



УДК 621.879.3:624.016

**RESEARCH OF THE APPLICATION OF COMPOSITE MATERIAL IN THE METAL CONSTRUCTION OF EXCAVATOR WORKING EQUIPMENT****ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАСТОСУВАННЯ КОМПОЗИТНОГО МАТЕРІАЛУ У МЕТАЛОКОНСТРУКЦІЇ РОБОЧОГО ОБЛАДНАННЯ ЕКСКАВАТОРА****Spilnyk M.A. / Спільник М.А.***Ph. D., as. prof./ к.т.н., доц.*

ORCID: 0000-0001-6990-1382

**Krol R.M. / Кроль Р.М.***Ph. D., as. prof./ к.т.н., доц.*

ORCID: 0000-0002-7180-663X

**Uzhelovskyi A.V. / Ужеловський А.В.***Ph. D., as. prof./ к.т.н., доц.*

ORCID: 0000-0001-7665-8085

**Uzhelovskyi V.O. / Ужеловський В.О.***Ph. D., as. prof./ к.т.н., доц.*

ORCID: 0000-0001-7328-8226

*Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture,  
Dnipro, Architect Oleh Petrov str, 24, a, 49005  
Придніпровська державна академія будівництва та архітектури,  
Дніпро, Архітектора Олега Петрова, 24, а, 49005*

**Анотація.** Розвиток машинобудування супроводжується відходом від типових збірних конструкцій великої металоємності, що пов'язано із загальною тенденцією зниження витрат на конструкційні матеріали та світовою економічною ситуацією. Йде постійний інтенсивний пошук нових конструктивних рішень. Метою є дослідження конструкції землерийних машин, які мають робоче обладнання з металевих труб на стиск і кручення при заливці бетоном з різними домішками. Висновки: Аналіз схем металоконструкції екскаватора із заповнювачем у вигляді бетону з армуючими домішками, використанням заповнювача по всьому об'єму порожнини дозволяє підвищити міцність конструкції на 20...25%. Вага металеві конструкції, в порівнянні з традиційною, зменшена на 20%.

**Ключові слова:** машинобудування, екскаватор, робочий процес, труботетон, армуючі елементи, напружено-деформований стан.

**Вступ.**

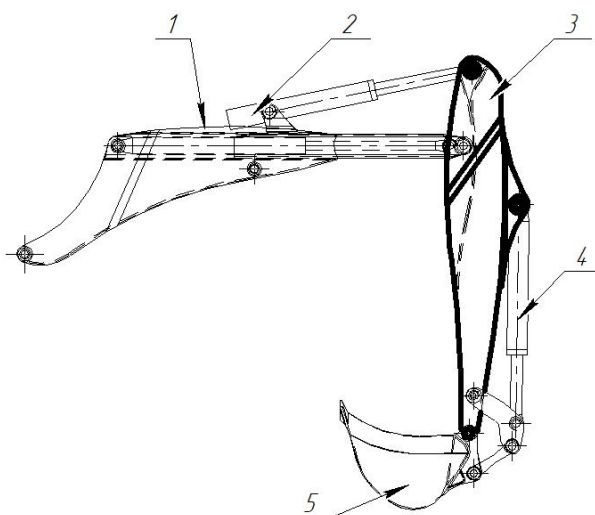
Розвиток машинобудування супроводжується відходом від типових збірних конструкцій з великою металоємністю, що пов'язано із загальною тенденцією на зниження витрат конструкційних матеріалів та світовою економічною ситуацією [1,2]. Ведеться постійний інтенсивний пошук нових конструктивних рішень [3]. Зростає використання більш потужної обчислювальної техніки, накопичення експериментального матеріалу і багаторічного досвіду спостережень за конструкціями з урахуванням фактичних навантажень та впливів надають можливість поєднувати різні матеріали для підвищення міцності конструкції, (поєднання бетону, сталевих профілей й армування для раціональної сумісної роботи).

Труботетонні конструкції знайшли широке застосування в світовій будівельній практиці завдяки своїм позитивним якостям [4-7]. Труботетон у машинобудуванні та його механічні властивості також набули актуальності останнім часом [8-12].



Метою є дослідження конструкції землерийних машин, які мають робоче обладнання зі металевої труби, на стиск та кручення при заповненні бетоном з різноманітними домішками.

У процесі роботи рукоять екскаватора сприймає стискаюче зусилля та згинаючий момент (рис.1). Під дією таких навантажень рукоять екскаватора почне змінювати свою початкову геометричну форму, що може спричинити руйнування конструкції. Вигляд зруйнованої рукояті, який встановлений на екскаваторі, зображений на рис.2.



