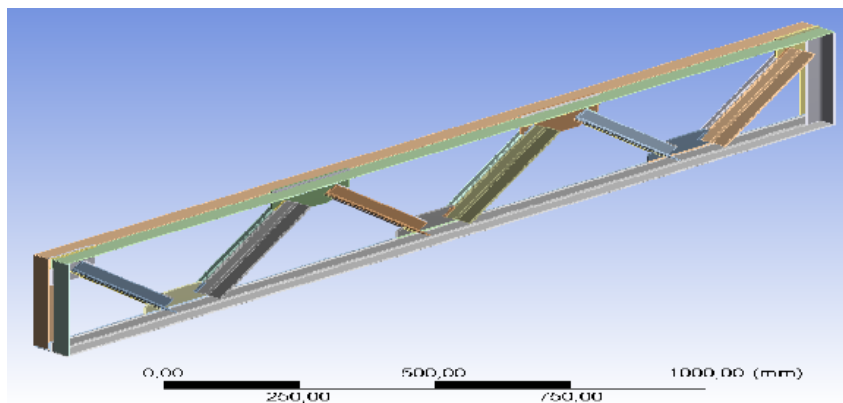
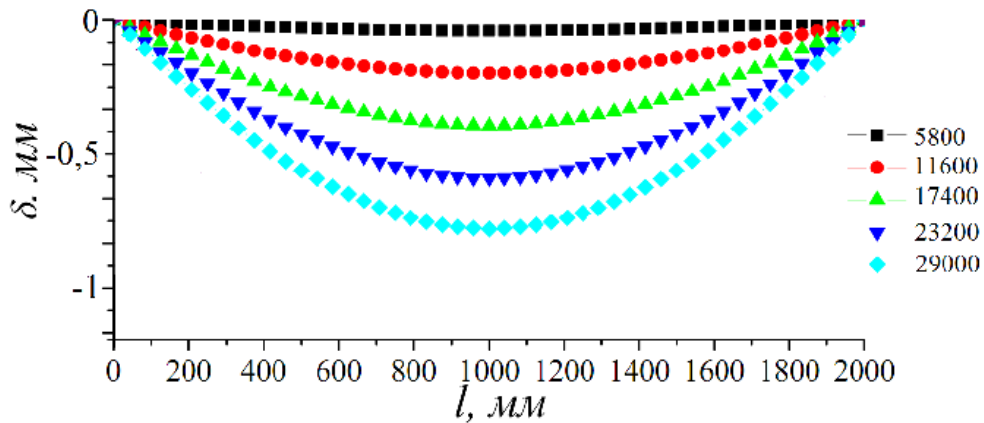


Рисунок 2 – Фізична модель зварної підкрюквяної ферми

Фізичну модель виконано з різними конструктивними формами косинок. Такий підхід дасть можливість виявити вплив конструктивних особливостей вузлів на тримкість зварної ферми.

У третьому розділі «Локалізація напружень у вузлах зварних ферм та шляхи їх зниження» виконано розрахунок у програмному пакеті ANSYS Workbench 17.1, який передбачає виявлення показників напружено-деформівного стану фізичної моделі зварної підкрювняної ферми 2000x400 мм (рис. 2).

За результатами виконання комп'ютерного моделюючого експерименту отримано величину прогину нижнього поясу (рис.3).



Виконано розрахунок повномасштабної зварної ферми розмірами 18000x3600 при дії циклічних навантажень. При цьому прийнято режим навантажування з коефіцієнтом асиметрії циклу  $R=0,1$  і частотою  $f=1$  Гц.

Отримано напруження вздовж нижнього поясу ферми (рис. 6) та напруження в правому розкосі (рис. 7).

