

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД  
ПРИДНІПРОВСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ  
БУДІВНИЦТВА ТА АРХІТЕКТУРИ**



**СПІЛЬНИК МИХАЙЛО АНАТОЛІЙОВИЧ**

**УДК 621.878.6**

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СКРЕПЕРА ОСНАЩЕННЯМ КОВША  
НАПІВКРУГЛИМ ДНИЩЕМ ТА ЗАДНЬОЮ СТІНКОЮ МАЯТНИКОВОГО  
ТИПУ**

**05.05.04 – машини для земляних, дорожніх і лісотехнічних робіт**

**Автореферат  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук**

**Дніпропетровськ – 2015**

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Державному вищому навчальному закладі «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури» Міністерства освіти і науки України.

**Науковий керівник:**

– доктор технічних наук, професор **Хмара Леонід Андрійович**, ДВНЗ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», завідувач кафедри будівельних та дорожніх машин ДВНЗ «ПДАБтаА»

**Офіційні опоненти:**

- доктор технічних наук, доцент **Кузьмінець Микола Петрович**, Національний транспортний університет, доцент кафедри дорожніх машин;
- кандидат технічних наук, доцент **Шевченко Валерій Олександрович**, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, доцент кафедри будівельних і дорожніх машин.

Захист відбудеться «15»жовтня 2015 року о 13.00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К 08.085.03 ДВНЗ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури» за адресою:  
49600, м. Дніпропетровськ, вул. Чернишевського, 24-а, к. 202.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці ДВНЗ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури» за адресою: 49600, м. Дніпропетровськ, вул. Чернишевського, 24-а.

Автореферат розісланий «11»вересня 2015 року.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради



Рабіч О. В.

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Згідно з державною програмою стратегії розвитку України «Україна 2020: Стратегія національної модернізації», запропоновано напрямки розвитку машинобудування за рахунок впровадження політики імпортозаміщення. Саме тому, відповідно до програми економічних реформ сформовано принципи та етапи довгострокового економічного зростання. Одним з основних організаційно-економічних заходів проведення цих реформ повинна стати модернізація та технологічне оновлення машинобудівельної галузі України.

Особливу актуальність набуває розробка високоефективних, надійних та конкурентоспроможних машин, зокрема скреперів. Аналізуючи конструкційні особливості вдосконалення КС, слід відзначити тенденцію, спрямовану на підвищення ефективності заповнення ковша.

У процесі роботи скрепера найбільша частина енергії затрачується на заповнення ковша ґрунтом, особливо на кінцевій стадії. Необхідність у реалізації високого тягового зусилля для подолання опору ґрунту копанню є суттєвим недоліком скреперів традиційної конструкції (традиційна конструкція КС містить прямолінійне днище та задню стінку з двома вигинами для створення відвальної форми, яка розташована перпендикулярно днищу). Тому традиційна конструкція та технологія заповнення ковша потребує удосконалення.

Базуючись на викладеному можна зробити висновок, що дослідження та визначення раціональних параметрів КС з НПД та маятниковим розвантаженням в умовах реалізації двохстадійного заповнення, які сприяють зменшенню енергоємності процесу копання та розвантаження, відповідає пріоритетним завданням сучасного машинобудування.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Робота виконана у відповідності до тем науково-дослідницької роботи кафедри «Будівельні і дорожні машини» Державного вищого навчального закладу «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури» в рамках програми: «Розробка енергозберігаючих робочих органів та інтенсифікація робочих процесів підйомно-транспортних, будівельних, дорожніх машин і обладнання», держреєстрація № 0111U006476 (2011–2015 рр.).

**Метою дисертаційної роботи** є підвищення ефективності робочого процесу скрепера за рахунок збільшення ґрунту, який набирається у ківш, шляхом вдосконалення конструкції ковша, двохстадійного заповнення і конструкції ЗС для розвантаження в умовах обґрунтування раціональних і технологічних параметрів.

Для досягнення поставленої мети в ході виконання дисертаційної роботи необхідно вирішити наступні **задачі дослідження**:

- провести огляд та аналіз науково-технічних досліджень та патентних рішень конструкцій КС;
- розробити математичні моделі процесу копання та розвантаження ґрунту КС традиційного виконання та з НПД;
- розробити фізичні моделі КС традиційного виконання та з НПД;

- розробити методику експериментальних досліджень процесу копання ґрунту КС традиційного виконання та з НПД в умовах двохстадійного заповнення;
- провести експериментальні дослідження на фізичних моделях по встановленню раціональної конструкції КС з НПД і технологічних параметрів заповнення та розвантаження ковша;
- провести багатофакторні експерименти та встановити раціональні геометричні параметри КС з НПД;
- розробити методику експериментальних досліджень поляризаційно-оптичним методом процесу розвантаження ґрунту з КС традиційного виконання та з НПД;
- розробити фізичні моделі КС традиційного виконання та з НПД для досліджень поляризаційно-оптичним методом процесу розвантаження ґрунту з КС;
- провести порівняльну оцінку теоретичних та експериментальних показників та оцінку техніко-економічної ефективності використання КС з НПД при двохстадійній схемі заповнення.

*Об'єкт дослідження:* копання та розвантаження КС, який обладнано НПД.

*Предмет дослідження:* раціональні параметри КС, обладнаного НПД та формування методики розрахунку.

*Гіпотеза дослідження* - підвищення ефективності робочого процесу скрепера базується на використанні комбінованих методів інтенсифікації, а саме: криволінійне днище, криволінійна ЗС, двохстадійне заповнення ковша та маятниковий спосіб розвантаження ґрунту.

**Методи дослідження:** у роботі застосовані аналітичні та експериментальні методи досліджень. Аналітичні методи застосовувались при побудові математичних моделей взаємодії елементів КС з ґрунтом. Експериментальна частина роботи містить наближене фізичне моделювання робочого процесу КС на стенді для дослідження робочих процесів ЗТМ, а також дослідження напружень та деформацій за допомогою поляризаційно-оптичного методу та сучасних систем САПР. Для обробки експериментальних даних використовувався метод статистичної обробки вимірювань.

**Наукова новизна одержаних результатів** полягає у наступному:

- вперше розроблені математичні моделі, які описують опір ґрунту копанню та розвантаженню, енергоємність процесу розвантаження і враховують геометричні параметри КС з НПД та фізико-механічні властивості ґрунтів;
- вперше проведені теоретичні дослідження зміни силових та енергетичних параметрів у процесі копання та розвантаження ґрунту КС з НПД та ЗС маятникового типу: опір копанню зменшується на 15...20%, опір розвантаженню зменшується на 30...40%;
- розроблено багатофакторні експериментальні регресійні моделі процесу копання КС в яких враховано: геометричні параметри КС з НПД, висота стружки, міцність ґрунту (кількість ударів щільноміра ДорНДІ);
- вперше проведені експериментальні дослідження поляризаційно-оптичним методом процесу розвантаження ґрунту з КС та встановлено закономірності зміни розподілу напружень на ЗС від місця прикладання штока гідроциліндра ЗС відносно днища, зміни напруження (30... 40%);

- отримано результати експериментальних досліджень КС з НПД, які дозволили встановити механізм взаємодії КС обладнаного НПД з ґрунтом: опір копанню зменшується 10...15%, опір розвантаженню зменшується 30...40% за рахунок меншої щільності ґрунту у ковші та іншому розподілу ущільнення ґрунту при розвантаженні;

- отримано результати експериментальних досліджень двохстадійного завантаження КС з НПД, які дозволили встановити механізм взаємодії КС обладнаного НПД з ґрунтом: кількість набраного ґрунту у КС збільшується до 9 %, опір копанню зменшується до 15%, опір розвантаженню зменшується до 40%

- визначено раціональні параметри КС з НПД:  $B_{\text{нпд}} = B_{\text{тр}}$  - (ширина ковша);  $L_{\text{дн нпд}} = L_{\text{дн тр}}$  - (довжина днища ковша);  $R_1 = 0,4 \cdot L_{\text{дн нпд}}$  - (радіус днища КС);  $R_2 = (0,8...0,9) H_{\text{зс}}$  - (радіус ЗС КС);  $H_{\text{нпд}} = H_{\text{тр}}$  - (висота ковша);  $H_{\text{гц}} = 0,5 H_{\text{зс}}$  - (висота підвісу гідроциліндра ЗС);  $\alpha_p = \alpha_{p \text{ тр}}$  - (кут різання).

**Практичне значення результатів** визначається розробленою методикою визначення раціональних конструктивних параметрів кривизни днища та кривизни ЗС скрепера, конструкції ковша і технологічних параметрів процесу заповнення у дві стадії, використовується у ДВНЗ ПДАБтаА при проведенні науково-дослідних робіт, в учбових дисциплінах «Машини для земляних робіт», «Дорожні машини», а також у дипломному проектуванні по спеціальності 7.050503 «Підйомно-транспортні, будівельні та дорожні машини і обладнання»; отримано патенти України на корисну модель КС з НПД; впровадження в експлуатацію скрепера з НПД і маятниковим розвантаженням в діяльність ТОВ «Шляхо-будівельне управління № 8» м. Дніпропетровськ забезпечило річний економічний ефект у розмірі 281197 грн.

**Особистий внесок здобувача.** Автором дисертації визначено мету та завдання досліджень, здійснено пошук їх рішень [1,2,3,12], проведено теоретичні та експериментальні дослідження [4,9]. Головні результати теоретичних та практичних досліджень, які викладено в дисертаційній роботі, опубліковано у наукових працях. Особистий внесок полягає у наступному:

- розроблено розрахункові схеми, які дозволяють створити математичні моделі процесу копання та розвантаження ґрунту КС з НПД за традиційною та двохстадійною схемою [5,6,7,10];

- результати експериментальних досліджень по копанню та розвантаженню ґрунту з КС з НПД [10,11];

- результати досліджень по встановленню схеми прикладання зусилля гідроциліндра по висоті ЗС [8];

- результати експериментальних досліджень процесу розвантаження ґрунту з КС за допомогою САПР та поляризаційно-оптичним методом [4,12];

- вибір і розрахунок раціональних та технологічних параметрів КС (днище ковша, ЗС), процес копання і розвантаження ґрунту [7];

- визначення економічної ефективності від впровадження у використання скрепера з НПД [13].

**Апробація результатів дисертації:** основні результати досліджень доповідалися, обговорювалися та отримали позитивну оцінку на III міжвузівській

науково-практичній конференції молодих вчених «Наука та техніка: перспективи ХХІ століття» м. Дніпропетровськ, 2010 р.; Міжнародній науково-практичній конференції «Нові досягнення в галузі проектування і експлуатації підйомно-транспортних, будівельних і дорожніх машин», присвяченій 60-річчю механічного факультету Харківського національного автомобільно-дорожнього університету, 19-21 вересня 2012 р., м. Харків; Всеукраїнській науково-технічній конференції молодих вчених та студентів «Створення, експлуатація і ремонт машин та обладнання для виробництва будівельних матеріалів і конструкцій», 20-21 листопада 2012 р., в Полтавському національному технічному університеті імені Юрія Кондратюка; на засіданні науково-методичної ради зі спеціальності «Підйомно-транспортні, будівельні, дорожні, меліоративні машини і обладнання», за напрямом підготовки «Машинобудування» у Запорізькому національному технічному університеті, 22-23 квітня 2013 р., м. Запоріжжя; Міжнародній науково-технічній конференції «Енергоощадні машини і технології» у Київському національному університеті будівництва та архітектури, 29-30 травня 2013 р., м. Київ; на засіданні кафедри «Будівельних і дорожніх машин» ДВНЗ ПДАБтаА м. Дніпропетровськ, 2013 р.

**Публікації.** Основні наукові положення дисертаційної роботи опубліковано у 21 працях, 12 з яких опубліковано у фахових виданнях України, 4 – у закордонних фахових виданнях, 4 – патенти України на корисну модель.

**Структура дисертації.** Дисертація складається зі вступу, 4 розділів, загальних висновків, переліку використаної літератури, додатків та містить 181 сторінку, 8 таблиць, 81 рисунок. Окрім основного тексту, який викладено на 125 сторінках, дисертація містить перелік використаних джерел із 117 найменувань на 12 сторінках та 8 додатків на 43 сторінках.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ ДИСЕРТАЦІЇ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовано мету роботи, завдання, об'єкт, предмет та гіпотезу, представлено методи дослідження, наукову новизну і практичне значення наукових результатів, наведено дані публікацій та апробацій роботи, вказано особистий внесок здобувача, структуру та обсяг дисертації.

У **першому розділі** «Огляд та аналіз досліджень і конструкцій ковшів скреперів» подано огляд та аналіз сучасного стану наукових розробок та патентної інформації. Представлено аналіз конструкцій КС, перспективних напрямів розвитку робочого обладнання скреперів.

Дослідженню робочого процесу скрепера та методам визначення раціональних параметрів ковша знайшли відображення у роботах: К. О. Артем'єва, В. І. Баловнева, М. В. Барінова, М. А. Бармаша, В. Г. Белокрилова, В. О. Борисенкова, Ю. О. Ветрова, Ю. Б. Дейнего, А. І. Демиденко, М. Г. Домбровського, Г. Дресса, О. А. Єрмакової, А. М. Зеленіна, Г. М. Карасьова, І. Г. Кириченко, Г. Кюна, О. В. Лещінського, О. В. Матвєєва, І. А. Недорезова, Е. Р. Петерса, Н. Д. Пулькіс, О. Є. Ринськова, Д. І. Федорова, Л. А. Хмари,

А. М. Холодова, В. А. Шнейдера, В. Г. Ясинецького та ін.