**Рисунок 1. Загальний вигляд робочого обладнання екскаватора JCB 3CX**  
1 – стріла; 2 - гідроциліндр рукояті; 3 – рукоять; 4 – гідроциліндр ковша; 5 - ківш



а



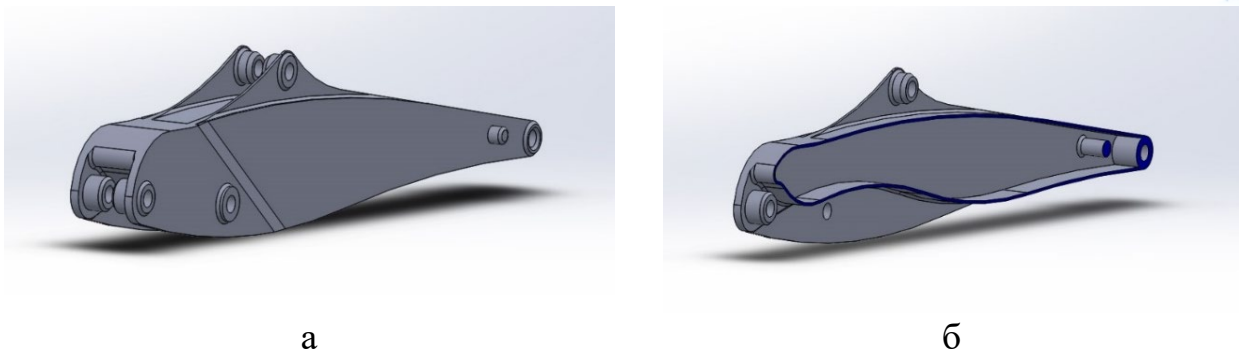
б

**Рисунок 2. Зруйновані рукояті на екскаваторах**  
а – руйнування середньої частини; б – руйнування верхньої частини

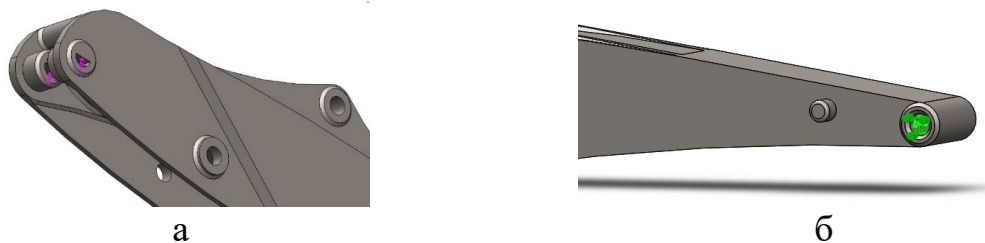
За основу для дослідження взята модель рукояті екскаватора JCB 3CX (рис.3) з відповідними геометричними характеристиками. Також були задані початкові умови: матеріал – вуглецева сталь; зусилля копання, яке створює гідроциліндр рукояті - 31,63кН.

Дослідження моделей проводилося за допомогою сучасного програмного забезпечення CAD Solid Works.

Для отримання об'єктивних результатів розглянуті схеми, які пояснюють методику прикладення сил, як з боку стріли, так і з боку ковша у разі зіткнення його з неподоланою перешкодою (сила, яка діє на провину шарнірного з'єднання зі стрілою, на провину, шарнірного з'єднання із ковшем) (рис.4).

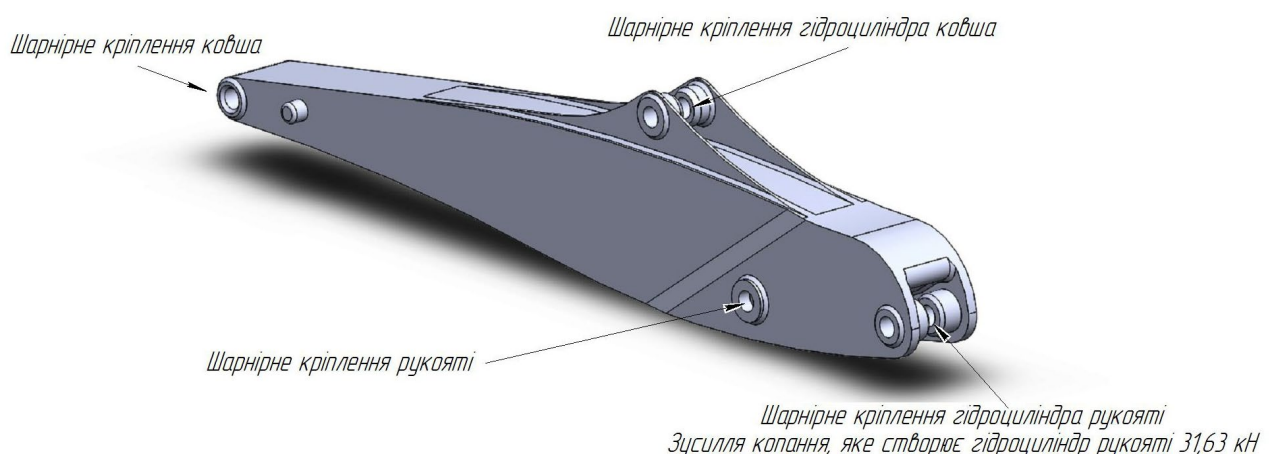


**Рисунок 3. Об'ємна модель рукояті екскаватора**  
*а – загальний вигляд моделі; б – повздовжній розріз*



**Рисунок 4. Схема закріплення стріли екскаватора для проведення дослідження напружено-деформованого стану**  
*а – схема дії сили гідروциліндра рукояті; б - схема дії сили на провушину зі сторони ковша*

