

УДК 621.878.2

ЗАСТОСУВАННЯ КОМПОЗИТНОГО МАТЕРІАЛУ У МЕТАЛОКОНСТРУКЦІЇ РОБОЧОГО ОБЛАДНАННЯ ЗЕМЛЕРІЙНО- ТРАНСПОРТНИХ МАШИН

ХМАРА Л. А.¹, д. т. н., проф.,
СПІЛЬНИК М. А.², к.т.н., асс.

¹ ДВНЗ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, Дніпропетровськ, 49005, Україна, +38067-585-26-59, E-mail: leonidkhmara@yahoo.com, ORCID 0000-0003-3050-9302

² ДВНЗ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, Дніпропетровськ, 49005, Україна, +38093-718-15-38, E-mail: mikespl777@gmail.com, ORCID 0000-0001-6990-1382

Анотація. Розвиток машинобудування супроводжується відходом від типових збірних конструкцій з великою металоемністю, що пов'язано із загальною тенденцією на зниження витрат конструкційних матеріалів та світовою економічною ситуацією. Ведеться постійний інтенсивний пошук нових конструктивних рішень. 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 арматури для раціональної сумісної роботи). **Аналіз публікацій.** Трубобетонні конструкції знайшли широке застосування в світовій будівельній практиці завдяки своїм позитивним якостям. Трубобетон у машинобудуванні та його механічні властивості також набули актуальності останнім часом. **Мета статті.** Дослідити конструкції землерійно-транспортних машин, які мають робоче обладнання зі металевих труб на стиск та кручення при заповненні бетоном з різноманітними домішками. **Висновки:** Проведений аналіз епюр металоконструкції штовхаючого бруса 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%. Проведений аналіз епюр металоконструкції штовхаючого бруса 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%.

Ключові слова: напруження, заповнювач, композитний матеріал, штовхаючий брус, міцність конструкції.

ПРИМЕНЕНИЕ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ В МЕТАЛОКОНСТРУКЦИИ РАБОЧЕГО ОБОРУДОВАНИЯ ЗЕМЛЕРОЙНО-ТРАНСПОРТНЫХ МАШИН

ХМАРА Л. А.¹, д. т. н., проф.,
СПИЛЬНИК М. А.², к.т.н., асс.

¹ ГВУЗ «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, Днепропетровск, 49005, Украина, +38067-585-26-59, E-mail: leonidkhmara@yahoo.com, ORCID 0000-0003-3050-9302

^{2*} ГВУЗ «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, Днепропетровск, 49005, Украина, +38093-718-15-38, E-mail: mikespl777@gmail.com, ORCID 0000-0001-6990-1382

Анотация. Развитие машиностроения сопровождается уходом от типичных сборных конструкций с большой металлоемкостью, что связано с общей тенденцией снижения затрат конструкционных материалов и мировой экономической ситуацией. Ведется постоянный интенсивный поиск новых конструктивных решений. Растущее использование более мощной вычислительной техники, накопления экспериментального материала и многолетнего опыта наблюдений за конструкциями с учетом фактических нагрузок и воздействий предоставляют возможность сочетать разные материалы для повышения прочности конструкции, (сочетание бетона, стальных профилей и арматуры для рациональной совместной работы) **Анализ публикаций.** Трубобетонные конструкции нашли широкое применение в мировой строительной практике благодаря своим положительным качествам. Трубобетон в машиностроении и его механические свойства также приобрели актуальность в последнее время. **Цель статьи.** Исследовать конструкции землеройно-транспортных машин, которые имеют рабочее оборудование с металлических труб на сжатие и кручение при заполнении бетоном с различными добавками. **Выводы:** Проведенный анализ эпюр металоконструкции толкающего бруса с заполнителем в виде бетона с армирующими добавками, при использовании заполнителя по всему объему полости позволяет увеличить прочность конструкции на 20...25%, а также способствует уменьшению напряжений и деформаций конструкции, повышает продолжительность работы оборудования. Масса металоконструкции, по сравнению с

традиційної, зменшується на 20%. Проведений аналіз епюр металоконструкції толкаючого бруса з заповнителем в формі бетону з армуючими добавками, при використанні заповнителя по всьому об'єму порожнини дозволяє збільшити міцність конструкції на 20...25%, а також сприяє зменшенню напружень і деформацій конструкції, підвищує тривалість роботи обладнання. Маса металоконструкції, порівняно з традиційною, зменшується на 20%.

Ключевые слова: напруження, наповнитель, композитный материал, толкающий брус, прочность конструкции.

APPLICATION OF COMPOSITE MATERIALS IN METAL STRUCTURE OF WORKING EQUIPMENT OF EARTH-MOVING MACHINES

KHMARA L. A.¹, Doctor of Technical Sciences, Professor
SPILNIK M. A.², Ph.D. asst.