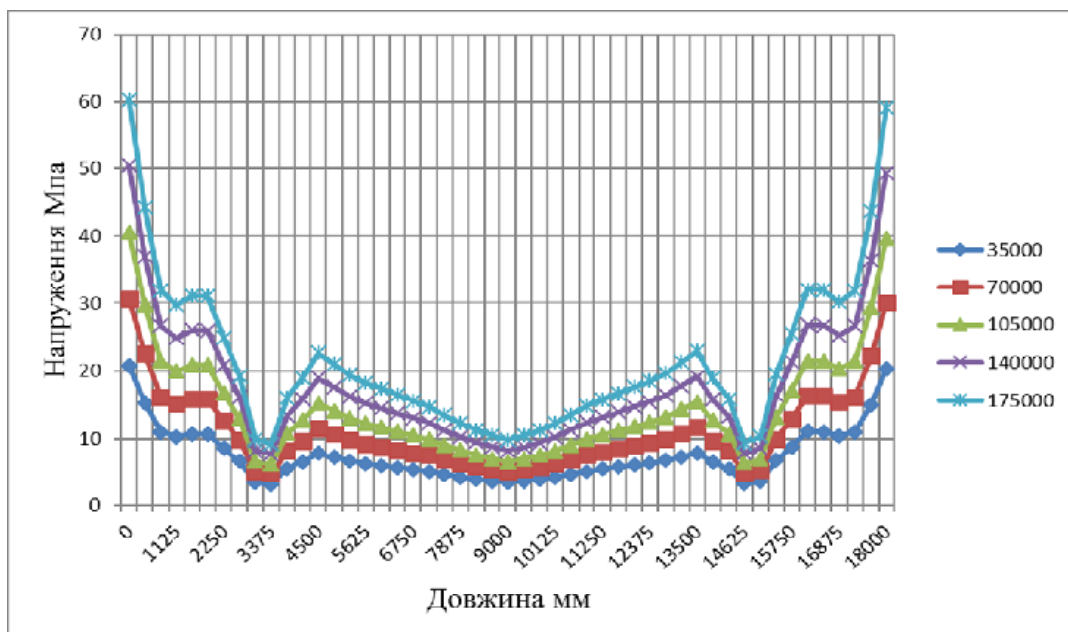


Рисунок 6 – Напруження вздовж нижнього поясу ферми

Аналізуючи показники НДС в елементах досліджуваної ферми, які отримано комп'ютерним моделюючим експериментом, можна зробити висновок, що саме вузли для зварної ферми є тим місцем, де локалізуються максимальні напруження.

Згідно чинних ДБН передбачено декілька типових конструкцій косинок за конфігурацією. Для розглядуваної ферми з поясами і розкосами зі спарених кутників доцільно використати косинки за рис. 10. Варіанти *a*, *б* – стандартизовані, *в*, *г* – запропоновані, виходячи з аналізу кривої втоми, отриманих за результатами комп'ютерного моделюючого експерименту (рис. 11) найдоцільнішою є косинка із круглим вирізом.



Рисунок 10 – Конструкція вузлових косинок

*a*, *б* – стандартизовані варіанти, *в*, *г* – запропоновані варіанти

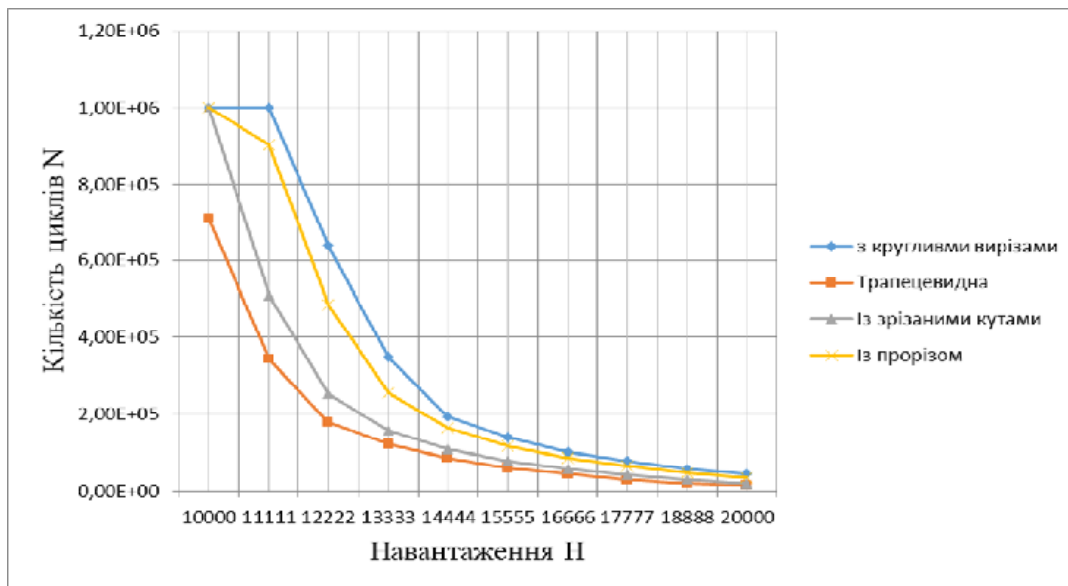


Рисунок 11 – Крива втоми для різних форм косинок

У четвертому розділі «Спеціальна частина» проведено аналіз НДС в нижньому поясі ферми та запропоновано варіант заміни в нижньому поясі ферми спареного кутника на спарений швелер.