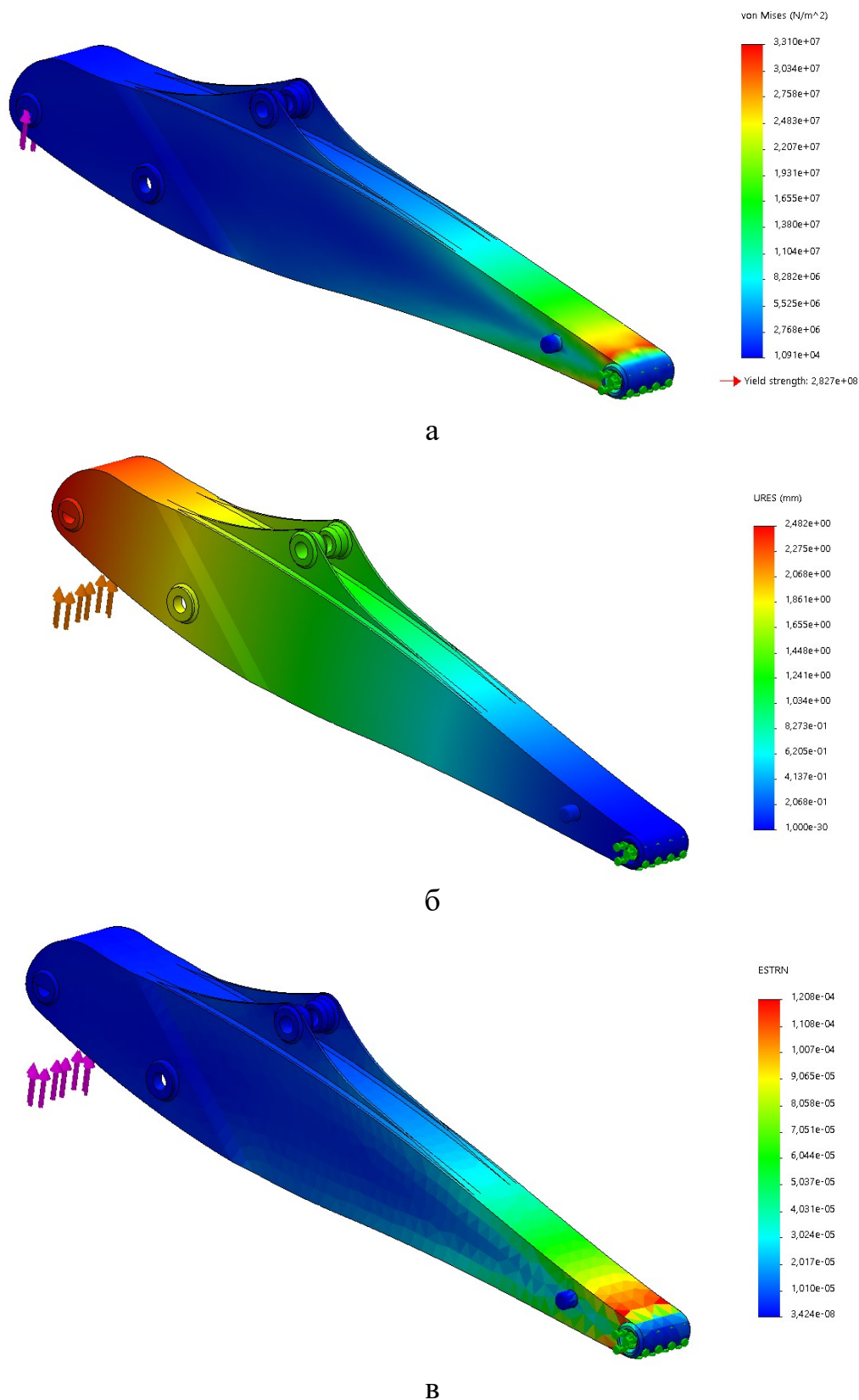
У результаті прикладення сил до провушин на рукояті була складена загальна схема дослідження, яка представлена на рис.5.