На підставі аналізу конструктивних рішень скреперного обладнання встановлено переваги та недоліки технічних рішень, а саме: основним напрямком вдосконалення КС є збільшення кількості ґрунту, який надходить у ківш, зменшення опору заповнення ковша, використовуючи інтенсифікатори різного типу. Недоліками таких рішень є додаткове оснащення, яке потребує застосування окремих робочих органів з підводом енергії до них, а також недостатньо приділяється увага процесу розвантаження КС, що теж потребує енерговитрат. Тому необхідно сформулювати та розробити методи призначення його конструктивних параметрів, а також необхідно доопрацювати пропозиції авторів попередніх досліджень, які стосуються процесів копання та розвантаження ґрунту КС.

У **другому розділі** «Теоретичне дослідження процесу копання і розвантаження ковшів скреперів традиційного типу і з напівкруглим днищем» описаний процес копання КС.

На кінцевому етапі копання скрепер долає опори: різанню та наповненню ковша з урахуванням опорів бокових підрізаючих ножів, опір затуплення ріжучих ножів, призми волочінню, опір пересуванню самого скрепера під навантаженням:

$$P_{\kappa} = P_p + P_{zn} + P_{zm} + P_{np} + P_{nep}, \quad (2.1)$$

де  $P_p$  – опір різанню;  $P_{zn}$  – опір заповненню;  $P_{zm}$  – опір від затуплення ріжучих ножів;  $P_{np}$  – опір переміщенню призми волочіння;  $P_{nep}$  – опір від переміщення скрепера.

Професором В.І. Баловневим розроблена математична модель опору заповненню КС традиційного типу.

Розрахунок процесу заповнення КС з НПД і ЗС маятникового типу проводиться аналогічно до традиційного розрахунку з деякими уточненнями.

Розрахункова схема процесу копання ґрунту КС з НПД зображена для найбільш енергоємної кінцевої стадії заповнення ковша (рис. 1).

У розгорнутому вигляді математична модель опору заповнення КС з НПД:

$$P_{\text{кон}} = (1 + ctg\alpha_p tg\delta) A_1 B_{\text{нпд}} h_{\text{коп}} \left[ \frac{K_{\gamma} \gamma h_{\text{коп}}}{2} + c_{\omega} ctg\rho \left( 1 - \frac{1}{A_1} \right) + p_{\text{нл}} K_{\gamma} J + 2A_3 t h_{\text{коп}} \left[ \frac{\gamma h_{\text{коп}}}{2} + c_{\omega} ctg\rho \left( 1 - \frac{1}{A_3} \right) \right] + (1 + ctg\alpha_{3т} tg\delta_2) A_2 B_{\text{нпд}} h_{3т} \left[ \frac{\gamma h_{3т}}{2} + c_{\omega} ctg\rho \left( 1 - \frac{1}{A_1} \right) + p_{\text{нл}} K_{\gamma} J + \gamma_p \cos^2 \rho \frac{B_{\text{нпд}} H_{\text{пр нпд}}^2}{2} + (G_{2p} + G_{ск}) \cdot (f+i), \right. \right. \quad (2)$$

де  $\alpha_p$  – кут різання, град;  $\delta$  – кут зовнішнього тертя, град;  $A_1$  – коефіцієнт кута нахилу площини, яка контактує з ґрунтом;  $B_{\text{нпд}}$  – ширина різання, м;  $h_{\text{коп}}$  – товщина стружки, м;  $K_{\gamma}$  – коефіцієнт, який враховує зміну щільності ґрунту у ковші скрепера з НПД в порівнянні з традиційним ковшем і визначається експериментально;  $\gamma$  – об'ємна маса ґрунту з непорушеною структурою, т/м<sup>3</sup>;  $c_{\omega}$  – зчеплення ґрунту з непорушеною структурою, т/м<sup>2</sup>;  $\rho$  – кут внутрішнього тертя розроблюваного ґрунту, град;  $p_{\text{нл}}$  – питомий опір руху пласта у ковші, т/м<sup>2</sup>;  $A_2$  – коефіцієнт, який визначається в залежності від кута затуплення;  $A_3$  – коефіцієнт, який визначає нормальні напруження у замкнутій формі для невагомго середовища;  $t$  – ширина бічного ножа, м;  $\alpha_{3т}$  – кут затуплення ножа, град;  $h_{3т}$  – висота затуплення ножа, м;  $\gamma_p$  – об'ємна маса ґрунту з порушеною структурою, т/м<sup>3</sup>;  $k_{\psi}$  – коефіцієнт кута зсуву;

$H_{\text{пр нпд}}$  – висота призми волочіння КС з НПД, м;  $G_{\text{зр}}$  – маса ґрунту у КС, т;  $G_{\text{ск}}$  – маса скрепера, т;  $f$  – коефіцієнт опору руху ходового обладнання;  $i$  – нахил шляху, град.

Аналіз математичної моделі опору заповнення КС показує, що на кінцевому етапі заповнення ковша максимальне значення опору ґрунту копанню  $P_{\text{коп}}$  є функцією геометричних параметрів ковша, фізико-механічних властивостей ґрунту та режиму копання, які визначаються товщиною стружки  $h_{\text{коп}}$  і кутом різання  $\alpha_r$ .

Робочий процес скрепера включає в себе набір ґрунту, транспортування його до місця відсипки та розвантаження. Традиційні способи розрахунку сил дозволяють розрахувати максимальне зусилля, яке потрібне при розвантаженні. Проміжні зусилля, які виникають в процесі розвантаження невідомі.

Одним із напрямів вирішення означеної проблеми є створення теоретичного розрахунку, який враховує кількість залишкового ґрунту у ковші протягом усього періоду розвантаження.

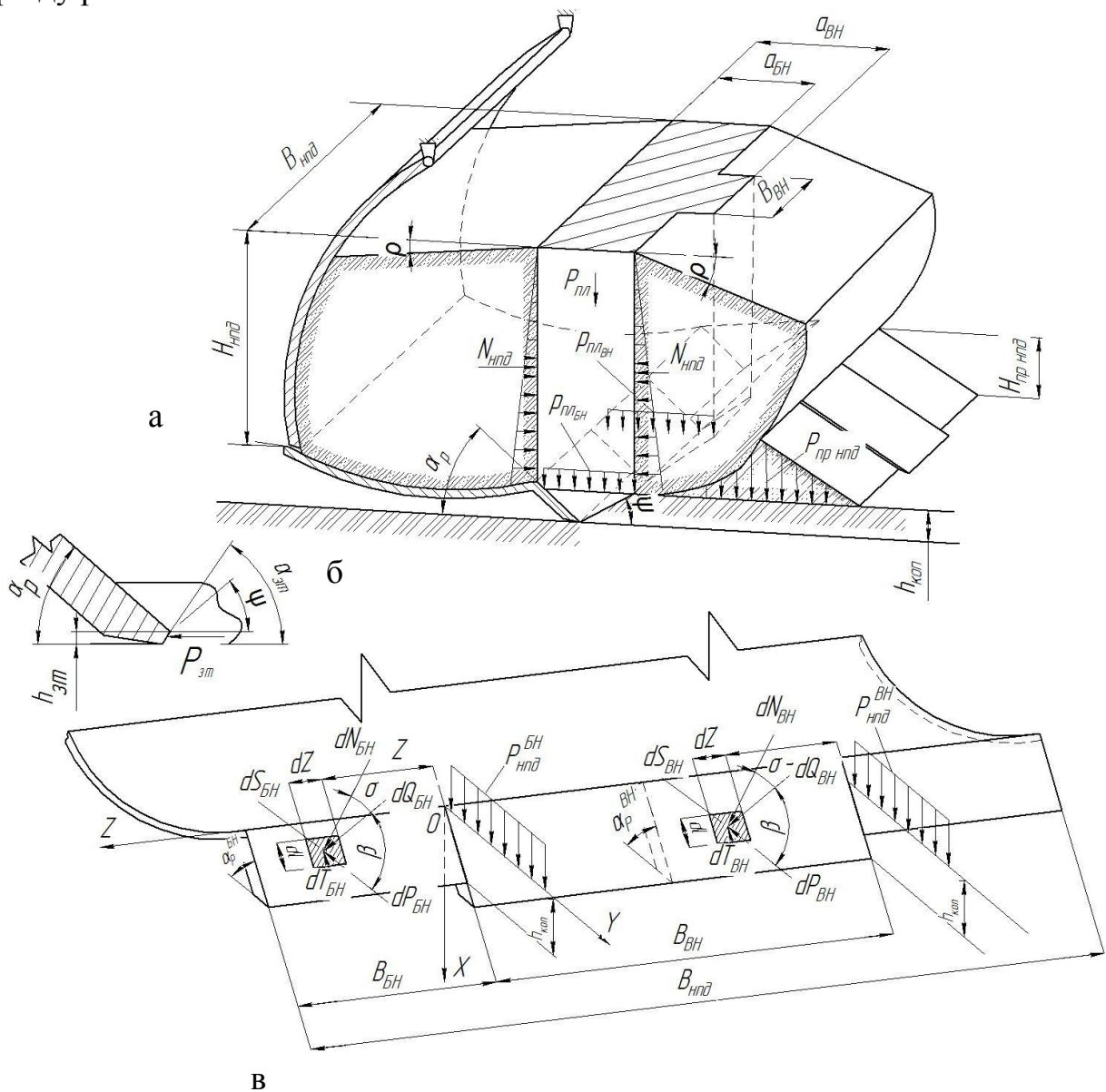


Рис. 1. Розрахункова схема для визначення опору копанню ґрунту скрепером з НД та ЗС маятникового типу: а - КС; б - область затуплення ріжучого ножа; в - схема різання ґрунту плоским ножом



Для розрахунку маси ґрунту, яка залишилася у КС потрібно зробити ряд допущень: після відкриття передньої заслінки, у передній частині ковша ґрунт приймає форму природнього відкосу; частина ґрунту, яка залишилася у ковші, у верхній частині заповнює ківш повністю без відкосів від середньої частини; ЗС має форму відвала бульдозера.

Поперечний переріз КС дає можливість визначити площу  $S(a)$ , яку займає ґрунт у ковші (рис. 2, 3):

$$S(a) = \begin{cases} \iint S(H_{\text{тр}}) dS = \int_0^{H_{\text{тр}}^*} dy \int_{y \text{ ctg} \rho}^{a+f(y)} \gamma dx, \text{ якщо } a + f(H_{\text{тр}}) > H_{\text{тр}} \text{ ctg} \rho; \\ \iint S(H_{\text{тр}}^*) dS = \int_0^{H_{\text{тр}}^*} dy \int_{y \text{ ctg} \rho}^{a+f(y)} \gamma dx, \text{ якщо } a + f(H_{\text{тр}}^*) \leq H_{\text{тр}}^* \text{ ctg} \rho, \end{cases}$$

де \* - рівень ґрунту у КС нижче висоти ЗС;  $a$  – умовний крок руху ЗС.

Обчислювання виконувались за допомогою програми Mathcad 15.

Математична модель зусилля розвантаження:

$$F = \mu_1 \frac{q \gamma_{\text{г}} k_3}{k_p} + 2 \mu_1 E_a + f G_{\text{cm}} + \left( \frac{q \gamma_{\text{г}} k_3}{k_p} + G_{\text{cm}} \right) \frac{v_c}{9,81 t}, \quad (4)$$

де  $\mu_1$  – коефіцієнт тертя ґрунту по сталі;  $k_3$  – коефіцієнт заповнення ковша;  $k_p$  – коефіцієнт розпушення ґрунту;  $E_a$  – активний тиск ґрунту на бокову стінку, Н;  $f$  – коефіцієнт опору коченню роликів ЗС;  $v_c$  – швидкість руху ЗС, м/с;  $t$  – час, с.