¹ Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture, str. Chernishevskogo, 24-a, Dnepropetrovsk, 49005, Ukraine, +38067-585-26-59, E-mail: leonidkhmara@yahoo.com, ORCID 0000-0003-3050-9302

² Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture, str. Chernishevskogo, 24-a, Dnepropetrovsk, 49005, Ukraine, +38093-718-15-38, E-mail: mikespl777@gmail.com, ORCID 0000-0001-6990-1382

Abstract. Problem. The development of machine building is accompanied by a departure from the typical prefabricated structures with a large metal capacity, which is associated with the general trend of reducing construction materials costs and the world economic situation. There is a constant intensive search for new constructive solutions. The growing use of more powerful computer technology, the accumulation of experimental material and years of experience in observing structures with regard to actual loads and impacts make it possible to combine different materials to increase the strength of the structure (combination of concrete, steel profiles and fittings for rational teamwork). **Analysis of publications.** Tube-concrete constructions have found wide application in the world construction practice due to their positive qualities. Pipe-concrete in mechanical engineering and its mechanical properties have also become relevant in recent times. **Purpose of the article.** Investigate the construction of earth-moving machines that have working equipment from metal pipes for compression and torsion when filled with concrete with various additives. **Conclusions:** The analysis of the diagrams of the metal structure of the pusher bar with the aggregate in the form of concrete with reinforcing additives, using filler throughout the volume of the cavity allows to increase the strength of the structure by 20...25%, and also helps to reduce stresses and deformations of the structure, increases the duration of the equipment. The weight of the metal structure, in comparison with the traditional, is reduced by 20%. The analysis of the diagrams of the metal structure of the pusher bar with the aggregate in the form of concrete with reinforcing additives, with the use of a filler throughout the volume of the cavity makes it possible to increase the strength of the structure by 20...25%, and also helps to reduce the stresses and deformations of the structure, and increases the duration of the equipment operation. The weight of the metal structure, in comparison with the traditional, is reduced by 20%.

Keywords: tension, filler, composite material, pushing bar, structural strength.

Постановка проблеми. Розвиток машинобудування супроводжується відходом від типових збірних конструкцій з великою металемністю, 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 арматури для раціональної сумісної роботи).

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

Мета статті. Дослідити конструкцію землерійно-транспортних машин, які мають робоче обладнання зі металевої труби на стиск та кручення при заповненні бетоном з різноманітними домішками.

Основний матеріал. У процесі роботи бульдозера штовхаючий брус сприймає стискаюче зусилля та згинаючий момент (рис.1). Під дією таких навантажень штовхаючий брус почне змінювати свою початкову геометричну форму, що може спричинити руйнування конструкції. Вигляд штовхаючого бруса, який встановлений на бульдозері, зображений на рис.2.

За основу для дослідження взята модель бруса бульдозера Т-180 (рис.3) з тяговим зусиллям базової машини у 130кН. Також були задані початкові умови: матеріал – вуглецева сталь; діючі навантаження: $P_{01}=350\text{кН}$, $P_{02}=30\text{кН}$; форма бруса – квадратна труба.

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 бульдозера так і з боку відвалу у разі зіткнення його з неподоланою перешкодою (сила, яка діє на центральну провусину, на допоміжну провусину, яка направлена під кутом та провусини розкосу) (рис.4).

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

Проведені дослідження показали, що традиційна конструкція штовхаючого бруса 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).