**Рисунок 5. Узагальнена схема кріплення рукояті екскаватора**

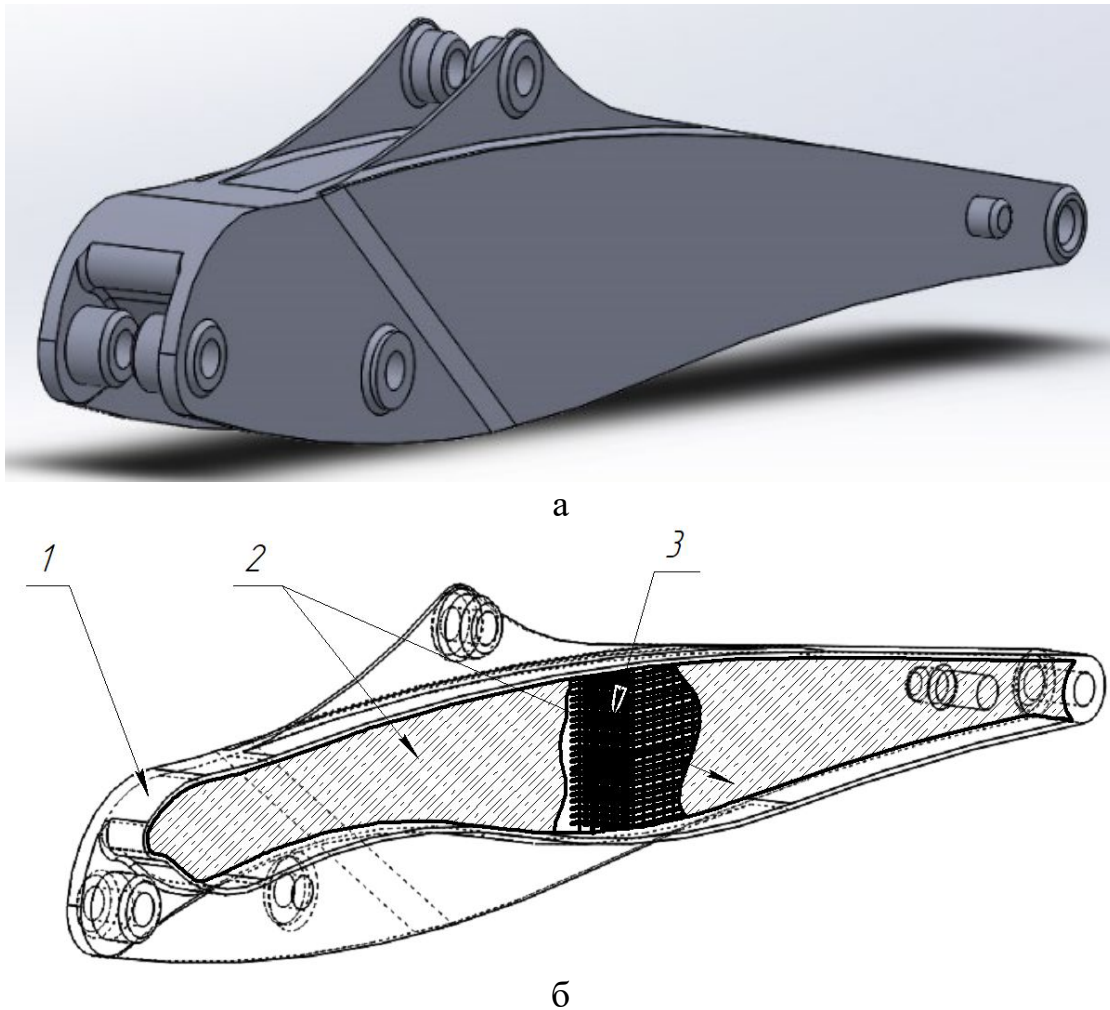
На основі проведеного аналізу отримані епюри напружень, епюри переміщень, епюри деформацій досліджуваних елементів (рис.6).

Після аналізу отриманих епюр, прийшли до висновку, що робоче обладнання екскаватора традиційної конструкції є достатньо матеріалоемним та не стійким до великих навантажень, які виникають у процесі роботи землерийної машини.



**Рисунок 6. Епюри досліджень напружено-деформованого стану рукояті екскаватора**

*а – епюра напруження; б – епюра переміщення; в – епюра деформації*



**Рисунок 7. Об'ємна модель рукояті екскаватора**

*а – загальний вигляд моделі; б – поздовжній розріз моделі з заповнювачем у порожнині рукояті;*

*1 – рукоять екскаватора; 2 – бетон; 3 – армуючі елементи*

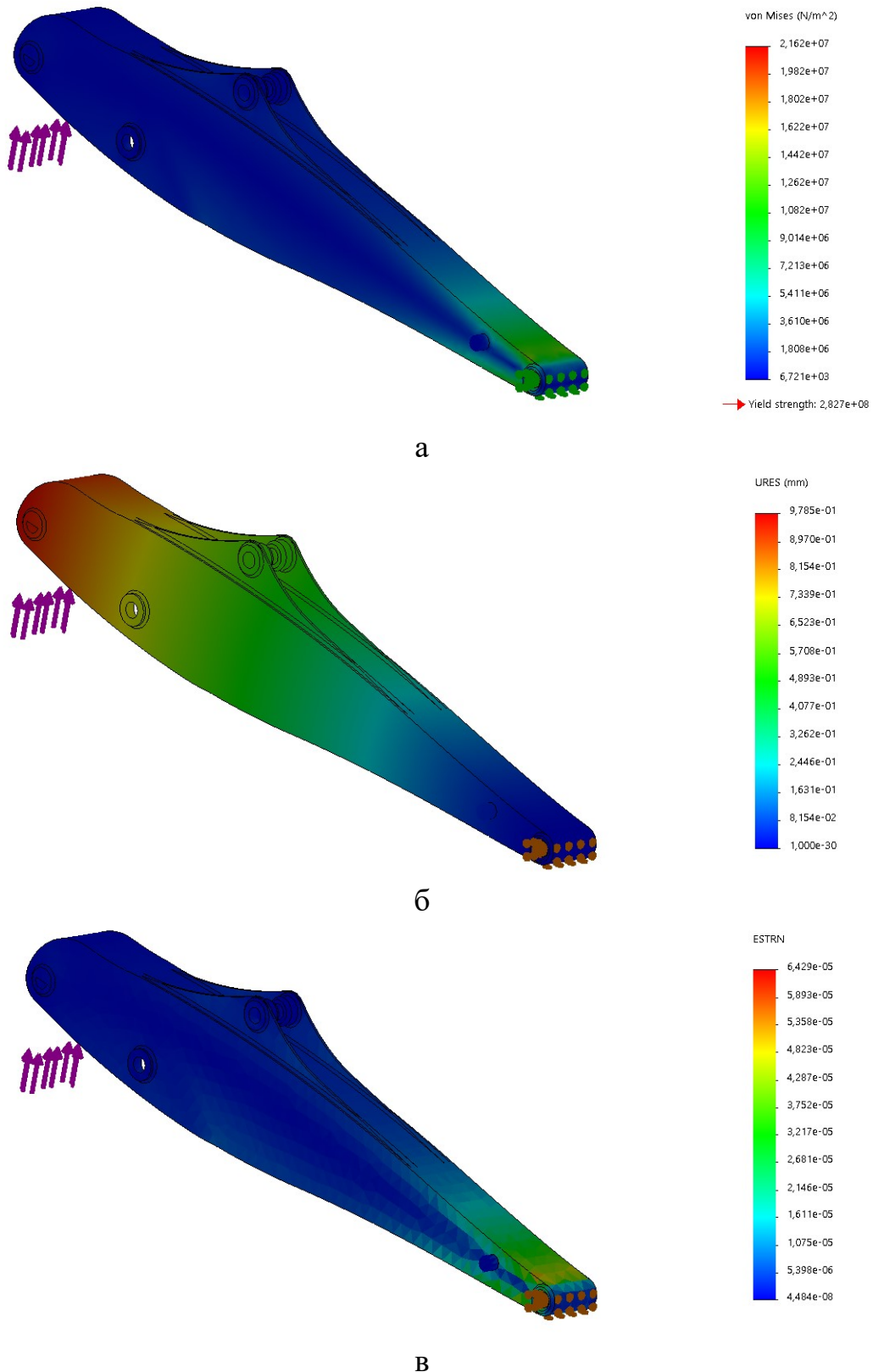
Проведені дослідження показали, що традиційна конструкція рукояті потребує удосконалення. Шляхом вирішення даної проблеми може бути використання композитного матеріалу у порожнинах робочого обладнання, наприклад: бетон з армуючими елементами; бетон з домішками.