Порівнявши конструкції двох ферм із різними виконанням нижнього поясу, виявлено, що вищу несучу здатність при статичних навантаженнях та довговічність при циклічних навантаженнях має варіант, де нижній пояс виконано зі спарених швелерів.

У п'ятому розділі «Організаційно-економічна частина» проведено розрахунок економічної ефективності на виготовлення нової повномасштабної

зварної підкроквяної ферми з різними варіантами виконання нижнього поясу. Зроблено висновок, що варіант виконання нижнього поясу ферми зі спареного швелера є більш витратним.

У шостому розділі «Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях» розглянуті правила щодо забезпечення безпечних умов праці при виконанні монтажних робіт металевих конструкцій та заходи щодо підсилення конструкції в разі ядерного вибуху.

У сьомому розділі «Екологія» розроблено заходи щодо економії та раціонального використання природних ресурсів.

### ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. За результатами літературного огляду виявлено, що локалізація максимальних напружень формується у вузлах зварних ферм. Найбільше це виражається при циклічних навантаженнях.

2. Комп'ютерним моделюючим експериментом в пакеті Ansys Workbench 17.1 виявлений розподіл напружень для кожної з конфігурацій. Отримано зниження напружень в косинці з вирізом на 14,2% в порівнянні з стандартною конструкцією косинки при циклічних навантаженнях.

3. Заміна нижнього поясу ферми зі спареного кутника на спарений швелер збільшує вартість конструкції на 7,2% однак несуча здатність збільшується на 10,4%.

### СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ

1. М.А. Басара Вплив конструктивних особливостей вузлів на тримкість зварних ферм / М.А. Basara The impact of the nodes structural features on bearing capacity of welded truss // V міжнародна науково-технічна конференція молодих учених та студентів ТНТУ імені І. Пулюя – Тернопіль: Укр, 2016. –114.

### ОСНОВНІ ЛІТЕРАТУРНІ ДАНІ ВИКОРИСТАНІ ПРИ ВИКОНАННІ РОБОТИ

1. Ковальчук Я.О. Вплив попереднього пластичного деформування стиском на кінетику поширення втомних тріщин.// Матеріали Х1 науково-технічної конференції ТДТУ. – Тернопіль: 2007. – С. 38.

2. Пат. №40196 Україна, МПК G01N 3/00. Пристрій для базування зварних ферм при випробуваннях на статичну та циклічну міцність / Шингера Н. Я., Ковальчук Я. О.; заявник і патентовласник Тернопіль. держ. техніч. ун-т. – №40196 ; заявл.13.11.08 ; опубл. 25.03.09, Бюл. №6.

3. Ковальчук Я. О. Особливості статистичного дослідження зварних навантажених ферм / Я. О. Ковальчук, Н. Я. Шингера // Вісник ТДТУ ім. Івана Пулюя. – 2009. – №1. – С. 23 – 27.

4. Шингера Н. Статистична оцінка властивостей сталі ВСтЗпс на ділянці термічного впливу від зварного шва / Н. Шингера, Я. Ковальчук // XIV наук. конф. Тернопільського нац. тех. ун-ту ім. І. Пулюя, 27–28 жовт. 2010р. : тези доп. – Тернопіль, 2010. – С. 59.

5. Шингера Н. Фізичне моделювання для оцінки залишкового ресурсу зварних фермових конструкцій. / Н. Шингера, Я. Ковальчук // Прогресивні матеріали та технології в машинобудуванні, будівництві та транспорті : наук. конф. мех.-технолог. фак. ТНТУ ім. І. Пулюя, 16 трав. 2011р. : тези доп. – Тернопіль, 2011. – С. 10.

6. Шингера Н. Я. Моделювання пошкодження зварних будівельних ферм / Н. Я. Шингера, Я. О. Ковальчук, І. Б. Окіпний // Вісник Тернопільського нац. техн. ун-ту ім. І. Пулюя. – 2011. – Спецвип., част. 2 – С. 112–117.