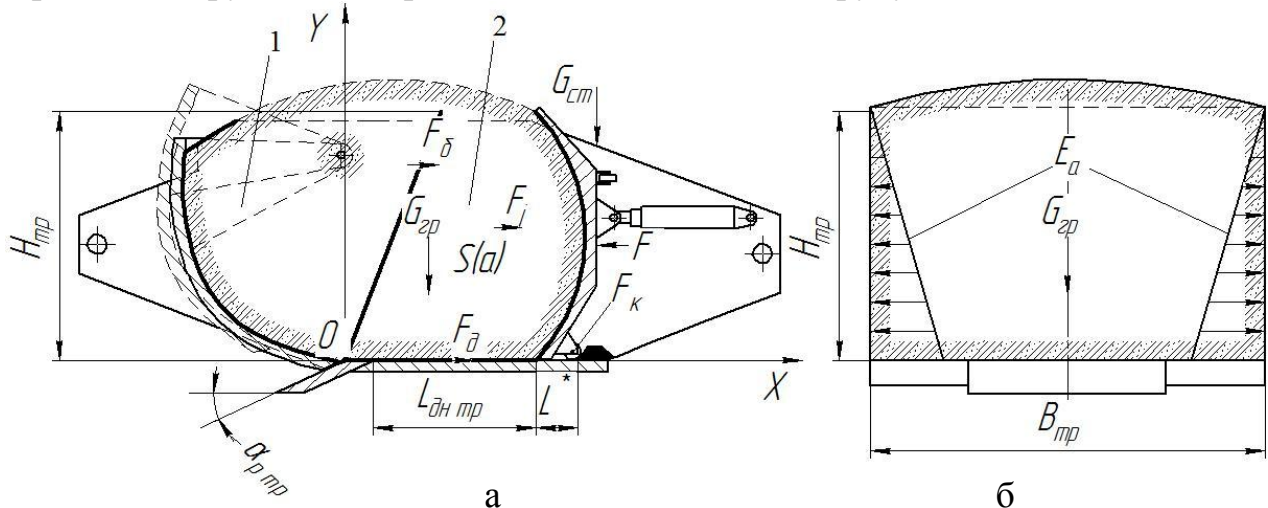


Рис. 2. Схема зусилля, які діють при розвантаженні ґрунту з КС традиційного типу: 1 - ківш у заповненому стані; 2 - об'єм ґрунту у ковші при відкритій передній заслінці; а – вид збоку; б – вид спереду

Для розрахунків процесу розвантаження використано програму Microsoft Excel.

В результаті розрахунків отримано залежності зміни маси ґрунту у КС в процесі його розвантаження (рис. 4), які дозволяють визначити кількість ґрунту у КС при різному положенні ЗС.

Залежність зміни зусилля розвантаження від положення ЗС відносно довжини днища КС показано на рисунку 5.

Теоретичний розрахунок дозволяє враховувати кількість залишкового ґрунту у ковші протягом усього періоду розвантаження для КС з НПД. Для теоретичного розрахунку сил, які виникають при розвантаженні ковша з НПД, за основу був взятий скрепер Д - 357 з примусовою системою розвантаження (рис. 6, 7).

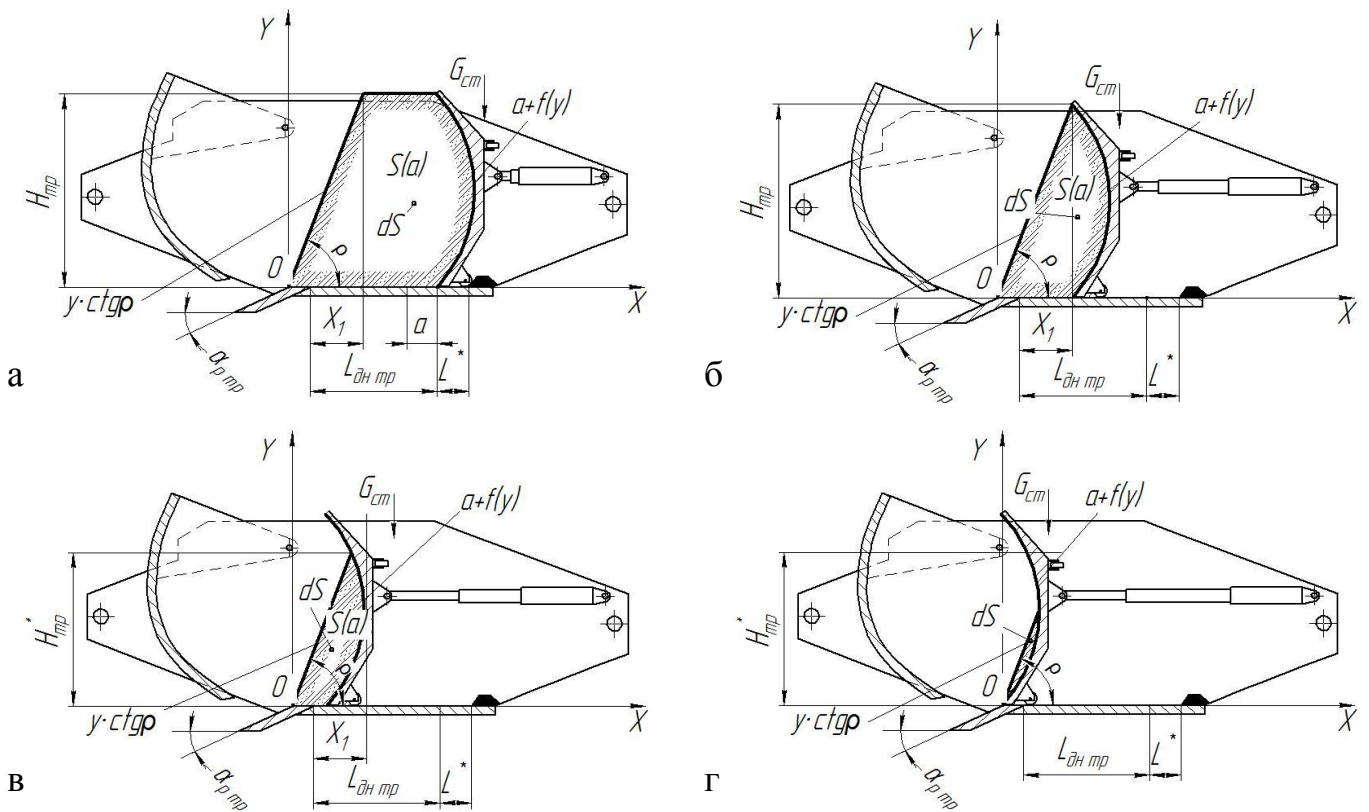


Рис. 3. Схема для розрахунку площі поперечного перерізу КС традиційного типу, яку займає ґрунт: а – початок розвантаження; б – початок зменшення висоти рівня ґрунту у ковші; в – зменшення висоти рівня ґрунту у ковші; г – кінцева стадія розвантаження

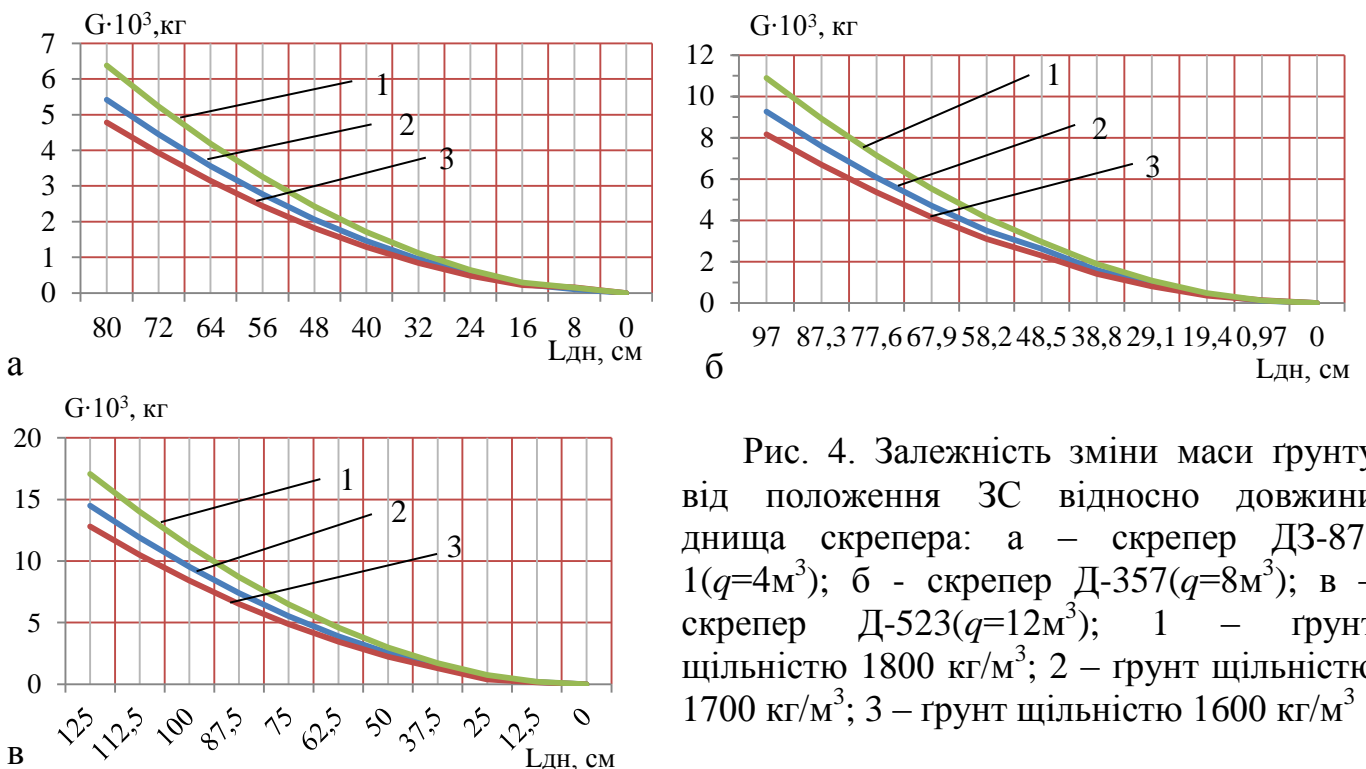


Рис. 4. Залежність зміни маси ґрунту від положення ЗС відносно довжини днища скрепера: а – скрепер ДЗ-87-1( $q=4\text{м}^3$ ); б - скрепер Д-357( $q=8\text{м}^3$ ); в – скрепер Д-523( $q=12\text{м}^3$ ); 1 – ґрунт щільністю  $1800\text{ кг/м}^3$ ; 2 – ґрунт щільністю  $1700\text{ кг/м}^3$ ; 3 – ґрунт щільністю  $1600\text{ кг/м}^3$

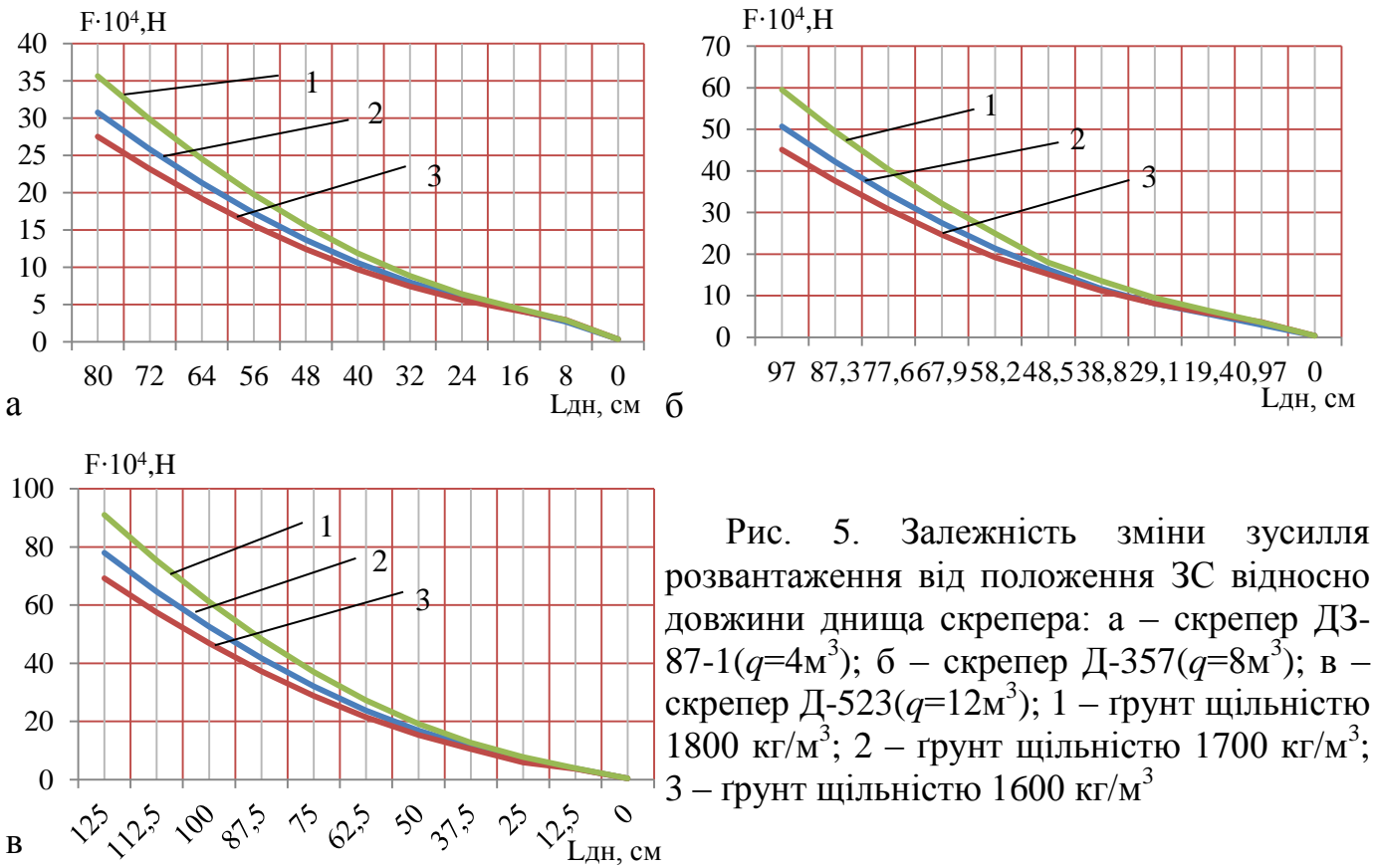


Рис. 5. Залежність зміни зусилля розвантаження від положення ЗС відносно довжини днища скрепера: а – скрепер ДЗ-87-1( $q=4\text{м}^3$ ); б – скрепер Д-357( $q=8\text{м}^3$ ); в – скрепер Д-523( $q=12\text{м}^3$ ); 1 – ґрунт щільністю  $1800\text{ кг/м}^3$ ; 2 – ґрунт щільністю  $1700\text{ кг/м}^3$ ; 3 – ґрунт щільністю  $1600\text{ кг/м}^3$