Аналізуючи роботи [7-16] прийшли до висновку, що використання трубобетонного елемента, при роботі у сталевій трубі в умовах об'ємного напруженого стану, збільшить міцність бетону, завдяки чому можна припустити, що конструктивні елементи з трубобетону матимуть безперечні технічні та економічні переваги (рис.7,9).

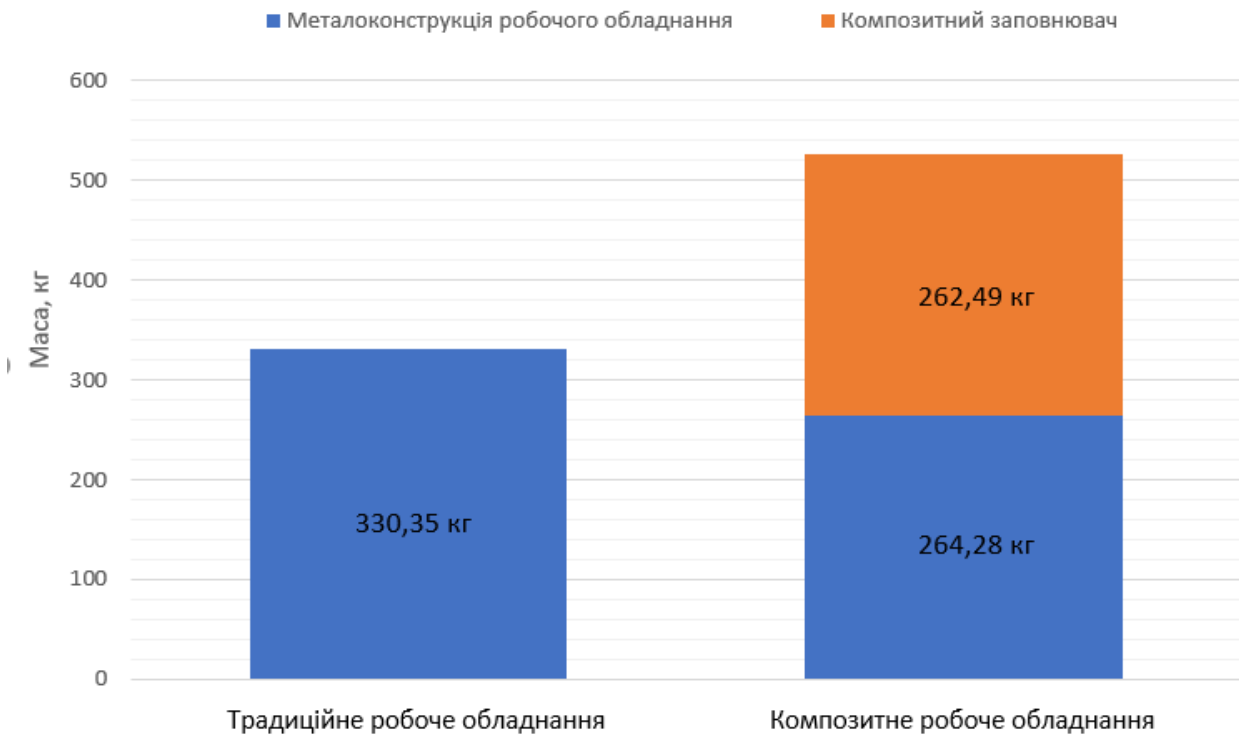
Перевагою даного метода збільшення міцності металоконструкції (рис.8, 10) є відносно проста технологія його виготовлення. У роботах, які присвячені дослідженню трубобетону, відмічено, що труба є лише опалубкою при роботі елемента і починає працювати як обойма при стадії близькій до руйнування бетону. Руйнування відбувається при значних поздовжніх деформаціях. Руйнування коротких трубобетонних елементів при осьовому стиску відбувається внаслідок локальної втрати стійкості – короткохвильової форми випирання, коли в якомусь місці стінки труби утворюються гофри – вм'ятини й