7. Ковальчук Я. Статистичні особливості втомного пошкодження зварних будівельних ферм / Я. Ковальчук, Н. Шингера // XV наук. конф. Тернопільського нац. тех. ун-ту ім. І. Пулюя, 14–15 груд. 2011р. : тези доп. – Тернопіль, 2011. – С. 127.

8. Ковальчук Я.О. Статистичне моделювання втомного пошкодження зварної ферми / Я.О. Ковальчук, Ю.І. Пиндус, Н.Я. Шингера // Науково-технічний збірник «Сучасні технології, матеріали і конструкції у будівництві»: – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця. –2012. – №2 (13) – С. 91–94.

9. Ковальчук Я.О. Тримка здатність будівельної підкровоквяної зварної ферми при дії статичних навантажень / Я.О.Ковальчук, Н.Я. Шингера // XVI наук. конф. Тернопільського нац. тех. ун-ту ім. І. Пулюя, 5–6 груд. 2012р. : тези доп. – Т. II, Тернопіль, 2012. – С. 88.

10. Пат. №86798 Україна, МПК G01N 25/16. Пристосування для визначення температурних деформацій плоских ферм / Ковальчук Я.О., Шингера Н.Я., Бойчук А.В., Рибачок Н.І., Бобик М.П.); заявник і патентовласник Тернопіль. нац. техніч. ун-т. – №86798 ; заявл.15.07.2014 ; опубл. 10.01.2014, Бюл. №1.

11. Ковальчук Я. О. Деформування зварної будівельної ферми при статичних навантаженнях / Я. О. Ковальчук, Н. Я. Шингера, О.І.Рибачок // Вісник ТНТУ ім. Івана Пулюя. – 2014. – №1. – С. 28 – 34.

12. Ясній П. В. Верифікація результатів моделювання напружено-деформованого стану зварної ферми / Ясній П. В., Ковальчук Я. О., Шингера Н. Я., Рибачок О. І. // Механіка і фізика руйнування будівельних матеріалів та конструкцій [Текст]: Зб. наук. статей / За заг. ред. Лучка Й.Й. – Львів: Каменяр, 2014. – Вип. 10. – С. 461 – 471.

13. Ковальчук Я. О. Моделювання напружено-деформованого стану нижнього пояса будівельної зварної ферми / Я. О. Ковальчук, Н. Я. Шингера, О.І.Рибачок // Вісник ТНТУ ім. Івана Пулюя. – 2014. № 2– С. 34 – 39.

14. Ковальчук Я.О. Особливості втомного пошкодження вузлів зварної ферми / Я.О. Ковальчук, Н.Я. Шингера, О.І. Качка // Міжнародна науково-технічна конференція «Інноваційні технології в будівництві» – ВНТУ, 18-20 листоп. 2014 р.: тези доп. – , Вінниця, 2014, с. 37.

15. Ковальчук Я.О. Моделювання втомної пошкоджуваності вузлів підкровоквяних ферм / Я.О. Ковальчук, Н.Я. Шингера, О.І. Качка // XVIII наук. конф. Тернопільського нац. тех. ун-ту ім. І. Пулюя, 29–30 жовт. 2014р. : тези доп. – Тернопіль, 2014. – С. 87.



16. Ковальчук Я.О. Вплив конструктивних та технологічних особливостей вузлів на тримкість зварної ферми / Я.О Ковальчук, Н.Я. Шингера, О.І.Качка // Міжнар. наук.-техн. конф. «Фундаментальні та прикладні проблеми сучасних технологій», ТНТУ, 19–20 трав. 2015 р.: тези доп. – Тернопіль, 2015. – С. 43.

17. Ковальчук Я.О. Моделювання напружено-деформованого стану кроквяної ферми / Я.О. Ковальчук, Н.Я. Шингера, О.І. Качка // III наук.-техн. конф. мех.-техн. ф-ту Тернопільського нац. тех. ун-ту ім. І. Пулюя, „Прогресивні матеріали та технології в машинобудуванні, будівництві та транспорті”, – 21 трав. 2015 р.: тези доп. – Тернопіль, 2015. – С. 17.