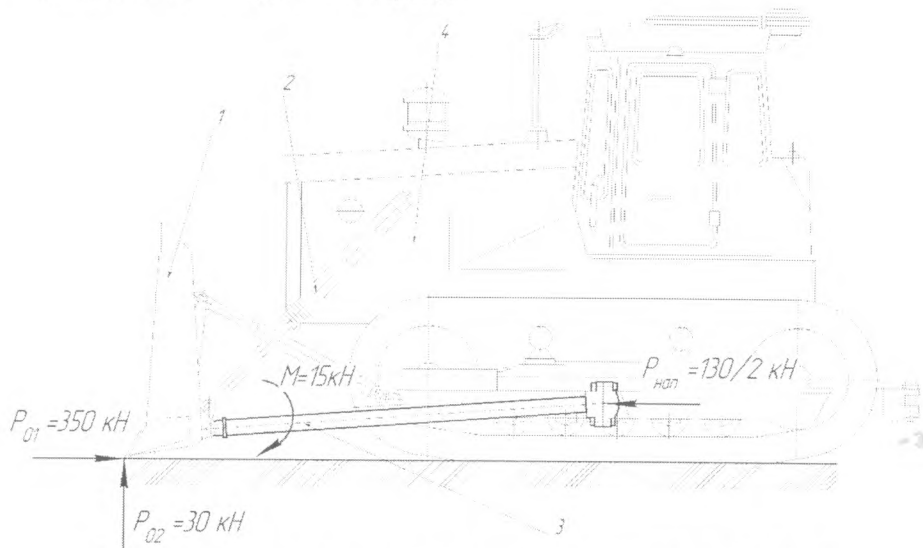
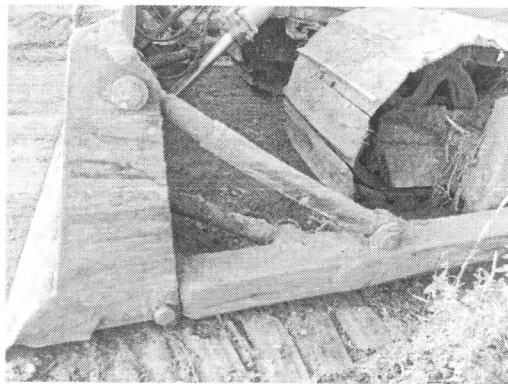
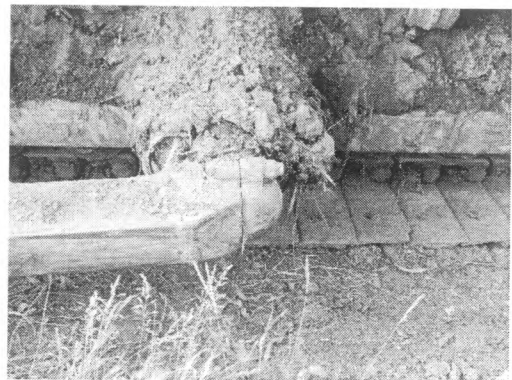


Рис.1. Загальний вигляд штовхаючого бруса, встановленого на бульдозері
1 – відвал; 2 – гідроциліндр підйому; 3 – штовхаючий брус; 4 – базовий трактор



а



б

Рис.2. Штовхаючий брус, встановлений на бульдозері
а – з'єднання штовхаючого бруса та відвалу; б – з'єднання штовхаючого бруса та рами

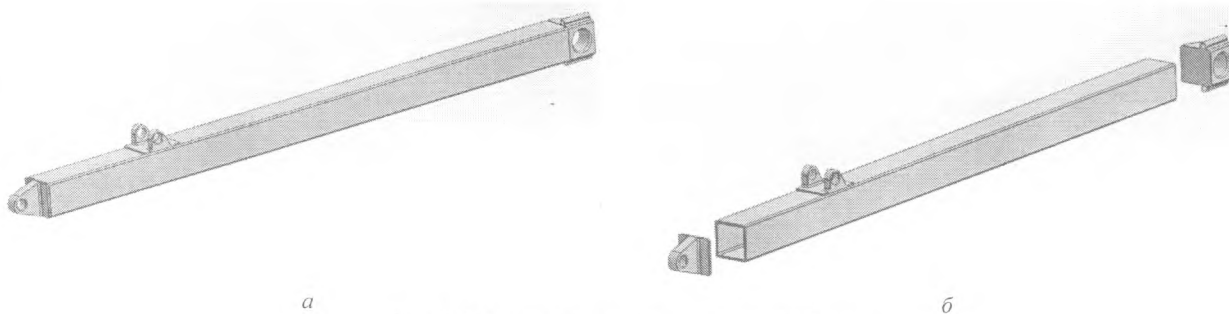


Рис.3. Об'ємна модель штовхаючого бруса
а – загальний вигляд моделі; б – рознесений стан моделі

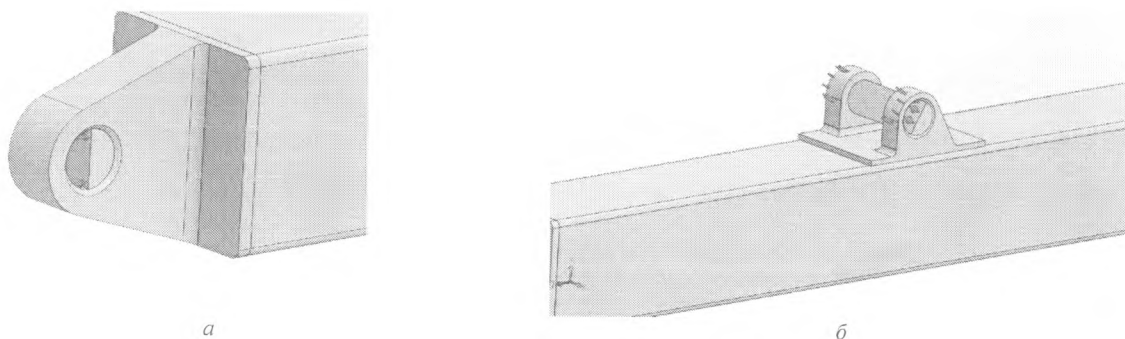


Рис.4. Схема закріплення штовхаючого бруса для проведення дослідження напружено-деформованого стану
а – схема дії сили на циліндричну грань зі сторони відвалу; б - схема дії сили на циліндричну грань провущини зі сторони розкісу; в – схема закріплення бруса зі сторони бульдозера