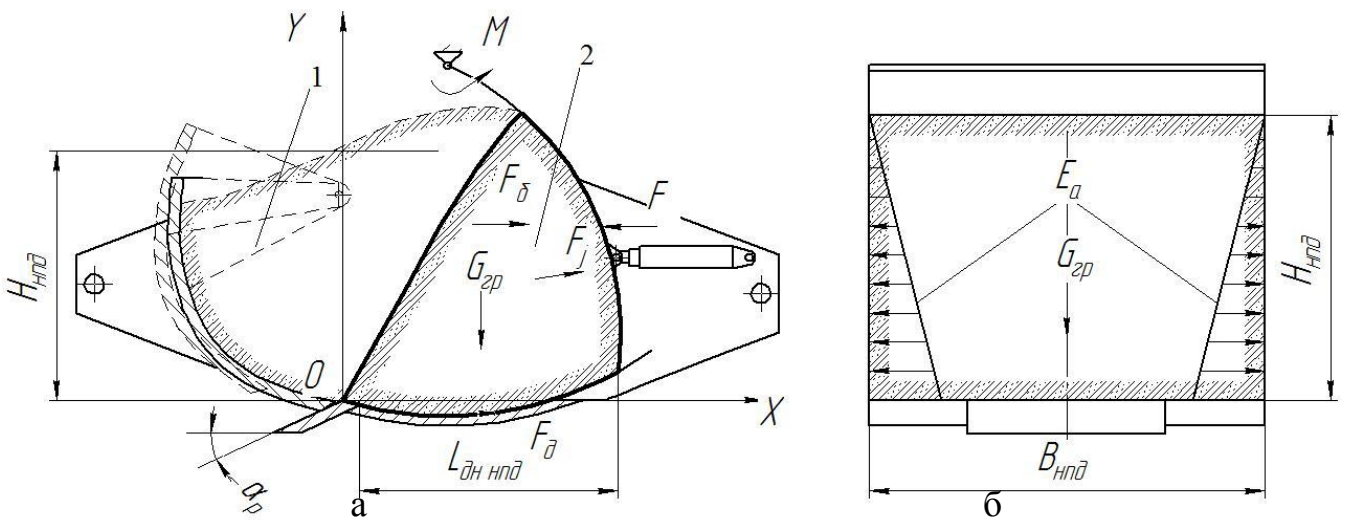


Рис. 6. Схема зусиль, які діють при розвантаженні ґрунту з КС, обладнаного НПД: а – вид збоку; б – вид спереду; 1 – ківш у заповненому стані; 2 – об’єм ґрунту у ківші при відкритій передній заслінці

У результаті розрахунків отримані залежності зміни маси ґрунту у КС у процесі його розвантаження (рис. 8, а). Дані залежності дозволяють визначити кількість ґрунту у КС при зміні положення ЗС.

Залежність зміни зусилля розвантаження від положення ЗС відносно довжини днища КС дано на рисунку 8, б.

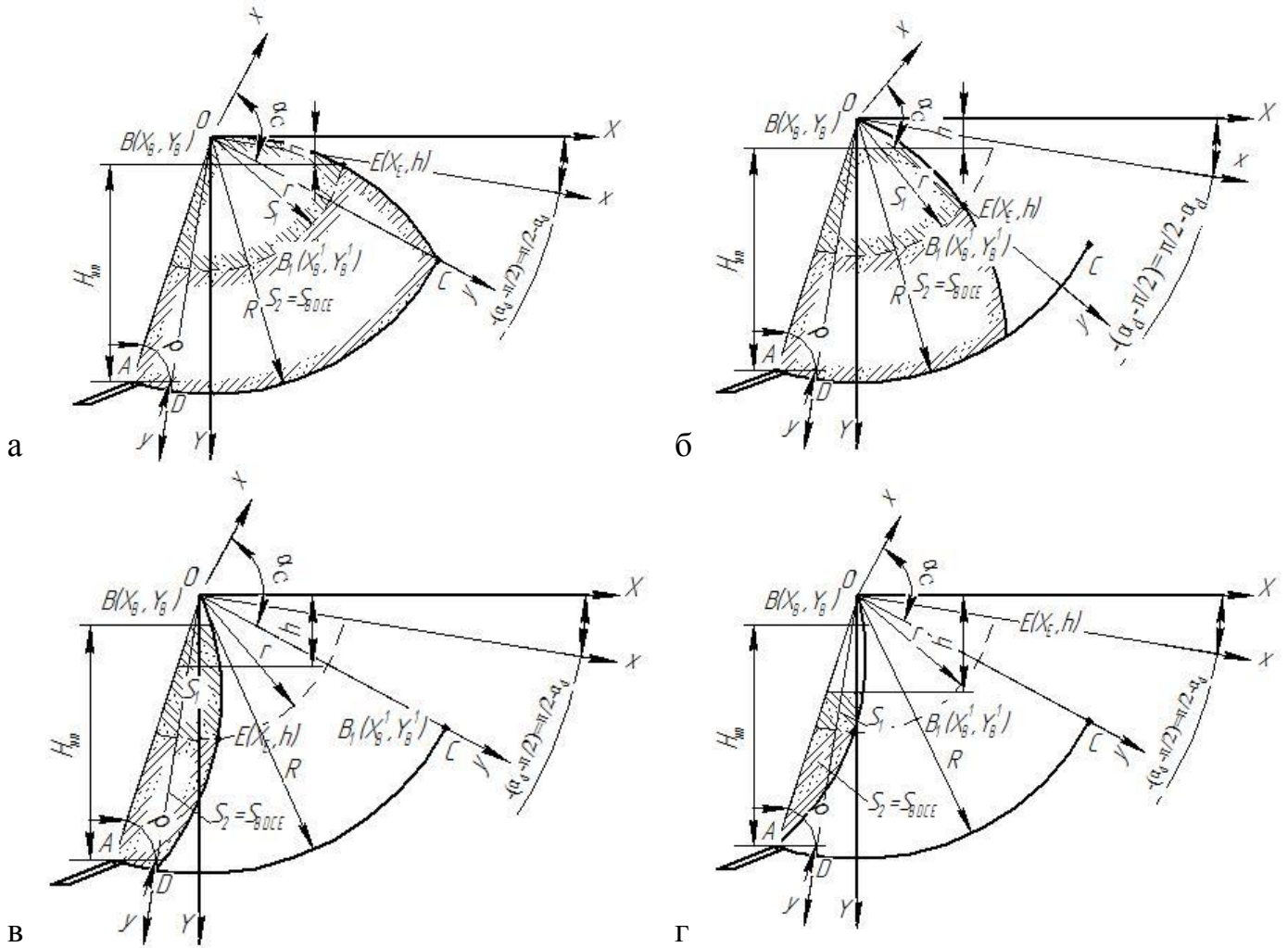


Рис. 7. Схема для розрахунку площі поперечного перерізу КС традиційного типу, яку займає ґрунт: а – початок розвантаження; б – початок зменшення висоти рівня ґрунту у ковші; в – зменшення висоти рівня ґрунту у ковші; г – кінцева стадія розвантаження

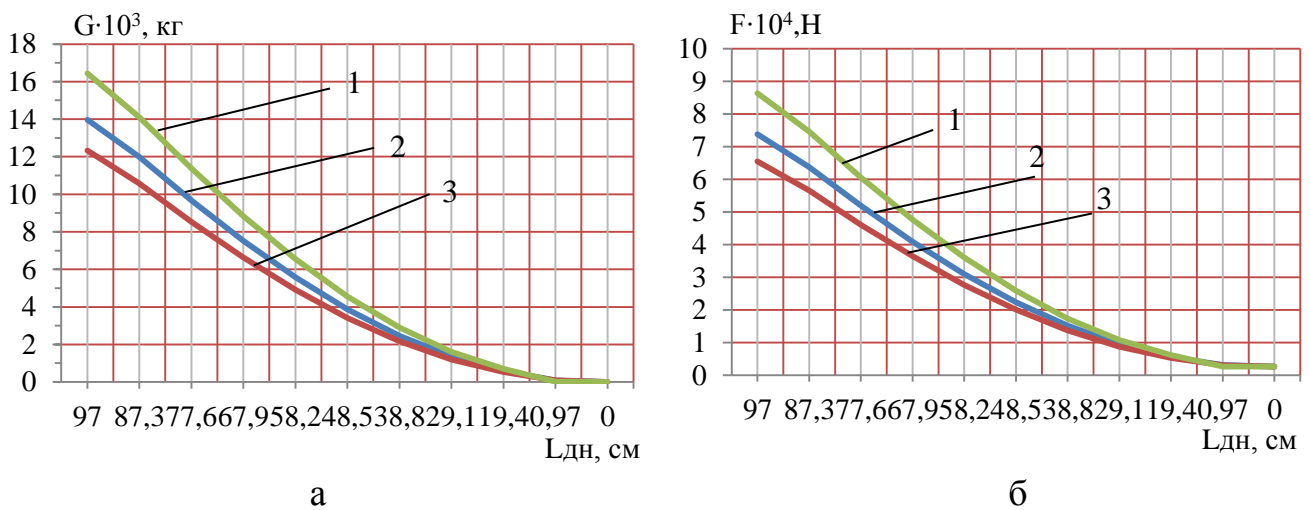


Рис. 8. Залежності зміни маси ґрунту та зусилля розвантаження від положення ЗС відносно довжини днища  $L_{дн}$  скрепера Д-357( $q=8\text{м}^3$ ): а - залежність зміни маси ґрунту  $G$  від положення ЗС відносно довжини днища  $L_{дн}$ ; б - залежність зміни зусилля розвантаження  $F$  від положення ЗС відносно довжини днища  $L_{дн}$ : 1 – ґрунт щільністю  $1800\text{ кг/м}^3$ ; 2 – ґрунт щільністю  $1700\text{ кг/м}^3$ ; 3 – ґрунт щільністю  $1600\text{ кг/м}^3$



У третьому розділі «Експериментальні дослідження процесу копання і розвантаження скрепера традиційного типу і з НПД» представлено методику планування та проведення експериментальних досліджень на стенді фізичного моделювання (рис.9), на стенді моделювання поляризаційно–оптичним методом. Загальний вигляд моделей КС представлено на рисунку 10. Метою досліджень є встановлення фізичної суті процесів копання (копання за двох стадійною схемою) та розвантаження ґрунту з КС, визначення впливу наступних параметрів: при копанні – міцності ґрунту  $C_{уд}$ , висоти стружки  $h_{коп}$ , кроку кривизни донної частини  $R_1$ , кроку кривизни ЗС КС  $R_2$ ; при розвантаженні - висоти підвісу гідроциліндра  $H_{гц}$ , напружень, які виникають у ґрунті (пошарово пофарбований ґрунт) та ЗС КС  $Q$ .

Для проведення дослідів використано метод багатофакторного планування експериментів, а саме: рототабельний центральний композиційний план другого порядку для 2-х факторів. В якості функцій відгуку приймалися: зусилля копання -  $P_{коп}$ , зусилля копання за двох стадійною схемою -  $P_{коп 2 ст}$ , зусилля розвантаження -  $P_{роз}$ , зусилля розвантаження (при копанні за двохстадійною схемою) -  $P_{роз 2 ст}$ .

За умовами проведення експериментальних досліджень та подальшого аналізу визначено фактори, які варіювались: міцність ґрунту  $C_{уд}$  товщина стружки  $h_{коп}$ .

