

УДК 621.878.6

## МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ ПРОЦЕСУ РОЗВАНТАЖЕННЯ ГРУНТУ З КОВША СКРЕПЕРА

ХМАРА Л. А.<sup>1</sup>, *д. т. н., проф.*,СПІЛЬНИК М. А.<sup>2\*</sup>, *асист.*

<sup>1</sup> Кафедра будівельних та дорожніх машин, Державний вищий навчальний заклад "Придніпровська державна академія будівництва та архітектури", вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпропетровськ, 49005, Україна, +38067-585-26-59, e-mail: leonidkhmara@yahoo.com, ORCID 0000-0003-3050-9302

<sup>2\*</sup> Кафедра будівельних та дорожніх машин, Державний вищий навчальний заклад "Придніпровська державна академія будівництва та архітектури", вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпропетровськ, 49005, Україна, +38093-718-15-38, e-mail: mikespl777@gmail.com, ORCID 0000-0001-6990-1382

**Постановка проблеми.** Сучасне машинобудування направлене на створення енергоефективних машин для виконання різних робіт. Основні напрямки розвитку це: зниження енергозатрат на розроблення ґрунту; збільшення продуктивності; підвищення довговічності та надійності; розширення технологічних можливостей тощо. Традиційні способи розрахунку сил, які діють під час розвантаження ковша скрепера, не дають можливості описати процес повністю, а лише дозволяють розрахувати максимальне зусилля, потрібне для розвантаження. Тому зусилля, які виникають у процесі розвантаження, невідомі. **Аналіз публікацій.** Аналізуючи конструкційні особливості вдосконалення ковша скрепера, слід відзначити тенденцію, спрямовану на підвищення ефективності заповнення ковша. При цьому не розглядається проблема розвантаження ґрунту з ковша скрепера, яка також вимагає додаткових енерговитрат. Підвищення ефективності процесу розвантаження може бути досягнуте за рахунок удосконалення форми елементів ковша, конструкції. **Мета статті.** Створення нового теоретичного способу розрахунку, який враховує кількість залишкового ґрунту у ковші протягом усього періоду розвантаження. **Завдання.** Розробити математичну модель процесу розвантаження ковша скрепера. Провести теоретичний аналіз процесу розвантаження ковша скрепера з метою аналітичного визначення діючого опору. Розробити алгоритм для розрахунку визначення опору розвантаження. **Висновки.** 1. Для розглянутого ковша скрепера розроблено математичні моделі процесу розвантаження, які враховують силу тертя ґрунту по днищу ковша; силу тертя ґрунту по бічних стінках ковша; силу опору коченню роликів підвісу задньої стінки; силу інерції поступального руху маси ґрунту і задньої стінки під час увімкнення механізму розвантаження ґрунту з ковша скрепера; довжину днища; висоту ковша; щільність набраного ґрунту; кут природного осипання ґрунту і дозволяють розраховувати залежність зміни маси ґрунту від положення задньої стінки відносно довжини днища скрепера, а також зусилля, необхідні для його розвантаження. 2. Теоретичний розрахунок дозволяє визначити: опір розвантаження для ковша скрепера з напівкруглим днищем; зміну маси ґрунту у ковші від положення задньої стінки відносно довжини днища скрепера для щільності ґрунту 1 600-1 800 кг/м<sup>3</sup>. 3. Розроблений алгоритм для розглянутого ковша скрепера дозволяє розрахувати силу опору розвантаження.

**Ключові слова:** скрепер, задні стінки ковша скрепера, розвантаження, дослідження, математична модель.

## МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ПРОЦЕССА РАЗГРУЗКИ ГРУНТА ИЗ КОВША СКРЕПЕРА

ХМАРА Л. А.<sup>1</sup>, *д. т. н., проф.*,СПИЛЬНИК М. А.<sup>2\*</sup>, *асс.*

<sup>1</sup> Кафедра строительных и дорожных машин, Государственное высшее учебное заведение "Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры", ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепропетровск, Украина, тел. +38 (0562) 46-98-29, e-mail: LEONIDKHMARA@yahoo.com, ORCID ID: 0000-0003-3050-9302

<sup>2\*</sup> Кафедра строительных и дорожных машин, Государственное высшее учебное заведение "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