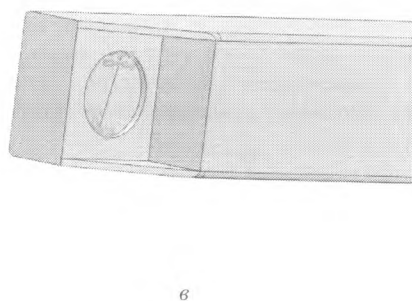
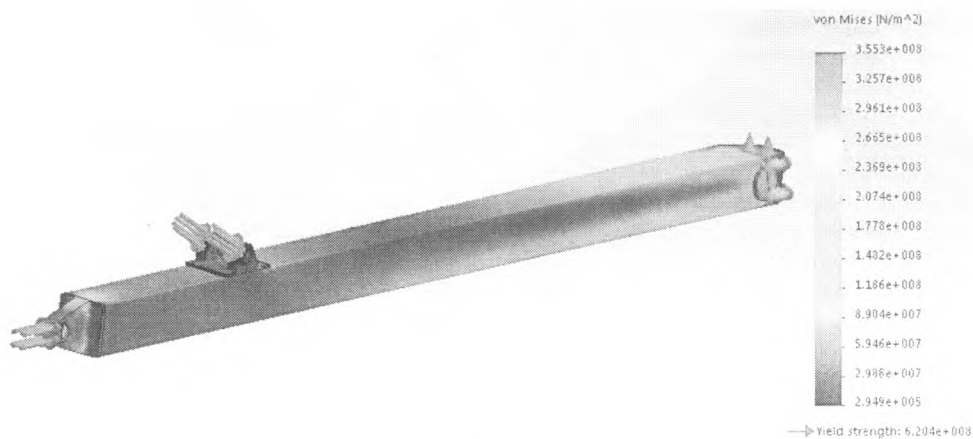


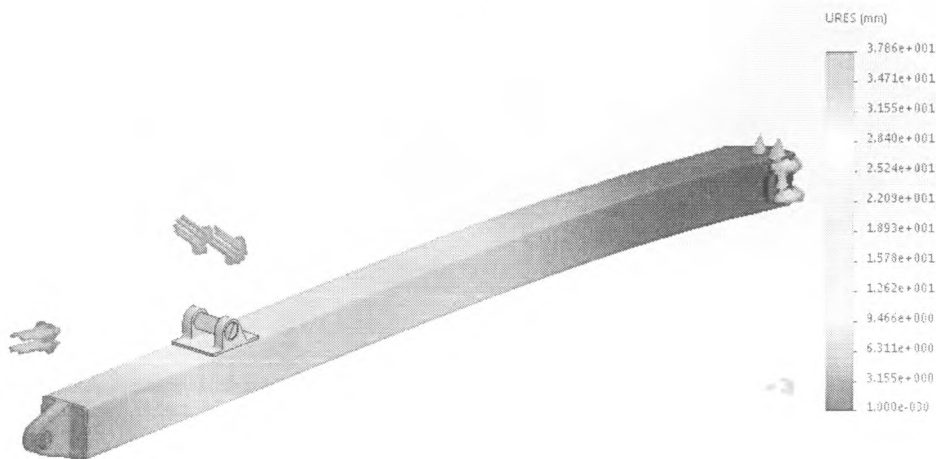
Рис.5. Узагальнена схема дії сил на штовхаючий брус бульдозера