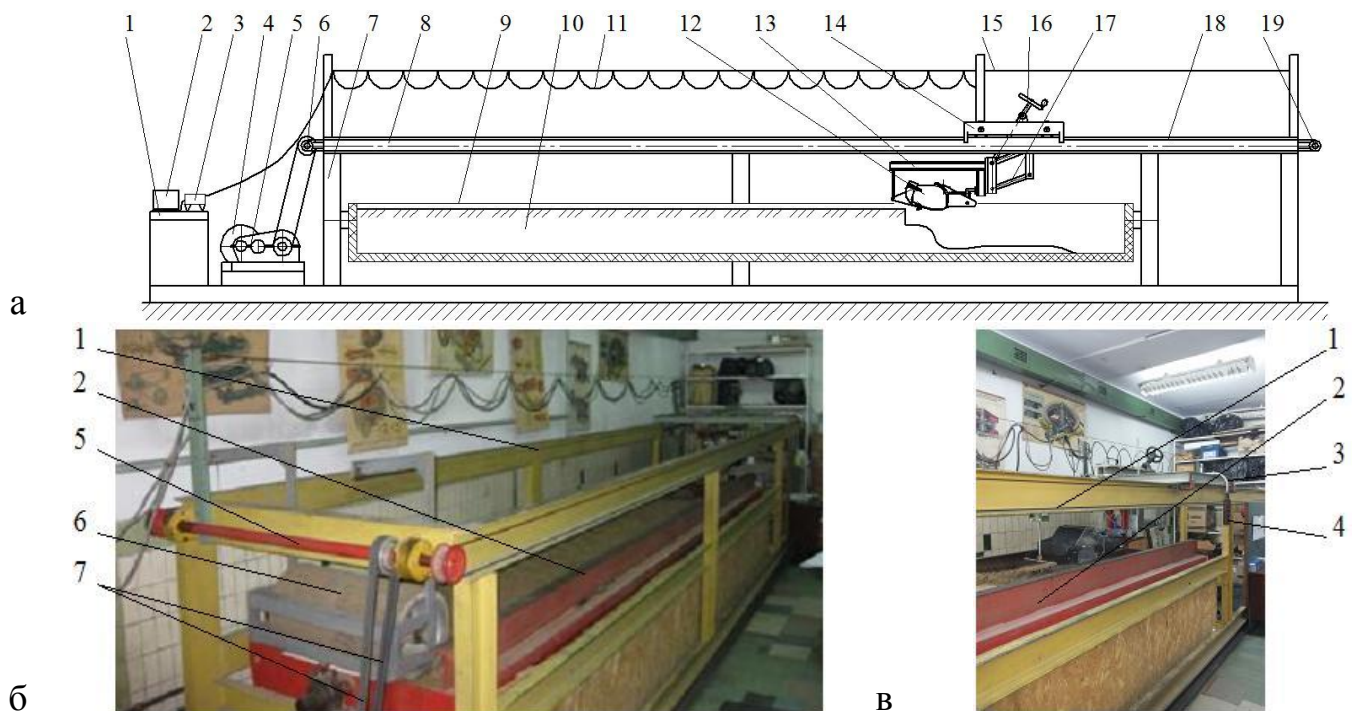


Рис. 9. Стенд для фізичного моделювання робочих процесів ЗТМ: а - схема стенда для фізичного моделювання робочих процесів ЗТМ: 1 - пульт управління; 2 -ПК; 3 - тензометричний блок АЦП; 4 – електродвигун; 5 – редуктор; 6 - привідний вал; 7 - рама; 8 - напрямні балки; 9 - ґрунтовий контейнер; 10 - ґрунт; 11 - екрановані кабелі для з'єднання тензометрів з АЦП;12 - модель КС; 13 - Г-подібний кронштейн; 14 – тензометричний візок; 15 – струна; 16 – управління паралелограмним механізмом; 17 - паралелограмний механізм; 18 – приводний канат; 19 - ведений вал б - вид передньої частини стенда; в – вид задньої частини стенда; 1 – рама; 2 – ґрунтовий контейнер; 3 – модель; 4 – пульт; 5 - привідний вал; 6 - коток для ущільнення ґрунту; 7 – клиновидні ремені

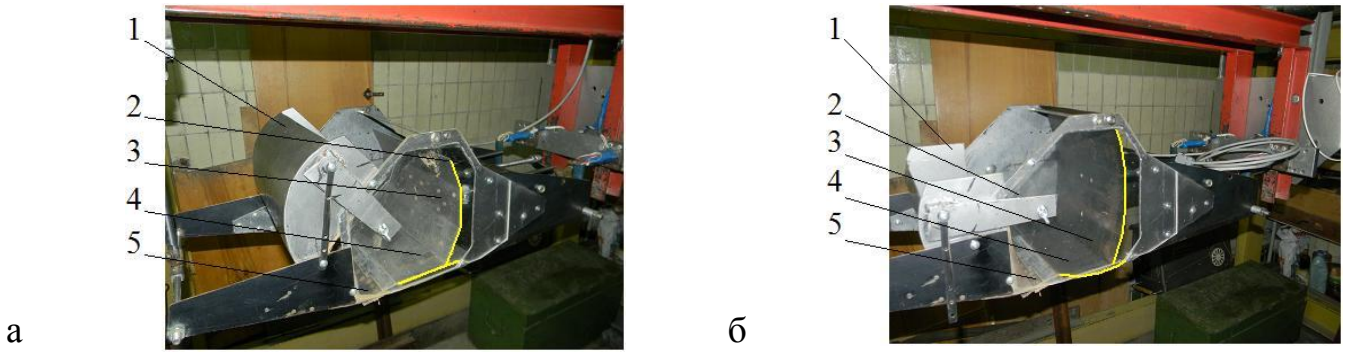


Рис. 10. Загальний вигляд фізичних моделей КС: а - ківш традиційного виконання; б - ківш з НД; 1 – передня заслінка; 2 – прозора бокова стінка для дослідження руху ґрунту у КС; 3 - ЗС; 4 – днище ковша; 5 - ніж

Для моделювання поляризаційно-оптичним методом використано ЗС КС традиційного типу та заданої кривизни  $R_2$  (рис.11, д, е, є), стэнд (рис. 12), які виготовлено з прозорих низькомодульних оптично чутливих матеріалів: епоксидні смоли, оргскло, оптично не активне скло та ін. У даній роботі використано в якості матеріалу для моделі ЗС затверділу епоксидну смолу марки ЕД -16.

Оптично чутливий матеріал для моделювання ґрунтового середовища - еластомірна композиція, яка складається з двох компонентів: олігомірного ізопренового каучуку з кінцевими гідрозидними групами марки СКІ -ГО з концентрацією гідрозидних груп 4,0 % і молекулярною масою 2000 а.о.м.

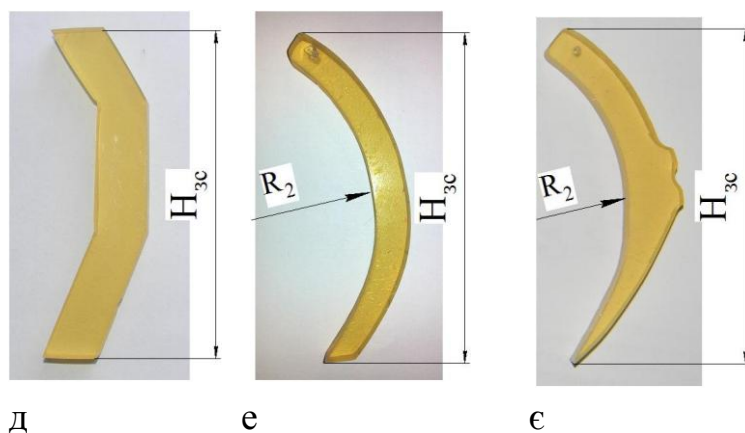
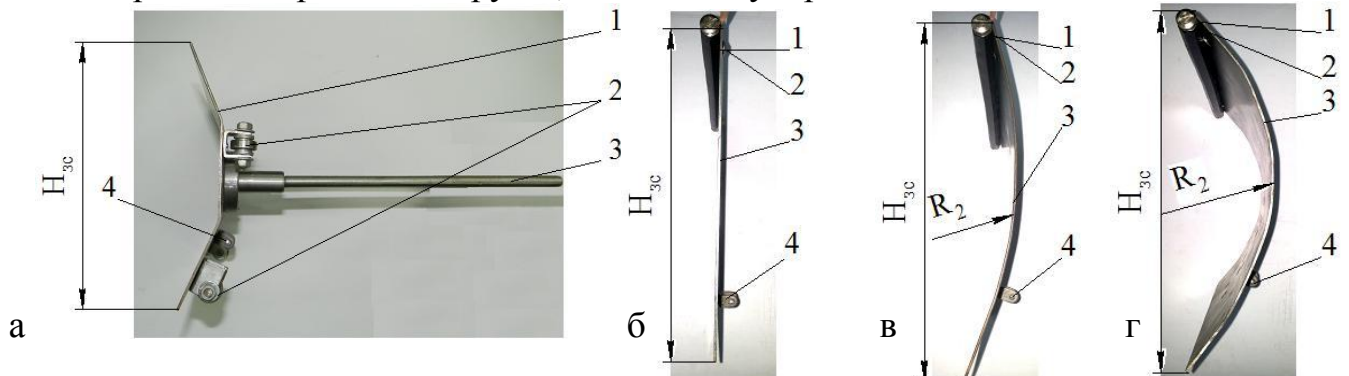


Рис. 11. Загальний вигляд моделей ЗС КС для фізичного моделювання та дослідження напружено-деформованого стану: а,д - ЗС традиційного виконання: 1 – робоча поверхня ЗС; 2 – опірні ролики; 3 – направляюча; 4 – кріплення для тарування тензометра механізму розвантаження; б,в,г,е,є - ЗС маятникового типу з змінними значенням кривизни  $R_2 = (0,8...0,9) H_{3c}, \text{мм}$ ; г – ЗС маятникового типу з змінними значенням кривизни  $R_2 = 0,7 H_{3c}, \text{мм}$ : 1 – вісь кріплення ЗС; 2 – кріплення ЗС до вісі; 3 - робоча поверхня ЗС; 4 – кріплення для тарування тензометра механізму розвантаження

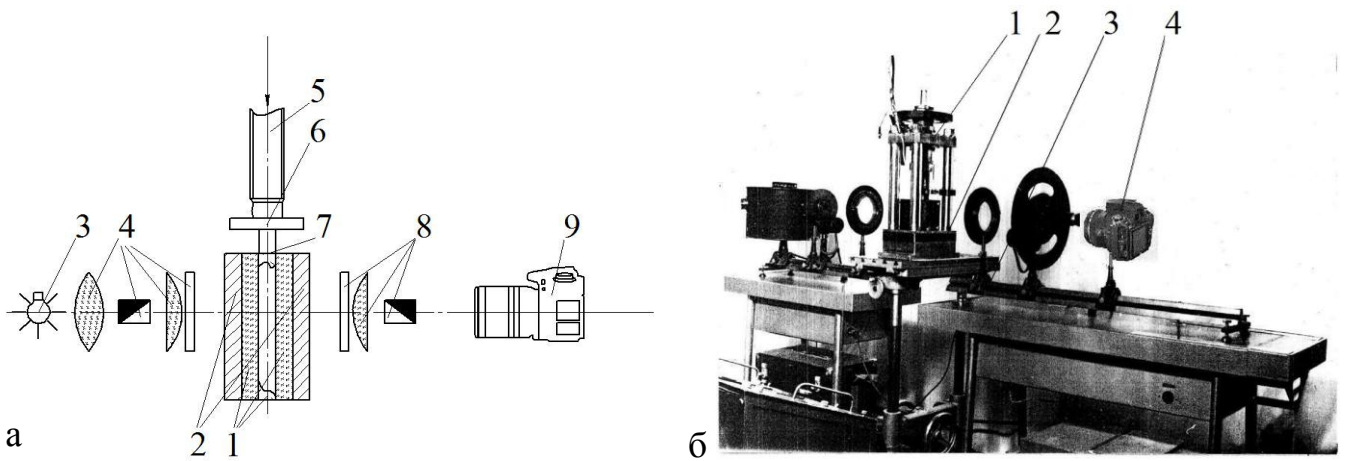


Рис. 12. Стенд для дослідження напружень поляризаційно-оптичним методом ЗС КС: а - схема стенда для дослідження напружень поляризаційно-оптичним методом на ЗС КС: 1 – скляні блоки; 2 – контейнер; 3 – лампа; 4, 8 – вузли поляризатора й аналізатора ППУ-7; 5 - гвинт преса; 6 – прижимна частина преса; 7 – насадка; 9 – фотоапарат; б - загальний вигляд стенда для дослідження напружень поляризаційно-оптичним методом на ЗС КС: 1 – лабораторний прес; 2 – стіл ПС-1; 3 – поляризаційно-проекційна установка ППУ-7; 4 – фотокамера Nikon

**Четвертий розділ** «Результати експериментальних досліджень робочих процесів КС з НПД» В якості визначаючих геометричних параметрів для КС прийняті:  $H$  – висота ковша;  $B$  – ширина ковша;  $L_{\text{дн}}$  – довжина днища ковша. Розміри КС визначаються у відповідності до теорії подібності:

$$\left(\frac{\tau}{\gamma_r l}\right)_m = \left(\frac{\tau}{\gamma_r l}\right)_n; \left(\frac{v^2}{gl}\right)_m = \left(\frac{v^2}{gl}\right)_n; \rho_m = \rho_n; \delta_m = \delta_n; \left(\frac{d}{l}\right)_m = \left(\frac{d}{l}\right)_n; \alpha_{\text{ім}} = \alpha_{\text{ін}}; \left(\frac{l_i}{l}\right)_m = \left(\frac{l_i}{l}\right)_n, \quad (5)$$

де  $\tau$  – опір ґрунту зсуву, МПа;  $l$  – визначальний лінійний розмір обладнання, м;  $g$  – прискорення вільного падіння, м/с<sup>2</sup>;  $d$  – лінійний розмір кусків та окремих включень, які знаходяться у ґрунті, м;  $l_i$  – деякий лінійний параметр обладнання, м.