випуклості. Це свідчить про те, що труобетон сприймає об’ємний напружений стан на всіх стадіях роботи та руйнується в результаті досягнення поперечними деформаціями граничних значень як у трубі, так і в бетоні [7, 11-13].

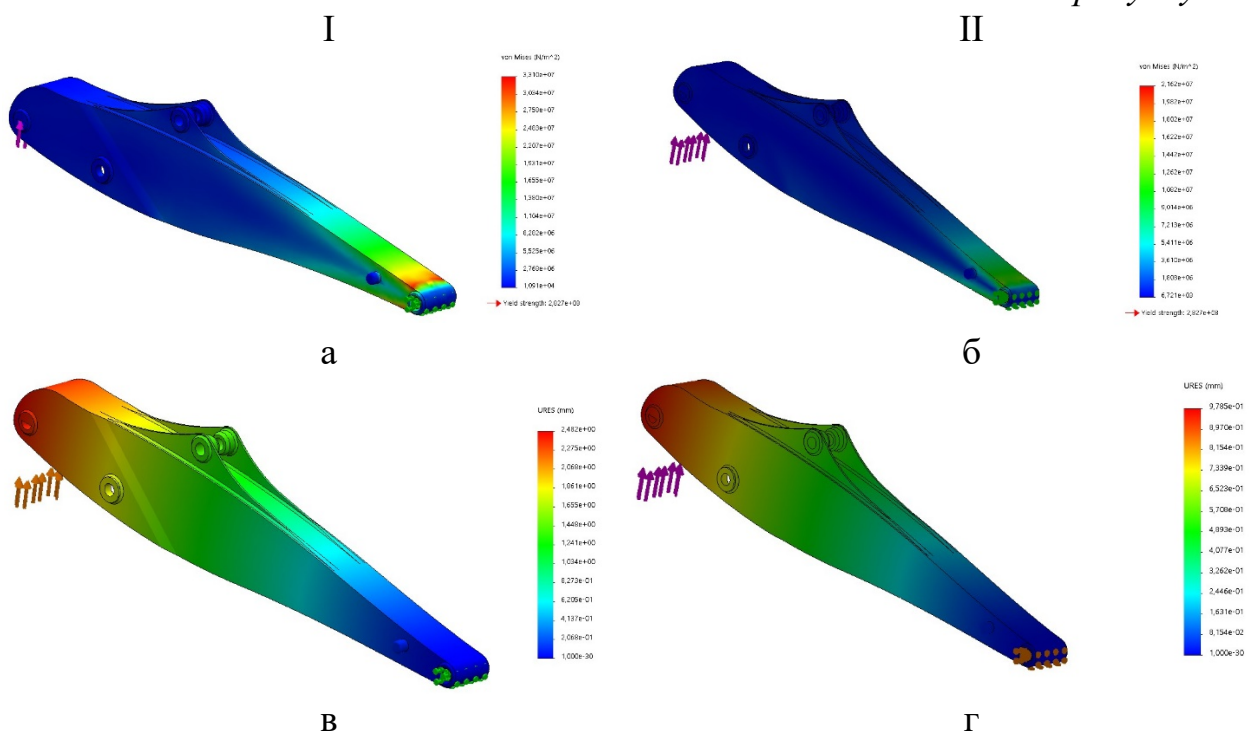


**Рисунок 8. Епюри досліджень напружено-деформованого стану рукояті екскаватора із заповнювачем**  
*а – епюра напруження; б – епюра переміщення; в – епюра деформації*



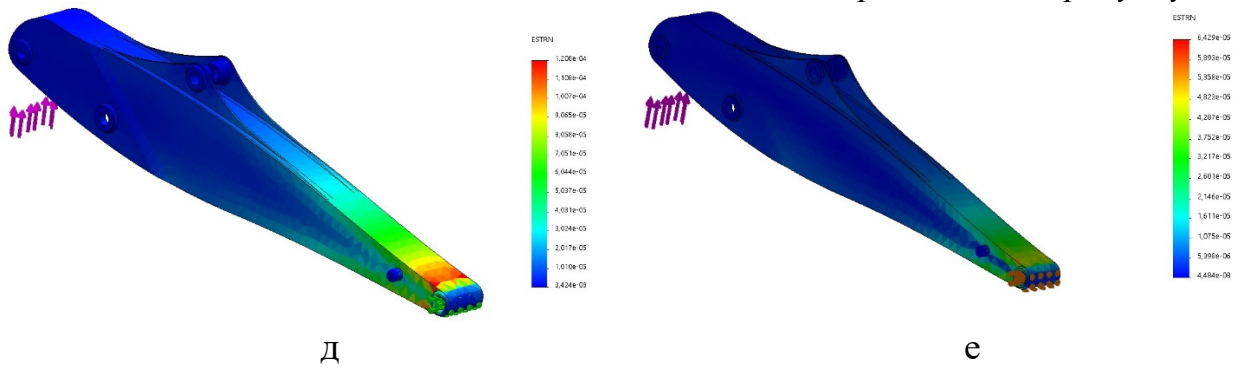
**Рисунок 9. Порівняння показників традиційного та композитного обладнання екскаватора для рукояті**

*Початок рисунку 10*





Продовження рисунку 10.