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

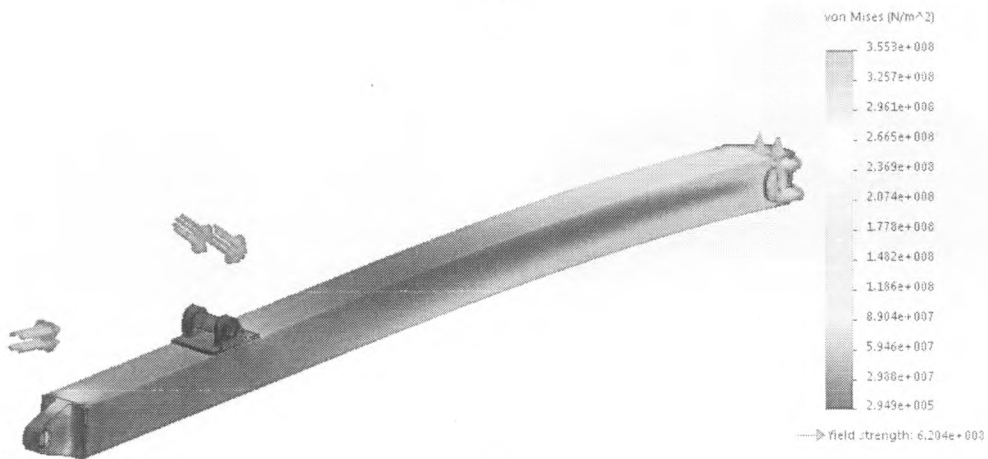
На основі проведеного аналізу отримані епюри напружень, епюри переміщень, епюри деформацій досліджуваних елементів (рис.6).



а



б



в

Рис.6.Епюри досліджень напружено-деформованого стану штовхаючого бруса бульдозера
а – епюра напруження; б – епюра переміщення; в – епюра деформації

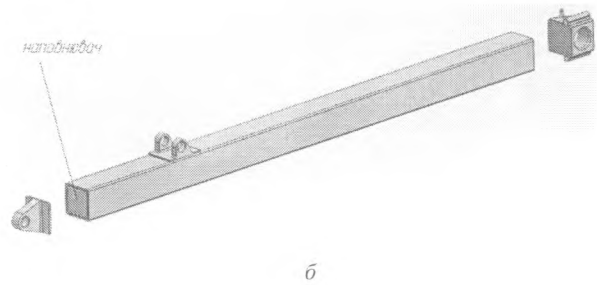
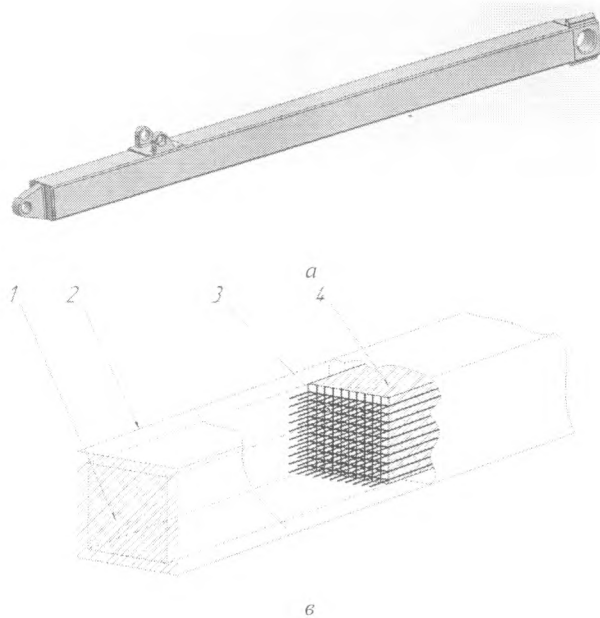
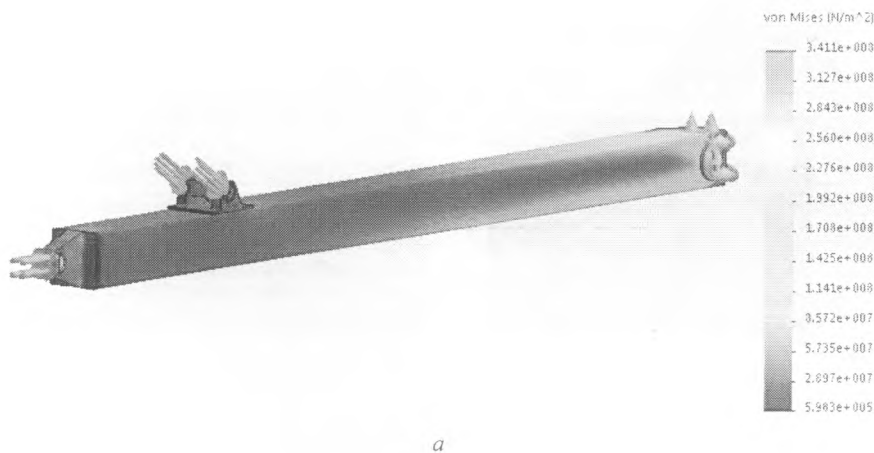


Рис.7. Об'ємна модель штовхаючого бруса
 а – загальний вигляд моделі; б – рознесений стан моделі з наповнювачем у порожнині труби; в – штовхаючий брус у розрізі;
 1 – наповнювач; 2 – штовхаючий брус; 3 – армуючі елементи; 4 – бетон

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 трубобетон 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].