Критерії подібності процесу взаємодії КС з ґрунтом мають вигляд:

$$P_{01} = \frac{\tau}{\gamma_r l}; P_{02} = \frac{\sigma}{\gamma_r l}; P_{03} = \frac{\eta v}{\gamma_r l^2}; P_{04} = \frac{v^2}{gl}; P_{05} = \frac{E}{\sigma}; P_{06} = \frac{C\omega^1}{\sigma}; P_{07} = \frac{C\omega^2}{\tau}; P_{08} = \frac{\sigma}{\tau}; P_{09} = \frac{\sigma_{\text{см}}}{\tau};$$

$$P_{10} = \rho; P_{11} = \delta; P_{12} = \alpha; P_{13} = \frac{P}{\gamma_r l^3}; P_{14} = \omega; P_{15} = \frac{\gamma_{\text{пр}} l}{\sigma}; P_{16} = \frac{C_{\text{рв}}}{\sigma}; P_{17} = \frac{B}{l}; P_{18} = \frac{H}{l}; P_{19} = \frac{R}{l};$$

$$P_{20} = \frac{L_{\text{дн}}}{l}; P_{21} = \frac{h}{l}; P_{22} = \frac{d}{l}, \quad (6)$$

де  $\sigma$  – напруження, Па;  $\eta$  – динамічна в'язкість, Па·с;  $E$  – модуль лінійної деформації ґрунту, Па;  $\rho$  – щільність середовища, кг/м<sup>3</sup>;  $\omega$  – вологість ґрунту, %;  $R$  – радіус кривизни поверхні ковзання, м.

Виходячи з геометричних розмірів моделі, виготовлені: ківш традиційного типу з плоским днищем і ЗС; ковші з НПД  $R_{1,1} = 0,3 \cdot L_{\text{дн нпд}}$ , м,  $R_{1,2} = 0,4 \cdot L_{\text{дн нпд}}$ , м,  $R_{1,3} = L_{\text{дн нпд}}/2$ , м, які відповідали технологічним параметрам скрепера.

Графіки зусилля копання представлені на рисунку 13, в яких площа являє виконану роботу.

При розвантаженні ґрунту з КС традиційного типу і з НПД, вивчався характер опору розвантаження  $P_{\text{роз}}$  по довжині днища  $L_{\text{дн}}$  (рис.14).



Кріплення приводу ЗС КС змінювалось по її висоті ( $\frac{H_1}{H_{3c}} = 0,06$ ;  $\frac{H_2}{H_{3c}} = 0,2$ ;  $\frac{H_3}{H_{3c}} = 0,35$ ;  $\frac{H_4}{H_{3c}} = 0,5$ ) (рис. 14).

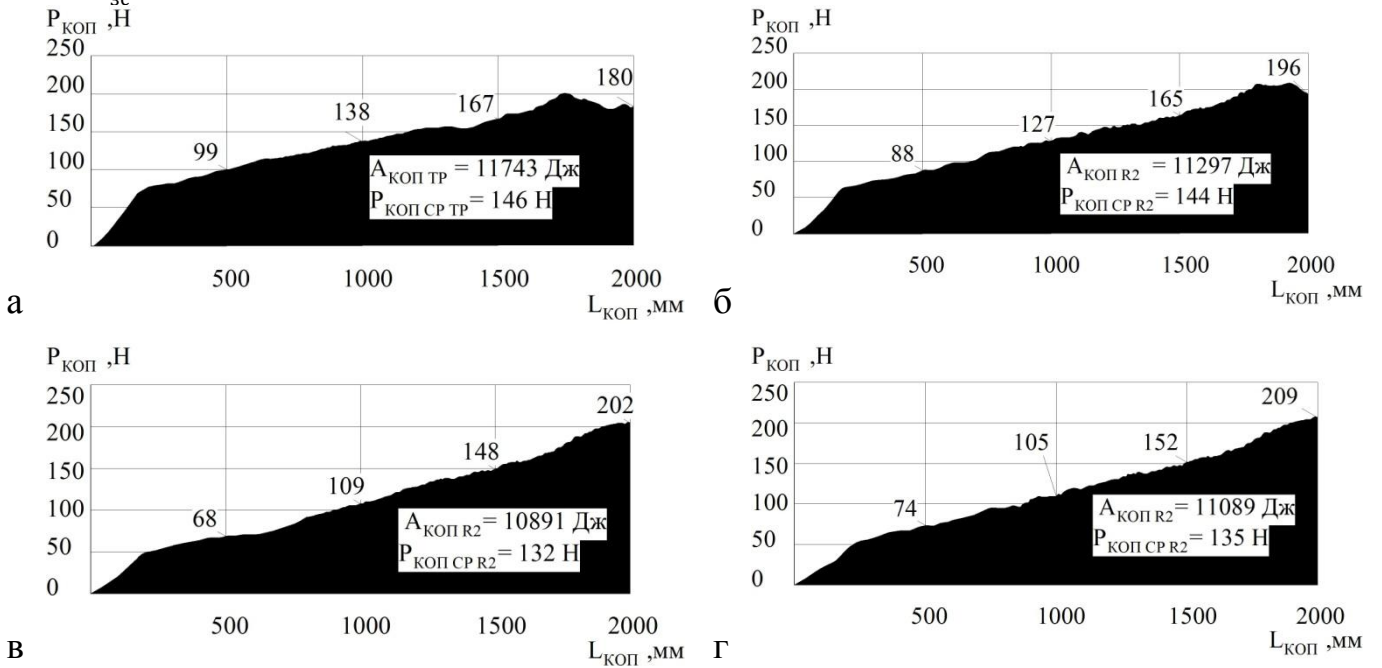


Рис. 13. Графік зміни зусилля копання  $P_{\text{коп}}$ , по шляху копання  $L_{\text{коп}}$ : а - традиційний ківш,  $L_{\text{коп}}$ ; б - ківш з НПД,  $L_{\text{коп}}$  при  $R_{1,3} = L_{\text{дн нпд}}/2$ , м; в - ківш з НПД  $L_{\text{коп}}$  при  $R_{1,2} = 0,4 \cdot L_{\text{дн нпд}}$ , м; г - ківш з НПД,  $L_{\text{коп}}$  при  $R_{1,1} = 0,3 \cdot L_{\text{дн нпд}}$ , м

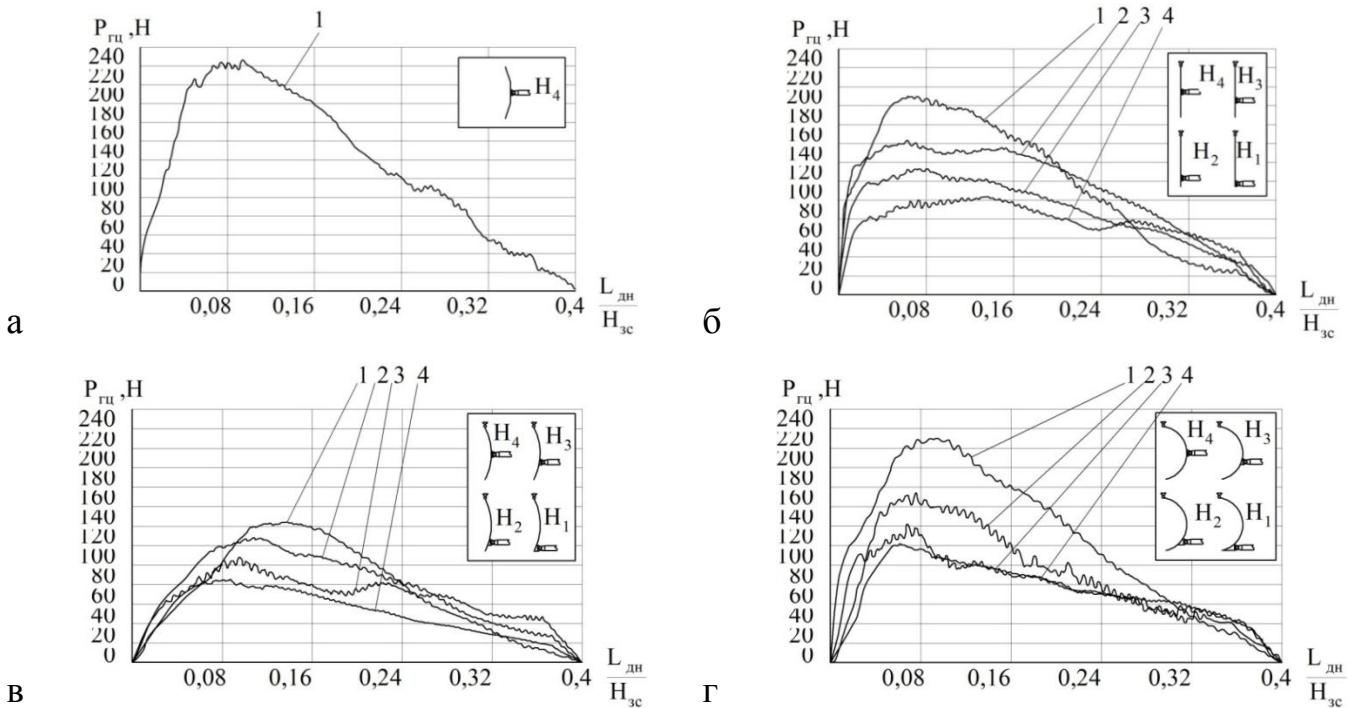


Рис. 14. Осцилограми зміни зусилля розвантаження,  $P_{\text{роз}}$  від довжини днища скрепера,  $L_{\text{дн}}$ : а - традиційний ківш; б, в, г - ковші з НПД і ЗС маятникового типу  $R_{2,1} = 0$ , мм,  $R_{2,2} = (0,8 \dots 0,9) H_{3c}$ , мм,  $R_{2,3} = 0,7 H_{3c}$ , мм. Розташування гідроциліндра на ЗС КС: 1 -  $\frac{H_4}{H_{3c}} = 0,5$ ; 2 -  $\frac{H_3}{H_{3c}} = 0,35$ ; 3 -  $\frac{H_2}{H_{3c}} = 0,2$ ; 4 -  $\frac{H_1}{H_{3c}} = 0,06$



Проведено аналіз процесу розвантаження ґрунту і побудовано відповідні графіки (рис. 15)

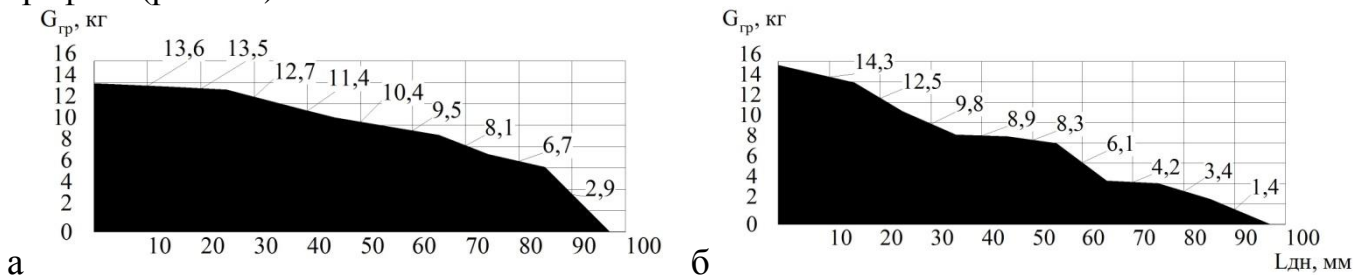


Рис. 15. Графіки зміни маси ґрунту в процесі розвантаження ковша від пересування ЗС вздовж днища: а - ківш традиційного типу; б - ківш з НПД

Для визначення напружень, які виникають на ЗС КС у процесі розвантаження, в умовах зміни висоти кріплення приводу гідроциліндра, проведені експериментальні дослідження по навантаженню моделей ЗС КС в умовах зміни висоти кріплення приводу гідроциліндра та визначені раціональні параметри ЗС КС.

Проведені дослідження на основі показників напружень та деформацій задніх стінок КС із застосуванням програмного забезпечення у системі CAD Solid Works Simulation (рис. 16, а, б, г, д) та отримані результати напружено-деформованого стану поляризаційно-оптичним методом (рис. 16, в, е).