**Аннотация. Постановка проблемы.** Современное машиностроение направлено на создание энергоэффективных машин для выполнения различных работ. Основными направлениями развития являются: снижение энергозатрат на разработку грунта; увеличение производительности; повышение долговечности и надежности; расширение технологических возможностей и др. Традиционные способы расчета сил,

действующих при разгрузке ковша скрепера, не дают возможности описать процесс полностью, а лишь позволяют рассчитать максимальное усилие, которое требуется при разгрузке. Поэтому усилия, которые возникают в процессе разгрузки, неизвестны. **Анализ публикаций.** Анализируя конструкционные особенности совершенствования ковша скрепера, следует отметить тенденцию, направленную на повышение эффективности заполнения ковша. При этом не рассматривается проблема по разгрузке грунта из ковша скрепера, которая также требует дополнительных энергозатрат. Повышение эффективности процесса разгрузки может быть достигнуто за счет совершенствования формы элементов ковша, конструкции. **Цель статьи.** Создание нового теоретического способа расчета, учитывающего количество остаточного грунта в ковше в течение всего периода разгрузки. **Задачи.** Разработать математическую модель процесса разгрузки ковша скрепера. Провести теоретический анализ процесса разгрузки ковша скрепера с целью аналитического определения действующего сопротивления. Разработать алгоритм для расчета определения сопротивления разгрузки. **Выводы.** 1. Для рассматриваемого ковша скрепера разработаны математические модели процесса разгрузки, которые учитывают силу трения грунта по днищу ковша; силу трения грунта по боковым стенкам ковша; силу сопротивления качению роликов подвеса задней стенки; силу инерции поступательного движения массы грунта и задней стенки при включении механизма разгрузки грунта из ковша скрепера; длину днища; высоту ковша; плотность набранного грунта; угол естественного осыпания грунта и позволяют рассчитывать зависимость изменения массы грунта от положения задней стенки относительно длины днища скрепера, а также усилия, которые необходимы для его разгрузки. 2. Теоретический расчет позволяет определять: сопротивление разгрузки для ковша скрепера с полукруглым днищем; изменение массы грунта в ковше от положения задней стенки относительно длины днища скрепера для плотности грунта 1 600-1 800 кг/м<sup>3</sup>. 3. Разработанный алгоритм для рассматриваемого ковша скрепера позволяет рассчитать силу сопротивления разгрузки.

**Ключевые слова:** скрепер, задние стенки ковша скрепера, разгрузка, исследования, математическая модель.

## MATHEMATICAL MODELS OF UNLOADING SOIL FROM SCRAPER BUCKET

<sup>1</sup>KHMARA L. A., *Dr. Sc. (Tech.), Prof*

<sup>2\*</sup>SPILNIK M. A., *Assist.*

<sup>1</sup> Department of Building and road machines, Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture, str. Chernyshevskogo, 24-a, Dnepropetrovsk, 49005, Ukraine, +38067-585-26-59, E-mail: leonidkharma@yahoo.com, ORCID0000-0003-3050-9302

<sup>2\*</sup> Department of Building and road machines, Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture, str. Chernyshevskogo, 24-a, Dnepropetrovsk, 49005, Ukraine, +38093-718-15-38, E-mail: mikespl777@gmail.com, ORCID0000-0001-6990-1382