а

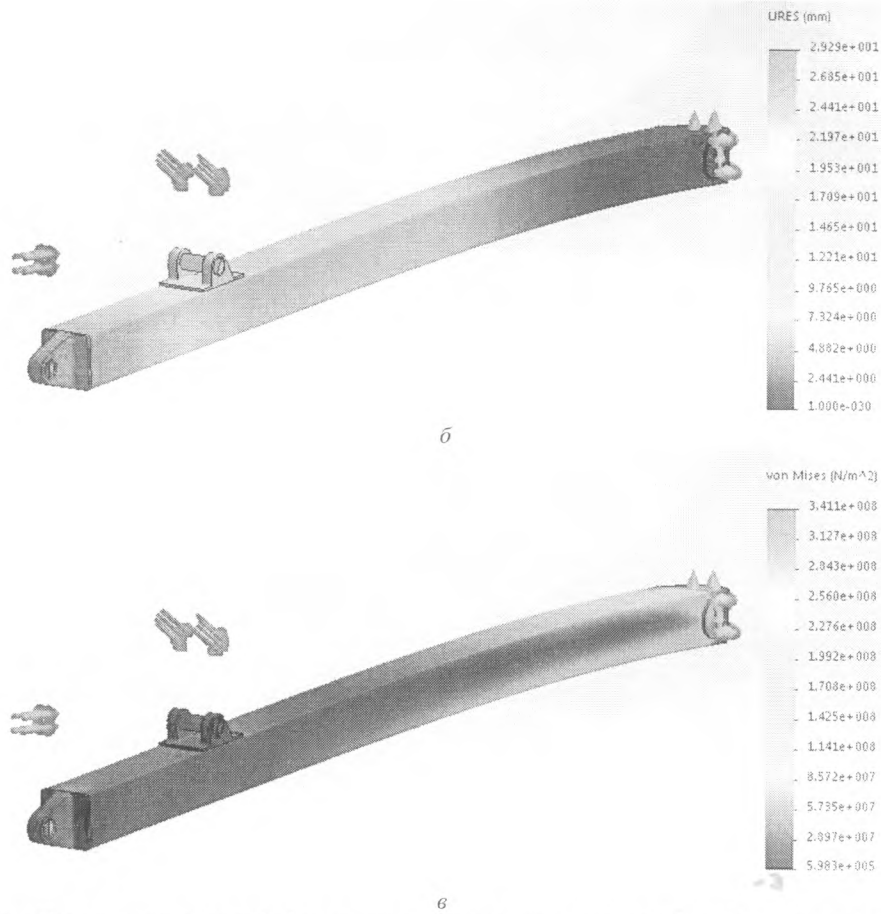


Рис.8. Етюри досліджень напружено-деформованого стану штовхаючого бруса бульдозера із заповнювачем
 а – етюра напруження; б – етюра переміщення; в – етюра деформації

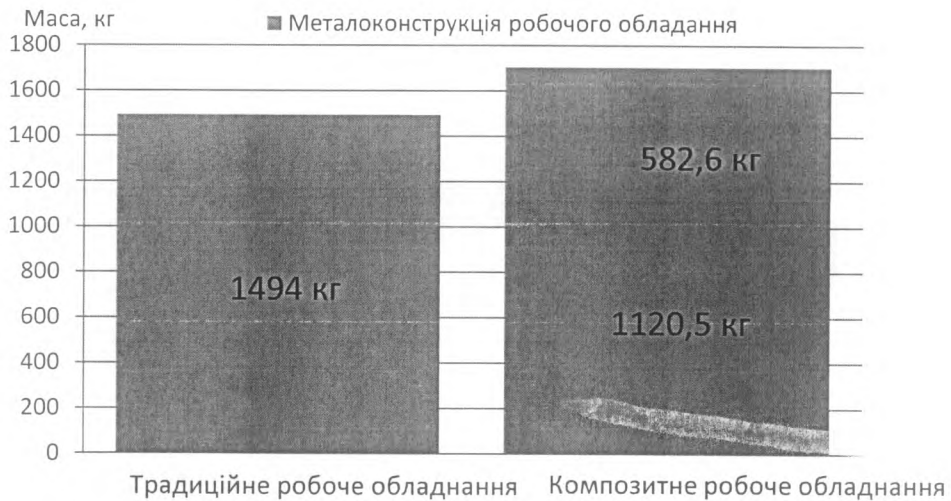


Рис.9. Порівняння показників традиційного та композитного робочого обладнання бульдозера для одного штовхаючого бруса