18. Ковальчук Я.О. Втомна пошкоджуваність вузлів зварних фермових мостів / Я.О. Ковальчук, Н.Я. Шингера, О.І. Качка // Міжнар. наук.-практ. конф. ім. д.т.н. Сокола Е.М. «Безпека руху і наукові засади експертних досліджень транспортних пригод та інженерних споруд», 9–11 верес. 2015 р.: тези доп. – Львів, 2015. – С. 66.

19. Ковальчук Я.О. Моделювання НДС зварної кроквяної ферми при експлуатаційних навантаженнях / Я.О. Ковальчук, Н.Я. Шингера, О.І. Качка // Пошкодження матеріалів під час експлуатації, методи його діагностування і прогнозування: матеріали IV міжнар. наук.-практ. конф., 21–24 верес. 2015 р. – Тернопіль, 2015. – С. 244–247

20. Ковальчук Я. О. Моделювання поведінки зварної кроквяної ферми при розподілених навантаженнях / Я. О. Ковальчук, Н. Я. Шингера, О.І.Качка // Вісник ТНТУ ім. Івана Пулюя. – 2015. № 3(79)– С. 46 – 51.

21. Ковальчук Я.О. Втомна пошкоджуваність вузлів зварних фермових мостів / Я.О. Ковальчук, Н.Я. Шингера, О.І. Качка // Міжнар. наук.-практ. конф. ім. д.т.н. Сокола Е.М. «Безпека руху і наукові засади експертних досліджень транспортних пригод та інженерних споруд», 9–11 верес. 2015 р.: тези доп. – Львів, 2015. – С. 66.

22. Ковальчук Я.О. Фізичне моделювання втомного пошкодження зварної ферми / Я.О Ковальчук, Н.Я. Шингера // XIX наук.-техн. конф. ТНТУ, 18–19 трав. 2016 р.: тези доп. – Тернопіль, 2016. – С. 143.

23. Ковальчук Я.О. Комп'ютерне моделювання напружень у зварній фермі / Я. О.Ковальчук, Н.Я. Шингера //Вісник ТНТУ ім. Івана Пулюя. – 2016. № 2(82) – С. 44 –48.

24. Ковальчук Я.О. Комп'ютерне моделювання деформації зварної ферми з косинками у вузлах / Я. О.Ковальчук, Н.Я. Шингера //Вісник ТНТУ ім. Івана Пулюя. – 2016. № 3(83) – С. 73 –79.

## АНОТАЦІЯ

**Басара М.А. Вплив конструктивних особливостей вузлів на тримкість зварних ферм. – Рукопис.**

Дипломна робота на здобуття освітнього ступеня «магістр» за спеціальністю: 8.06010101 – Промислове та цивільне будівництво.

У дипломній роботі проаналізовано методичні аспекти дослідження НДС в елементах зварних ферм з використанням сучасних обчислювальних засобів і програмних комплексів. Виконано напівнатурний силовий експеримент зварної підкроквяної ферми при дії на неї статичних навантажень, комп'ютерне

модельовання аналогічних навантажень для цієї конструкції та верифіковано його результати. Отримано параметри НДС для повномасштабної ферми при циклічних навантаженнях. Запропоновано конструкцію косинок, яка дає можливість зменшити напруження у вузлах і за рахунок цього підвищити ресурс ферми за умов циклічних навантажень. Виконано розрахунок із різною конструкцією нижнього поясу ферми. Наукові дослідження виконані з використанням прикладного програмного комплексу, що базується на методі скінченних елементів.

**Ключові слова:** зварна ферма, пошкодження вузлів, циклічне навантаження.

#### ANNOTATION

**Basara M.A. The impact of the nodes structural features on bearing capacity of welded truss. – Manuscript.**

Diploma thesis on completion of educational degree "master" for the specialty 8.06010101 - Industrial and civil construction.

In the diploma work analyzed the methodological aspects of the stress-strained state in elements of welded trusses using modern computational tools and software systems. Semi-natural powerful experiment of eaves girder affected by static loads were performed and verified by computer modeling of similar loads. Parameters of stress-strained state for full-scale truss under cyclic loads were obtained. Design of joint plates that were proposed, makes possible to reduce stress in truss nodes thus increase truss life. The calculation of the different designs bottom chord of trusses was performed. Research performed using application software system based on the finite element method

**Keywords:** welded truss, impact of nodes, cyclic loading.