**Рисунок 10. Порівняння традиційної конструкції із запропонованою**

*I. - Епюри досліджень напружено-деформованого стану рукояті екскаватора: а – епюра напруження; в – епюра переміщення; д – епюра деформації.*

*II. - Епюри досліджень напружено-деформованого стану рукояті екскаватора із заповнювачем: б – епюра напруження; г – епюра переміщення; е – епюра деформації*

### Висновки.

Одним з перспективних напрямків удосконалення конструкції робочих органів одноківшевих екскаваторів є використання композитних матеріалів. Проведений аналіз епюр металоконструкції рукояті екскаватора із заповнювачем у вигляді бетону з армуючими домішками, при використанні заповнювача по усьому об'єму порожнини дозволяє збільшити міцність конструкції на 20-25%, а також сприяє зменшенню напружень та деформацій конструкції, що підвищує тривалість роботи обладнання. Маса металоконструкції, у порівнянні з традиційною, зменшується на 20%.

### Література:

1. Машини для земляних робіт: Підручник / Л. А. Хмара, С. В. Кравець, М. П. Скоблюк, В.Г. Нікітін, М.І. Дерев'янчук, В.М. Супонев за заг. ред. Л. А. Хмари, С. В. Кравця. — Х: ХНАДУ, 2014. — 548 с.
2. Чукурна О. П. Стратегічні напрямки розвитку машинобудування в контексті економічних реформ в Україні [Електронний ресурс] / О. П. Чукурна // Економіка: реалії часу. Науковий журнал. – 2013. – № 3 (8). – С. 36-42. – Режим доступу до журн.: <http://economics.opu.ua/files/archive/2013/n3.html>
3. Современные тенденции в создании строительных машин // Строительные и Дорожные Машины. - 2005. - №7. - с.10-13.
4. Ефименко В.И. Центрифугированные трубобетонные конструкции / Ефименко В.И. – Кривой Рог: КТУ, 2008 – 257 с.
5. Єфіменко В.І. Сталезалізобетонні конструкції: дослідження, проектування, будівництво, експлуатація / Л.І.Стороженко, В.М.Сурдін, В.І.Єфіменко, В.І.Вербицький – Кривий Ріг: КТУ, 2007. – 448 с.
6. Ефименко В.И. Строительные конструкции из стальных труб, заполненных центрифугированным бетоном / Л.И.Стороженко, В.И.Ефименко В.Ф.Пенц – К.: Четверта хвиля, 2001. –144 с.





7. Єфіменко В. І. Несучі конструкції зі сталевих труб, заповнених центрифугованим бетоном: дис. док.техн.наук : 05.23.01 – будівельні конструкції, будівлі та споруди / В. І. Єфіменко – Дніпропетровськ, 2009. – 414с.
8. Стороженко Л.И., Ефименко В.И., Плахотный П.И. Изгибаемые конструкции из трубобетона. -К.: «Будівельник», 1994. – 102с.
9. Кикин А.И., Санжаровский Р.С., Трулль В.А. Конструкции из стальных труб, заполненных бетоном. – М.: Стройиздат, 1974. – 146 с.
10. Стороженко Л.И., Семко А.В., Ефименко В.И. Сталежелезобетонные конструкции. –К.: Четверта хвиля, 1997.– 160 с.
11. Закуренко И.Е. Исследование несущей способности металлоконструкций землеройно-транспортных машин с заполнителями (на примере толкающих брусьев отвала бульдозера): Автореф. дис.. канд. техн. наук. Харьков, 1981. -25 с.
12. Ефименко В.И. Напряженно-деформированное состояние сжатых трубобетонных элементов на основе шлакощелочного бетона при кратковременном действии нагрузки / В.И.Ефименко, А.П.Сухан // Сталезалізобетонні конструкції. Дослідження, проектування, будівництво, експлуатація. – 2004. – Вип. 6. – С.77 – 79.
13. Хмара, Л. А. Інноваційний метод створення елементів робочого обладнання з підвищеною несучою здатністю / Л. А. Хмара, В. О. Талалай // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета: сб. науч. тр. / Харьк. нац. автомоб.-дор. ун-т ; [редкол.: Богомолов В. А. (глав. ред.) и др.]. - Харьков: ХНАДУ, 2014. - Вып. 65-66. - С. 35-39
14. Хмара, Л. А. Исследование прочностных характеристик традиционного и композиционного бульдозерного рабочего оборудования / Л. А. Хмара, В. А. Талалай // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета: сб. науч. тр. / Харьк. нац. автомоб. -дор. ун-т; [редкол. Богомолов В. А. (глав. ред.) и др.]. - Х.: ХНАДУ, 2012. - Вып. 57. - С. 43-54
15. Чихладзе Э.Д., Закуренко И.Е. Толкающие брусья бульдозера с наполнителями. Строительные и дорожные машины, 1975, № 8, с. 28-29.
16. Чихладзе Э.Д., Слюсарев В.К., Закуренко И.Е. Экспериментальные исследования бульдозеров с пустотелыми и заполненными бетоном толкающими брусьями. Строительные и дорожные машины, 1977, №4, с.19