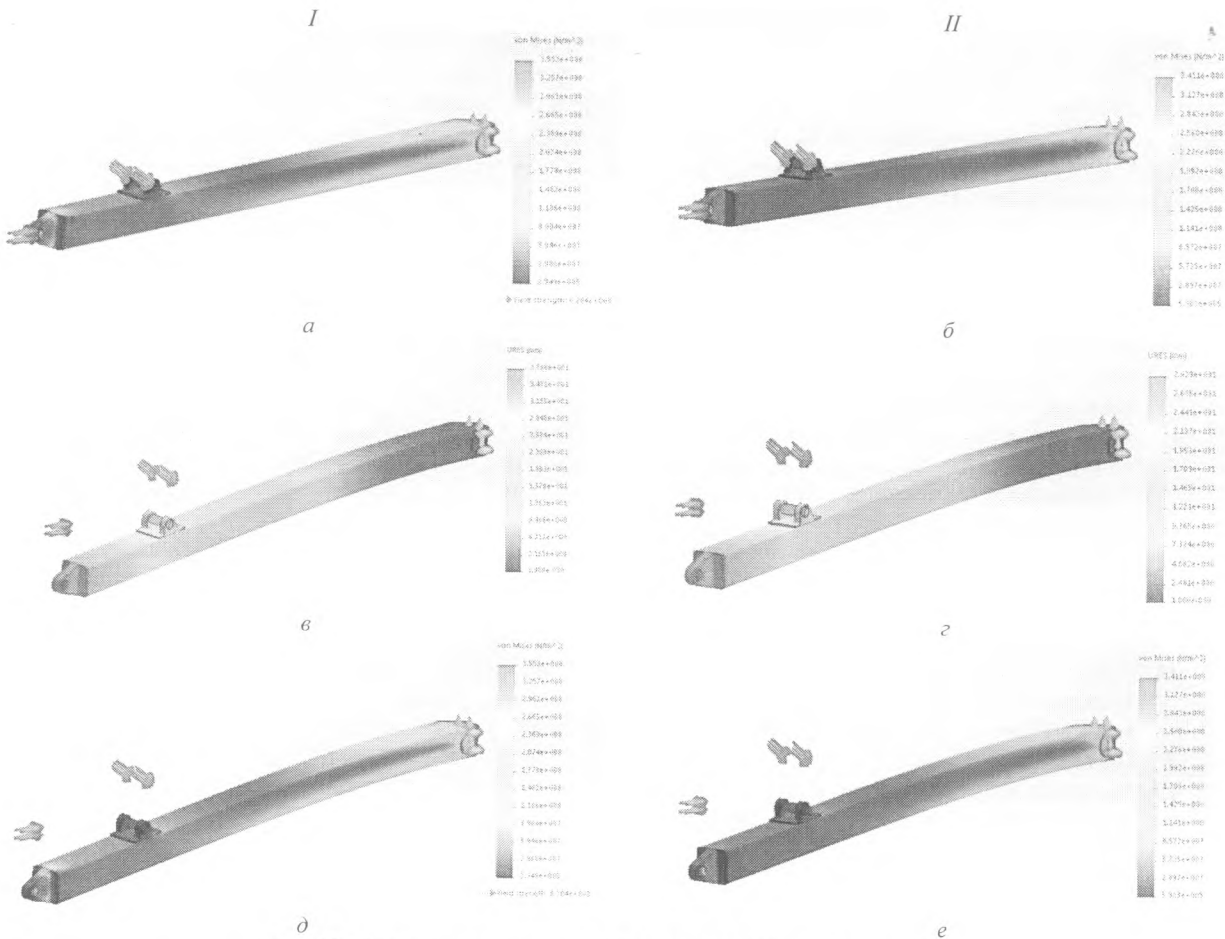


Рис.10. Порівняння традиційної конструкції із запропонованою
 I. -Епюри досліджень напружено-деформованого стану штовхаючого бруса бульдозера
 а – еюра напруження; в – еюра переміщення; д – еюра деформації

II. - Епюри досліджень напружено-деформованого стану штовхаючого бруса бульдозера із заповнювачем
 б – еюра напруження; г – еюра переміщення; е – еюра деформації

Висновки. Проведений аналіз епюр металоконструкції штовхаючого бруса 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%.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Машины для земляных работ: Пидручник / 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., Труль 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. Закурченко 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., Закурченко И.Е. Толкающие брусья бульдозера с наполнителями. Строительные и дорожные машины, 1975, № 8, с. 28-29.
16. Чихладзе Э.Д., Слюсарев В.К., Закурченко И.Е. Экспериментальные исследования бульдозеров с пустотелыми и заполненными бетоном толкающими брусьями. Строительные и дорожные машины, 1977, №4, с.192.