**Sammury. Problem statement.** Modern engineering aimed at creation energy efficient machines to perform various operations. The main areas of development are: reduction of energy consumption for extraction of soil; increase productivity; increase durability and reliability; expanding technological capabilities and so on. Traditional methods of calculating the forces acting at unloading scraper bucket, make it impossible to fully describe the process, but only allows to calculate the maximum effort requiring in unloading. Therefore, the efforts occurring during process of unloading are unknown. **Analysis publications.** Analyzing the constructional features of improving of scraper bucket should be noted a tendency aimed at increasing the efficiency of filling the bucket. It is not the problem of unloading soil with a scraper bucket, requiring additional energy also. Increasing the efficiency of the process of unloading can be achieved by improving the shape elements bucket construction. **The purpose of the article.** To create a new theoretical method of calculation taking into consideration the amount of residual soil in buckets throughout the period of unloading. **Problems.** To develop a mathematical model of unloading scraper. To conduct a theoretical analysis of the process of scraper for the purpose of determining the current analytical support. Develop an algorithm for calculating the definition of resistance discharge. **Conclusions:** 1. For concerned scraper bucket the mathematical model of the process of unloading are developed, taking into consideration friction force of the soil in the bottoms of the bucket; friction force of soil on the side walls of the bucket; rolling resistance force of the rollers suspension trailing wall; inertia translational motion of the mass of the soil and the trailing wall in turning the unloading mechanism of soil scraper bucket; the length of the bottom; the height of the bucket; dialed density of the soil; angle of crumbling soil and allow us to calculate the mass dependence of the soil on the position relative to the length of the trailing wall of the bottom scraper and the efforts requiring for its unloading 2. Theoretical calculation allows to determine: the resistance of unloading of scraper bucket with a semicircular head; change in the mass of soil in buckets on the position relative to the length of the trailing wall of the bottom scraper for soil density 1600-1800 kg/m<sup>3</sup>; 3. Developed algorithm for studied scraper bucket allows you to calculate the resistance of the unloading.

**Key worlds:** *scraper, trailing wall of the scraper bucket, unloading, studies, mathematical model.*

**Постановка проблеми.** Сучасне машинобудування направлене на створення енергоефективних машин для виконання різних робіт. Основні напрямки розвитку - це: зниження енергозатрат на розроблення ґрунту; збільшення продуктивності; підвищення довговічності та надійності; розширення технологічних можливостей тощо.

Традиційні способи розрахунку сил, які діють під час розвантаження ковша скрепера, не дають можливості описати процес повністю, а лише дозволяють розрахувати максимальне зусилля, потрібне для розвантаження [2; 5]. Тому зусилля, які виникають у процесі розвантаження, невідомі.

**Аналіз публікацій.** Аналізуючи конструкційні особливості вдосконалення ковша скрепера, слід відзначити тенденцію, спрямовану на підвищення ефективності заповнення ковша. При цьому не розглядається проблема розвантаження ґрунту з ковша скрепера, яка також вимагає додаткових енерговитрат. Підвищення ефективності процесу розвантаження може бути досягнуте за рахунок удосконалення форми елементів ковша, конструкції.

**Мета статті.** Створення нового теоретичного способу розрахунку, який враховує кількість залишкового ґрунту у ковші протягом усього періоду розвантаження.

**Задачі.** Розробити математичні моделі процесу розвантаження ґрунту з ковша скрепера традиційного типу та обладнаного напівкруглим днищем. Провести теоретичний аналіз процесу розвантаження ковша скрепера з метою аналітичного визначення діючого опору. Розробити алгоритми для розрахунку визначення опору розвантаження.

**Виклад матеріалу.** Робочий процес скрепера включає в себе набирання ґрунту, транспортування його до місця відсіпання та розвантаження. Традиційні способи розрахунку сил дозволяють обчислити максимальне зусилля, потрібне для розвантаження. Проміжні зусилля, які виникають в процесі розвантаження, невідомі.

Одним із напрямів вирішення означеної проблеми є створення теоретичного розра-

хунку, який враховує кількість залишкового ґрунту у ковші протягом усього періоду розвантаження.

Для теоретичного розрахунку сил, які виникають під час розвантаження ковша, за основу був узятий скрепер Д-357 із примусовою системою розвантаження [4; 7; 8].

Сила, необхідна для виштовхування ґрунту з ковша скрепера (рис. 1), визначається за формулою (1):

$$F = F_{\delta} + F_{\sigma} + F_{\kappa} + P_j \quad (1)$$

де:  $F_{\delta}$  - сила тертя ґрунту по днищу ковша;

$F_{\sigma}$  - сила тертя ґрунту по бічних стінках ковша;

$F_{\kappa}$  - сила опору коченню роликів задньої стінки;

$P_j$  - сила інерції поступального руху маси ґрунту і задньої стінки під час увімкнення механізму вивантаження ґрунту з ковша скрепера.

Силу тертя ґрунту по днищу ковша визначають за формулою (2):

$$F_{\delta} = \mu_1 G_{gp} = \mu_1 \frac{q \gamma_{\Gamma} k_{\Pi}}{k_p} \quad (2)$$

де  $q$  - геометрична місткість ковша в  $m^3$ ;  $\mu_1$  - коефіцієнт тертя ґрунту по сталі;  $\gamma_{\Gamma}$  - об'ємна вага ґрунту в природному заляганні в  $kg/m^3$ .