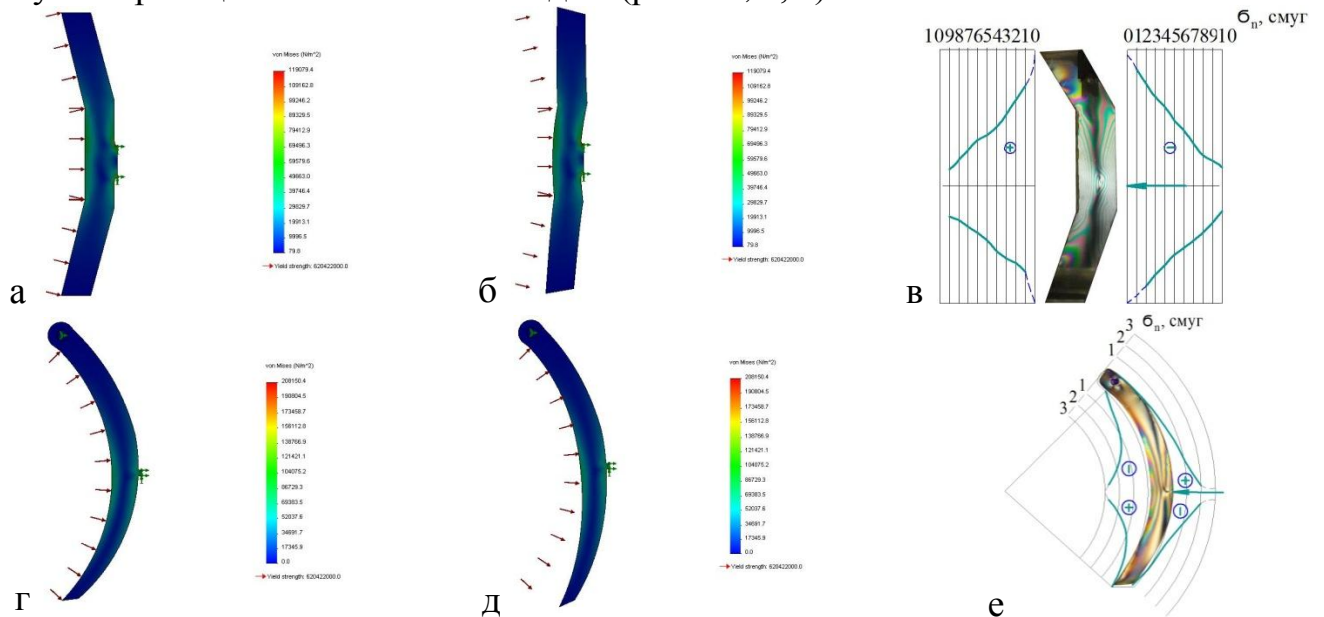


Рис. 16. Показники напружень та деформацій ЗС КС: а – напруження ЗС традиційної конструкції; б – деформація ЗС традиційної конструкції; в – напруження ЗС традиційної конструкції поляризаційно-оптичним методом; г напруження ЗС маятникового типу; д - деформація ЗС маятникового типу; е - напруження ЗС маятникового типу поляризаційно-оптичним методом

Після обробки осцилограм, отриманих на основі плану експерименту, сформовано числовий масив даних для функцій відгуку  $P_{\text{коп}}$ ,  $P_{\text{роз}}$ ,  $P_{\text{коп 2 ст}}$ ,  $P_{\text{роз 2 ст}}$  (рис. 17, 18).

Математична обробка результатів дозволила отримати регресійні моделі:

$$1. \text{ Для копання ґрунту } P_{\text{коп}} = f(C_{\text{уд}}, h_{\text{коп}})$$

$$P_{\text{коп тр}} = 219,5 + 36,0076 \cdot C + 109,771 \cdot h - 23,3125 \cdot C^2 + 4,25 \cdot C \cdot h + 47,8126 \cdot h^2;$$

- $P_{\text{коп нпд}} = 207,5 + 41,0454 \cdot C + 81,2785 \cdot h - 20,6251 \cdot C^2 + 18,75 \cdot C \cdot h + 31,8751 \cdot h^2$ .
2. Для копання ґрунту за двохстадійною схемою  $P_{\text{коп 2ст}} = f(C_{\text{уд}}, h_{\text{коп}})$   
 $P_{\text{коп тр 2 ст}} = 260,0 + 35,7273 \cdot h + 110,405 \cdot C + 23,5625 \cdot h^2 + 3,75 \cdot h \cdot C + 45,0626 \cdot C^2$ ;  
 $P_{\text{коп нпд 2 ст}} = 225,0 + 39,9115 \cdot h + 82,0589 \cdot C + 20,1251 \cdot h^2 + 16,75 \cdot h \cdot C + 31,8751 \cdot C^2$ .
3. Для розвантаження ґрунту  $P_{\text{роз}} = f(C_{\text{уд}}, h_{\text{коп}})$   
 $P_{\text{роз тр}} = 277,0 + 18,1051 \cdot C + 41,7044 \cdot h - 7,06254 \cdot C^2 + 3,75 \cdot C \cdot h + 12,0626 \cdot h^2$ ;  
 $P_{\text{роз нпд}} = 204,0 + 19,6014 \cdot C + 14,3692 \cdot h - 9,0 \cdot C^2 - 0,01 \cdot C \cdot h - 11,5 \cdot h^2$ .
4. Для розвантаження ґрунту:  $P_{\text{роз 2 ст}} = f(C_{\text{уд}}, h_{\text{коп}})$   
 $P_{\text{роз тр 2 ст}} = 283,5 + 18,2301 \cdot h + 41,4758 \cdot C - 6,62503 \cdot h^2 + 4,5 \cdot h \cdot C - 11,6251 \cdot C^2$ ;  
 $P_{\text{роз нпд 2 ст}} = 210,5 + 20,4853 \cdot h + 14,8263 \cdot C - 9,06251 \cdot h^2 + 0,5 \cdot h \cdot C - 11,8125 \cdot C^2$ .

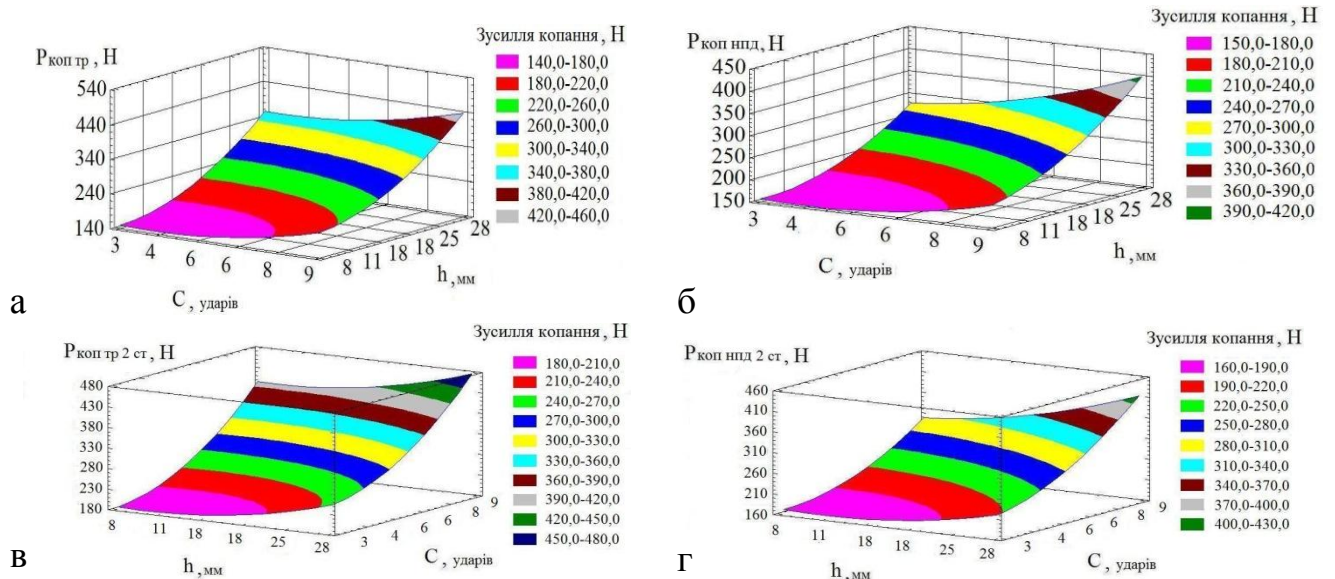


Рис. 17. Графіки залежності зусилля копання ґрунту КС: а - копання КС традиційного типу; б - копання КС з НПД; в - копання КС традиційного типу за двохстадійною схемою; г - копання КС з НПД за двохстадійною схемою

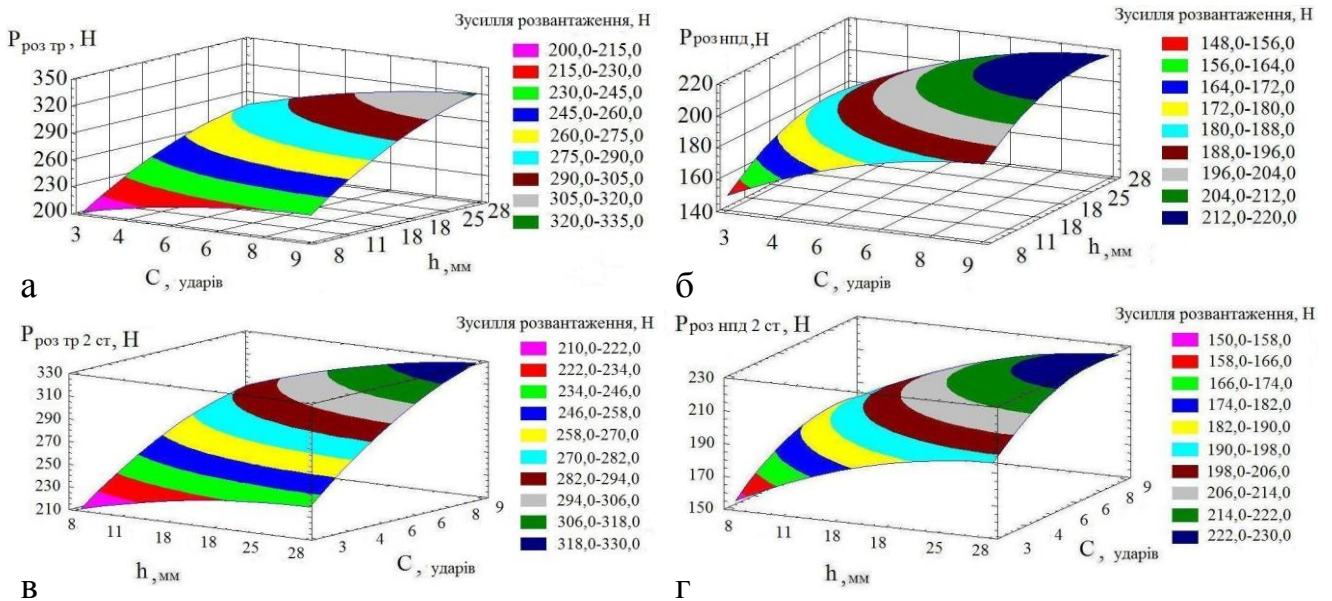


Рис. 18. Графіки залежності зусилля розвантаження ґрунту КС: а – розвантаження ґрунту КС традиційного типу; б - розвантаження ґрунту КС з НПД; в - розвантаження ґрунту КС традиційного типу за двохстадійною схемою; г - розвантаження ґрунту КС з НПД за двохстадійною схемою

**Техніко-економічні показники досліджуваних скреперів**

№ п/п	Показники	Позначення	Значення показників			
			ДЗ-87-1	ДЗ-87-1*	Д-357	Д-357*
1	Опір ґрунту копанню, кН	$P_{\text{коп}}$	55	51	146	132
2	Маса ґрунту, кг	$G_{\text{гр}}$	7650	8500	13178	14189
3	Пит. енергоємність копання, кВт/м <sup>3</sup>	$N/G_{\text{гр}}$	0,015	0,014	0,01	0,009
4	Продуктивність, м <sup>3</sup> /год	$P_{\text{тех}}$	69,5	85	105,9	131,1
5	Матеріалоємність, $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3/\text{год}}$	$G_{\text{гр}}/P_{\text{тех}}$	110	100	124,4	108,2
6	Енергоємність, $\frac{\text{кВт}}{\text{м}^3/\text{год}}$	$N/P_{\text{тех}}$	1,74	1,42	1,24	1,00
7	Узагальнений показник, $\frac{\text{кВт} \cdot \text{кг}}{(\text{м}^3/\text{год})^2}$	$P_{NG}$	191,63	142,35	155,10	108,97
8	Економічний ефект, грн	$E$	-	133503	-	281197

\* - КС, який обладнано НПД.

На конструктивні пропозиції автора отримано патент № 48873 на корисну модель КС «Ківш скрепера» (рис. 19).

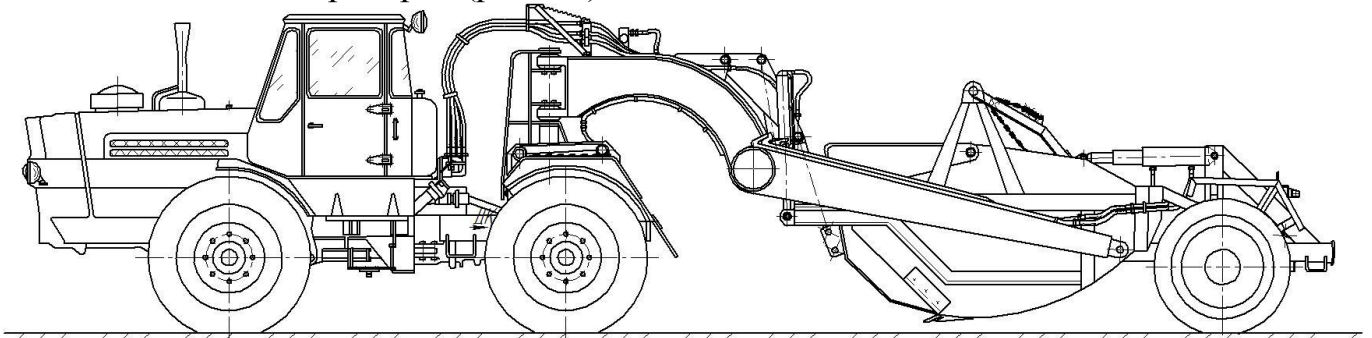


Рис. 19. Ківш скрепера конструкції автора, патент № 48873 на корисну модель

**ВИСНОВКИ**

1. Аналіз науково-технічних та патентних рішень конструкцій КС виявив, що основний напрям по удосконаленню КС спрямований на зменшення зусилля копання та збільшення ґрунту, який надходить у ківш, недостатня увага приділяється процесу розвантаження КС, який теж потребує енерговитрат.