REFERENCES

1. Mashini dlya zemlyanikh robIt: PIdruchnik / L. A. Hmara, S. V. Kravets, M. P. Skoblyuk, V.G. NIKItIn, M.I. Derev'yanchuk, V.M. SuponEv za zag. red. L. A. Hmari, S. V. Kravtsya. — H: HNADU, 2014. — 548 s.
2. Chukurna O. P. StrategIchnI napryamki rozvitku mashinobuduvannya v kontekstI ekonomIchnih reform v UkraYinI [Elektronniy resurs] / O. P. Chukurna // EkonomIka: realIYi chasu. Naukoviy zhurnal. – 2013. – # 3 (8). – S. 36-42. – Rezhim dostupu do zhurn.:
<http://economics.opu.ua/files/archive/2013/n3.html>
3. Sovremennyye tendentsii v sozdanii stroitelnykh mashin // Stroitelnyye i Dorozhnyye Mashiny. - 2005. - #7. - s.10-13.
4. Efimenko V.I. Tsentrifugirovannyye trubobetonnyye konstruksii / Efimenko V.I. – Krivoy Rog: KTU, 2008 – 257 s.
5. EfImenko V.I. StalezalIzobetonni konstruksIYi: doslIdzhennya, proektuvannya, budIvnitstvo, ekspluatatsIya / L.I.Storozhenko, V.M.SurdIn, V.I.EfImenko, V.I.Verbitskiy – Kriviy RIg: KTU, 2007. – 448 s.
6. Efimenko V.I. Stroitelnyye konstruksii iz stalnykh trub, zapolnennykh tsentrifugirovannym betonom / L.I.Storozhenko, V.I.Efimenko V.F.Pents – K.: Chetverta hvilya, 2001. –144 s.
7. EfImenko V. I. NesuchI konstruksIYi zI stalevikh trub, zapovnenih tsentrifugovanim betonom: dis. dok.tehn.nauk : 05.23.01 – budIvelnI konstruksIYi, budIvI ta sporudi / V. I. EfImenko – DnIpropetrovsk, 2009. – 414s.
8. Storozhenko L.I., Efimenko V.I., Plahotniy P.I. Izgibaemye konstruksii iz trubobetona. -K.: «BudIvelnik», 1994. – 102s.
9. Kikin A.I., Sanzharovskiy R.S., Trull V.A. Konstruksii iz stalnykh trub, zapolnennykh betonom. – M.: Sroyizdat, 1974. – 146 s.
10. Storozhenko L.I., Semko A.V., Efimenko V.I. Stalezhelezobetonnyye konstruksii. –K.: Chetverta hvilya, 1997.– 160 s.
11. Zakurenko I.E. Issledovanie nesushechey sposobnosti metallokonstruksiy zemleroyno-transportnykh mashin s zapolnitelyami (na primere tolkayuschih brusev otvala buldozera): Avtoref. dis.. kand. tehn. nauk. Harkov, 1981. -25 s.

12. Efimenko V.I. Napryazhenno-deformirovannoe sostoyanie szhatyih trubobetonnyih elementov na osnove shlakoschelochного бетона pri kratkovremennom deystvii nagruzki / V.I.Efimenko, A.P.Suhan // StalezalIzobetonniI konstruktsIYi. DoslIdzhennyya, proektuvannyya, budIvnitstvo, ekspluatatsIya. – 2004. – Vip. 6. – S.77 – 79.
13. Hmara, L. A. InnovatsIyniy metod stvorennyya elementIv robochogo obladnannyya z pIdivischenoyu nesuchoyu zdatnIstyu / L. A. Hmara, V. O. Talalay // Vestnik Harkovskogo natsionalnogo avtomobilno-dorozhnogo universiteta : sb. nauch. tr. / Hark. nats. avtomob.-dor. un-t ; [redkol.: Bogomolov V. A. (glav. red.) i dr.]. - Harkov : HNADU, 2014. - Vyip. 65-66. - C. 35-39
14. Hmara, L. A. Issledovanie prochnostnyih harakterictik traditsionnogo i kompozitsionnogo buldozernogo rabocheго oborudovaniya / L. A. Hmara, V. A. Talalay // Vestnik Harkovskogo natsionalnogo avtomobilno-dorozhnogo universiteta: sb. nauch. tr. / Hark. nats. avtomob. -dor. un-t; [redkol. Bogomolov V. A. (glav. red.) i dr.]. - H. : HNADU, 2012. - Vyip. 57. - C. 43-54
15. Chihladze E.D., Zakurenko I.E. Tolkayuschie brusya buldozera s napolnitelyami. Stroitelnyie i dorozhnyie mashiny, 1975, # 8, s. 28-29.
16. Chihladze E.D., Slyusarev V.K., Zakurenko I.E. Eksperimentalnyie issledovaniya buldozerov s pustotelyimi i zapolnennymi betonom tolkayuschimi brusyami. Stroitelnyie i dorozhnyie mashiny, 1977, #4, s.192.