За розрахункове положення приймається початок пересування задньої стінки при повному завантаженні ковша ґрунтом і відкритій передній заслінці.

Для розрахунку маси ґрунту, який залишився у ковші скрепера, потрібно зробити ряд допущень: після відкриття передньої заслінки у передній частині ковша ґрунт набирає форму природнього відкосу; частина ґрунту, що залишилася у ковші, у верхній частині заповнює ківш повністю без відкосів від середньої частини; задня стінка має форму відвала бульдозера.

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

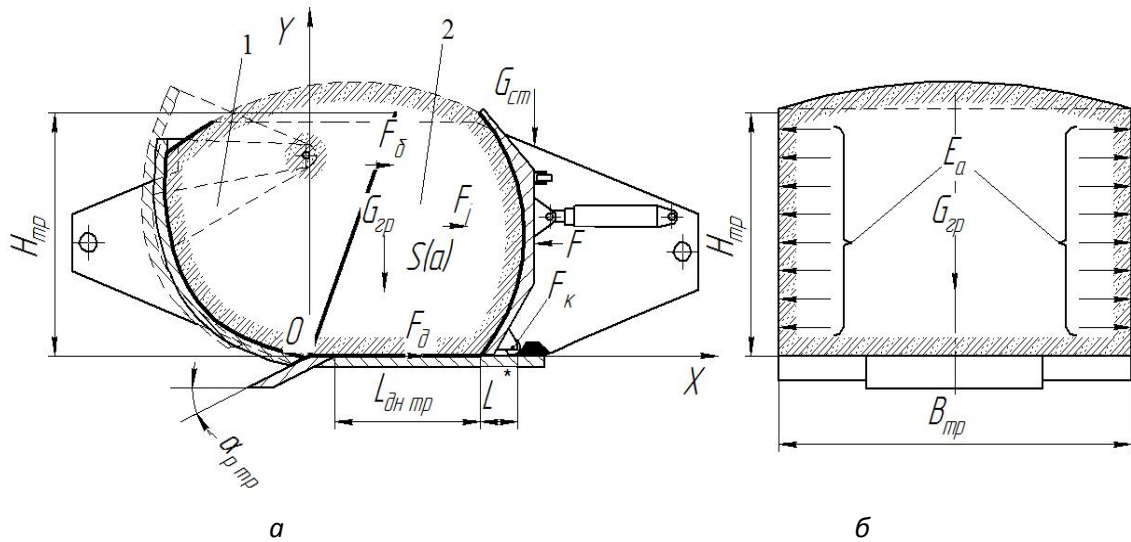


Рис. 1. Схема зусиль, які діють при розвантаженні ґрунту з ковша скрепера традиційного типу: 1 - ківш у заповненому стані; 2 - об'єм ґрунту у ковші при відкритій передній заслінці; а – вид збоку; б – вид спереду