2. Вперше отримано математичні моделі, які описують процес копання КС з урахуванням кривизни донної частини, кривизни ЗС, в яких враховано вплив опору різання та опір від переміщення призми волочіння в умовах заповнення ковша у дві стадії.

3. Вперше отримано математичні моделі, які описують процес розвантаження ґрунту із КС для традиційного та обладнаного НПД, які враховують: силу тертя ґрунту по днищу ковша; силу тертя ґрунту по бічних стінках ковша; силу опору коченню роликів підвісу ЗС; силу інерції поступального руху маси ґрунту і ЗС при ввімкненні механізму розвантаження ґрунту з КС; довжину днища; висоту ковша; щільність набраного ґрунту; кут природнього осипання ґрунту, отримані моделі дозволяють розраховувати залежність зміни маси ґрунту від положення ЗС відносно довжини днища скрепера та зусилля, які необхідні для його розвантаження.

4. Експериментально отримані 2-х факторні регресійні рівняння залежності зусилля копання  $P_{\text{коп}}$ , зусилля копання при заповненні у дві стадії  $P_{\text{коп } 2 \text{ ст}}$  та розвантаження  $P_{\text{роз}}$ ,  $P_{\text{роз } 2 \text{ ст}}$  з урахуванням факторів, в яких розбіжність між теоретичними та експериментальними значеннями зусилля копання не перевищує 10...15%, при розвантаженні – 15...20%.

5. Проведено аналіз процесу розвантаження КС з НПД який обладнано  $R_{1,2} = 0,4 \cdot L_{\text{дн нпд}}$ , м,  $R_{2,2} = (0,8...0,9) H_{\text{зс}}$ , м; і відповідною системою привода, результати якого дозволяють розрахувати залежність зміни маси ґрунту від положення ЗС ковша щодо довжини днища скрепера, а також значення зусиль, необхідних для його розвантаження, які зменшуються у порівнянні з традиційною конструкцією на 30...40%.

6. Проведені дослідження поляризаційно-оптичним методом показують зменшення напружень, які виникають на ЗС КС маятникового типу на 40% в процесі розвантаження завдяки рівномірному розподілу напружень у ЗС.

7. На основі отриманих математичних моделей визначено інтервали раціональних значень за умови мінімальної енергоємності робочого процесу: радіус кривизни донної частини  $R_{1,2} = 0,4 \cdot L_{\text{дн нпд}}$ , м; радіус кривизни ЗС  $R_{2,2} = (0,8...0,9) H_{\text{зс}}$ , м; місце розташування гідроциліндра розвантаження у співвідношенні  $\frac{H_4}{H_{\text{зс}}} = 0,5$ .

8. На основі порівняльного аналізу техніко-економічної ефективності скрепера Д-357, обладнаного НПД було встановлено, що форма КС дозволяє збільшити місткість ковша до 9 %; зниження втрат ґрунту в бічні валики і призму волочіння збільшує обсяг ґрунту у ковші до 9 %; криволінійне днище дозволяє покращити силові та енергетичні показники процесу копання ґрунту на 10...15%; відношення роботи процесу заповнення КС до маси набраного ґрунту зменшується на 14 %, розвантаження ґрунту дозволяє на 15...20 % знизити навантаження на механізм привода і знизити енергоємність розвантаження ґрунту на 30...40 %; встановлено можливість отримання річного економічного ефекту при порівнянні з КС традиційного виконання у розмірі 281197 грн.

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Хмара Л. А. Аналіз способів заповнення та розвантаження ковшів скреперів / Л. А. Хмара, М. І. Дерев'янчук, М. А. Спільник // Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. – № 6-7. – Дніпропетровськ : ПДАБА, 2009. – С. 58–63.

2. Хмара Л. А. Нова конструкція напівпричіпного скрепера / Л. А. Хмара, М. І. Дерев'янчук, М. А. Спільник // Строительство. Материаловедение. Машиностроение. – Дніпропетровськ : ПГАСА, 2010. – Вып. 57, – С. 86–90.

3. Хмара Л. А. Патент України на корисну модель № 48872, МПК E02F 3/64, Ківш скрепера / Л. А. Хмара, М. І. Дерев'янчук, М. А. Спільник. - Бюл №7, 2010.

4. Спільник А.Я. Исследование конструкции задней стенки скрепера поляризационно - оптическим методом / А.Я. Спільник, М.А. Спільник, Г.Г. Шломчак // Строительство. Материаловедение. Машиностроение. – Дніпропетровськ : ПГАСА, 2011. – Вып. 63,– С. 135–141.



5. Хмара Л. А. Исследование процесса выгрузки грунта из ковша скрепера задней стенкой маятникового типа / Л.А. Хмара, М.А. Спильник // Строительство. Материаловедение. Машиностроение. – Дніпропетровськ : ПГАСА, 2012. – Вып. 66, – С. 61–67.

6. Хмара Л. А. Экспериментальные исследования процесса копания грунта скрепером с полукруглым днищем и задней стенкой маятникового типа / Л.А. Хмара, М. И. Деревьянчук, М.А. Спильник // Интерстроймех 2012: материалы Международной научно-практической конференции, 2-4 октября 2012 г., Россия, Ижевск: Изд-во ИжГТУ, 2012 – С. 161-166.

7. Хмара Л. А. Математична модель процесу розвантаження ґрунту з традиційного ковша скрепера / Л. А. Хмара, М. А. Спільник // Строительство. Материаловедение. Машиностроение. – Днепропетровск : ПГАСА, 2013. – Вып. 72, – С. 101–108.

8. Хмара Л. А. Повышение эффективности рабочего процесса ковша скрепера (копание и выгрузка грунта) / Л.А. Хмара, М.А. Спильник // Транспорт. Транспортные и технологические машины. – Омск : Вестник СибАДИ 2013 – Выпуск 5 (33), - С. 30-39.

9. Хмара Л. А. Експериментальні дослідження двохстадійного процесу заповнення ковша скрепера з напівкруглим днищем та задньою стінкою маятникового типу. / Л. А. Хмара, М. А. Спільник // «Проблеми розвитку дорожньо-транспортного і будівельного комплексів»: Збірник статей і тез між нар. наук. – прак. конф., 03-05 жовтня 2013 р. – Кіровоград, ПП «Ексклюзив Систем», 2013, – С. 141–144.

10. Хмара Л. А. Исследование рабочего процесса ковша скрепера (копание и выгрузка грунта). / Л.А. Хмара, М.А. Спильник // Науковий вісник будівництва. – Харків : ХНУБА, 2013. – Вып. 73, – С. 296–306.

11. Хмара Л. А. Математична модель процесу розвантаження ґрунту з ковша скрепера з напівкруглим днищем / Л. А. Хмара, С. В. Баєв, М. А. Спільник // Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. – № 1. – Дніпропетровськ : ПДАБА, 2014. – С. 8–13.

12. Хмара Л. А. Дослідження напружень в конструкції задньої стінки скрепера / Л. А. Хмара, М. А. Спільник // Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. – № 2. – Дніпропетровськ : ПДАБА, 2014. – С. 4–12.

13. Хмара Л. А. Порівняльний аналіз ефективності використання напівкруглого днища у ковшах скреперів / Л. А. Хмара, М. А. Спільник, А. Ю. Тимошпольский // Строительство. Материаловедение. Машиностроение. – Дніпропетровськ : ПГАСА, 2014. – Вып. 79, – С. 71–79.

#### АНОТАЦІЯ

**Спільник М. А. Підвищення ефективності скрепера оснащенням ковша напівкруглим днищем та задньою стінкою маятникового типу.** – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук зі спеціальності 05.05.04 – машини для земляних, дорожніх і лісотехнічних робіт –

Вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», Дніпропетровськ, 2015.

Дисертація присвячена вирішенню важливої наукової задачі, яка полягає у підвищенні ефективності скрепера оснащеного НПД та ЗС маятникового типу.

На основі виконаних у роботі досліджень встановлено, що найбільш перспективним способом інтенсифікації робочого обладнання скрепера є зміна форм елементів ковша для зменшення опору при заповненні та розвантаженні.

Наведено математичні залежності силових та енергетичних параметрів процесу копання та розвантаження традиційного КС та КС оснащеного НПД та ЗС.

У роботі проведені багатofакторні експерименти по дослідженню робочого процесу КС, дослідження напружень поляризаційно-оптичним методом у елементах КС, дослідження показників міцності із застосуванням програмного забезпечення CAD Solid Works Simulation, які підтвердили теоретичні припущення.

Розбіжність між теоретичними та експериментальними значеннями процесу копання не перевищує 10...15 %, процесу розвантаження 10...15 %.

Виконано оцінку техніко-економічної ефективності КС з НПД.

**Ключові слова:** скрепер, ківш, копання, розвантаження, зменшення зусилля, математична модель, експериментальні дослідження.

## АННОТАЦИЯ

**Спильник М. А. Повышение эффективности скрепера оснащением ковша полукруглым днищем и задней стенкой маятникового типа.** – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.05.04 – машины для земляных, дорожных и лесотехнических работ. – Высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», Днепропетровск, 2015.

Диссертация посвящена решению важной научной задачи, которая заключается в повышении эффективности скрепера оснащенного полукруглым днищем и задней стенкой в форме бульдозерного отвала.

На основе выполненных в работе исследований установлено, что наиболее перспективным способом интенсификации скрепера является изменение форм элементов ковша для уменьшения сопротивления при заполнении и разгрузке.

Получены математические модели, описывающие процесс заполнения и разгрузки ковша скрепера в зависимости от формы донной части и формы задней стенки. Приведены математические зависимости силовых и энергетических параметров процесса копания и разгрузки традиционного ковша скрепера и ковша скрепера оснащенного полукруглым днищем и задней стенкой в форме бульдозерного отвала.

Приведены математические модели, описывающие процесс заполнения КС в две стадии в зависимости от формы донной части и формы задней стенки. Получены математические зависимости силовых и энергетических параметров процесса копания КС в две стадии традиционного ковша скрепера и ковша скрепера оснащенного полукруглым днищем и задней стенкой в форме бульдозерного отвала.

В работе проведены многофакторные эксперименты по исследованию рабочего

процесса ковша скрепера, исследования напряжений в элементах ковша скрепера с помощью поляризационно-оптического метода, исследования показателей прочности с применением программного обеспечения CAD Solid Works Simulation, которые подтвердили теоретические предположения.

Многофакторные экспериментальные исследования позволили получить регрессионные зависимости определения  $P_{\text{коп}}$ ,  $P_{\text{роз}}$  при копании и разгрузке.

Анализ сформированных математических моделей позволил определить рациональные параметры при минимальной энергоёмкости рабочего процесса: радиус кривизны днища  $R_{1,2} = 0,4 \cdot L_{\text{дн нпд}}$ , м; радиус кривизны ЗС  $R_{2,2} = (0,8 \dots 0,9) H_{\text{зс}}$ , м; местоположение гидроцилиндра разгрузки в соотношении  $\frac{H_4}{H_{\text{зс}}} = 0,5$ .

Расхождение между теоретическими и экспериментальными значениями процесса копания не превышает 10...15%, процесса разгрузки 10...15%.

Выполнена оценка технико-экономической эффективности скрепера, ковш которого оснащённого полукруглым днищем и ЗС отвальной формы.

**Ключевые слова:** скрепер, ковш, копание, разгрузка, уменьшение усилия, математическая модель, экспериментальные исследования.

## SUMMARY

**Spilnik M.A. Efficiency equipment of scraper bucket with semicircular bottom and back wall pendulum type.- The manuscript.**

A thesis for scientific degree of candidate technical of specialty 05.05.04 - machines for earthworks, road and forest technical works – State Higher Educational Establishment «Prydniprov's'ka State Academy of Civil Engineering and Architecture», Dnipropetrovs'k, 2015.

The thesis deals with important scientific task, which is to increase the efficiency scraper equipped with a semi-circular bottom and back wall in the form of dozer blade.

Based on the work performed studies found that the most promising way to intensify the work equipment scraper is a change of the elements of the bucket to reduce resistance when filling and unloading.

Mathematical formulas power and energy parameters of digging and unloading traditional scraper scraper and equipped with a semi-circular bottom and back wall in the form dozer blade.

The work conducted multifactor experiments on research workflow scraper, research stresses in the elements scraper using polarization-optical method, research strength indicators using software CAD Solid Works Simulation, which confirmed the theoretical assumptions.

The discrepancy between theoretical and experimental values of the process of digging does not exceed 10...15%, 10...15% unloading process.

The estimation of technical and economic efficiency scraper, which is equipped with a bucket semicircular bottom and back wall moldboard form.

**Keywords:** scraper, bucket, digging, unloading, reduction efforts, mathematical model, experimental research.

Підп. до друку 04.09.2015 р. Формат 60x84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>.  
Папір письмов. Гарнітура Times. Друк RISO.  
Умовн. друк. арк. 0,9  
Тираж 100 пр. Зам. № 77

ЛКРТ ДВНЗ Придніпровської державної академії  
будівництва та архітектури  
49600, м. Дніпропетровськ, вул. Чернишевського, 24а