## References

1. Machines for earthworks: Textbook / L.A. Khmara, S.V. Kravets, M.P. Skoblyuk, V.G. Nikitin, M.I. Derevianchuk, V.M. Suponev under the editorship of L.A. Khmara, S.V. Kravets - Kh: KhNADU, 2014. - 548 p.
2. Chukurna OP Strategic directions of development of mechanical engineering in the context of economic reforms in Ukraine [Electronic resource] / OP Chukurna // Ekonomika: realii vremeni. Scientific journal. - 2013. - No. 3 (8). - P. 36-42. - Mode of access to the journal: <http://economics.opu.ua/files/archive/2013/n3.html>
3. Modern trends in the creation of construction machines // Construction and Road Machines. - 2005. - №7. - с.10-13.
4. Efimenko V.I. Centrifuged pipe concrete structures / Efimenko V.I. - Kryvyi Rih: KTU, 2008 - 257 p.
5. Efimenko V.I. Steel-reinforced concrete structures: research, design, construction, operation



- / L.I. Storozhenko, V.M. Surdin, V.I. Efimenko, V.I. Verbytskyi - Kryvyi Rih: KTU, 2007. - 448 p.
6. Efimenko V.I. Building structures of steel pipes filled with centrifuged concrete / L.I.Storozhenko, V.I.Efimenko, V.F.Pents - K.: Fourth Wave, 2001. 144 p.
  7. Efimenko V. I. Load-bearing structures made of steel pipes filled with centrifuged concrete: PhD thesis: 05.23.01 - building structures, buildings and structures / V. I. Efimenko - Dnipropetrovs'k, 2009. - 414 p.
  8. Storozhenko L.I., Efimenko V.I., Plakhotny P.I. Bending structures of reinforced concrete. - K.: Budivelnik, 1994. - 102 p.
  9. Kikin A.I., Sanzharovsky R.S., Trull V.A. Structures from steel pipes filled with concrete. - Moscow: Stroyizdat, 1974. - 146 c.
  10. Storozhenko L.I., Semko A.V., Efimenko V.I. Steel-reinforced concrete structures. -K.: Chetverta khvilya, 1997.- 160 p.
  11. Zakurenko I.E. Investigation of the bearing capacity of the metal structures of the earth-moving machines with aggregates (by the example of the pushing bars of the bulldozer blade): Avtoref. dis. kand. tehn. nauk. Kharkov, 1981. -25 c.
  12. Efimenko, V.I. Stress-strain state of the compressed pipe-concrete elements on the basis of a slag-alkali concrete under a short-term loading action / V.I.Efimenko, A.P.Sukhan // Stalezalizobetonni konstruktsii. Research, design, construction, operation. - 2004. - Vin. 6. - C.77 - 79.
  13. Khmara, L. A. Innovative method of creation of elements of working equipment with increased load-bearing capacity / L. A. Khmara, V. O. Talalay // Bulletin of Kharkov National Automobile and Road University : a collection of scientific articles / Kharkov National Automobile and Road University ; [edited by: Bogomolov V. A. (chief editor) and others]. - Kharkov : KHNADU, 2014. - Vol. 65-66. - C. 35-39
  14. Khmara, L. A. Research of strength characteristics of traditional and composite bulldozer working equipment / L. A. Khmara, V. A. Talalay // Bulletin of Kharkiv National Automobile and Road University: collection of scientific articles / Kharkiv National Automobile and Road University. -dor. un.; [edited by Bogomolov V. A. (chief editor) and others]. - Kh. : KHNADU, 2012. - Vyp. 57. - C. 43-54
  15. Chikhladze E.D., Zakurenko I.E. Push bars of bulldozer with fillers. Construction and Road Machines, 1975, No. 8, p. 28-29.
  16. Chikhladze E.D., Slyusarev V.K., Zakurenko I.E. Experimental investigations of bulldozers with hollow and concrete-filled pushing bars. Construction and Road Machines, 1977, No.4, p.19.

**Abstract.** *The development of mechanical engineering is accompanied by a rejection from typical prefab structures with a large metal capacity, which is connected with the general trend of decreasing costs for structural materials and the global economic situation. There is a continuous intensive search for new constructive solutions. The aim is to study the construction of earthmoving machines, which have working equipment made of metal pipes for compression and torsion when pouring concrete with various additives. Conclusions: Analysis of the schemes of the metal structure of the excavator with aggregate in the form of concrete with reinforcing additives, using aggregate throughout the volume of the cavity allows to increase the strength of the structure by 20...25%. The weight of the metal structure, compared to the traditional one, is reduced by 20%.*

**Key words:** *mechanical engineering, excavator, work process, pipe concrete, reinforcing elements, stress-strain state.*