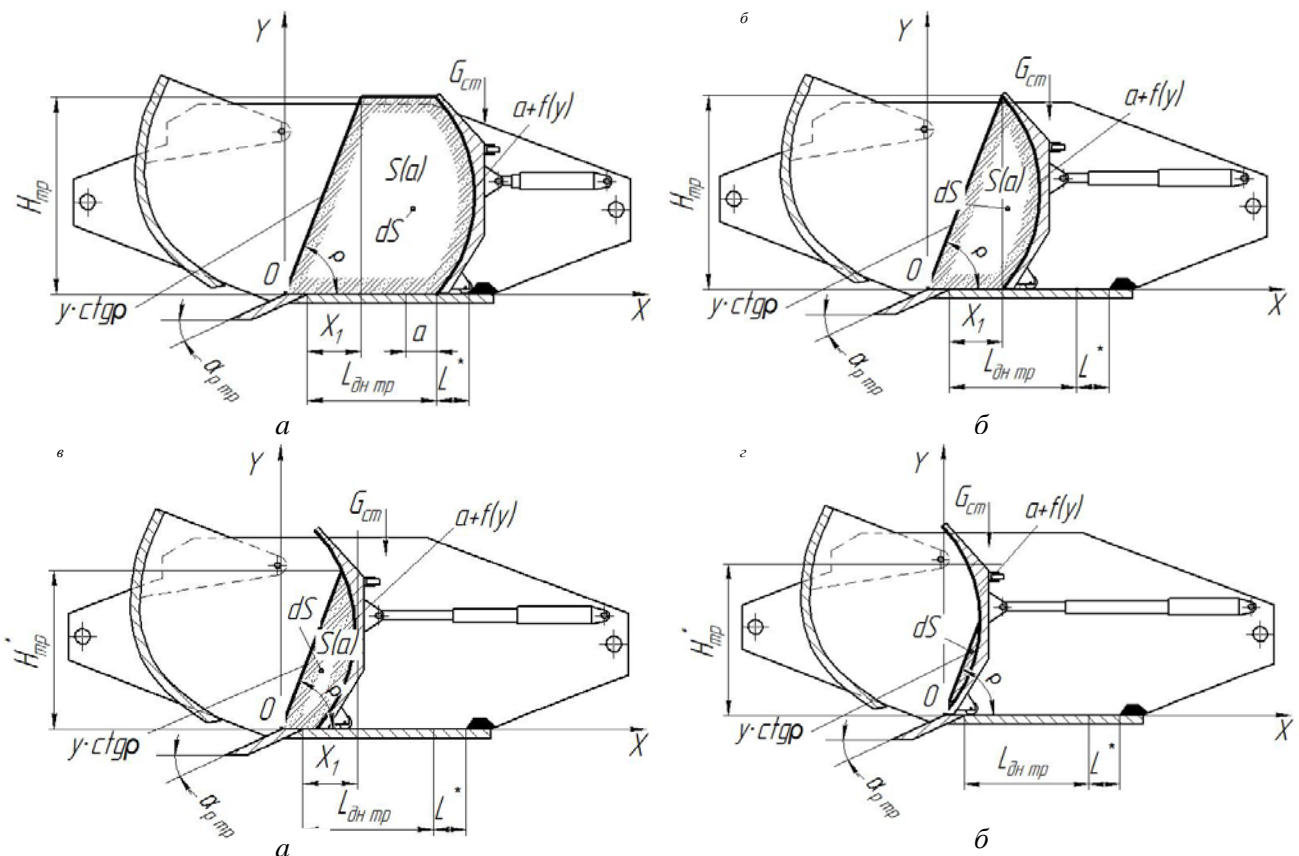


Рис. 2. Схема для розрахунку площі поперечного перерізу ковша скрепера традиційного типу, яку займає ґрунт: а – початок розвантаження; б – початок зменшення висоти рівня ґрунту у ковші; в – зменшення висоти рівня ґрунту у ковші; г – кінцева стадія розвантаження

Для підрахунку даної площі беремо подвійний інтеграл за формулою (3):

$$S(a) = \left\{ \begin{aligned} \iint_{\text{площа } S} (H_{\text{трп}}) dS &= \int_0^{H_{\text{трп}}} dy \int_{y \cdot \text{ctg}\rho}^{a+f(y)} y dx, \text{ якщо } a + f(H_{\text{трп}}) > H_{\text{трп}} \text{ ctg}\rho \\ \iint_{\text{площа } S} (H_{\text{трп}}^*) dS &= \int_0^{H_{\text{трп}}^*} dy \int_{y \cdot \text{ctg}\rho}^{a+f(y)} y dx, \text{ якщо } a + f(H_{\text{трп}}^*) \leq H_{\text{трп}}^* \text{ ctg}\rho \end{aligned} \right\}, \quad (3)$$

де:  $a$  – умовний крок руху задньої стінки.

Обчислювання виконувались за допомогою програми MathCad15.

Силу тертя ґрунту об бічні стінки ковша визначають за формулами (4) та (5):

$$F_{\bar{o}} = 2 \mu_1 E_a, \quad (4)$$

$$E_a = 0,5, \quad (5)$$

де:  $E_a$  - активний тиск ґрунту на бічну стінку ковша.

Силу опору коченню роликів задньої стінки по днищу ковша визначають за формулою (6):

$$F_k = f G_{cm}, \quad (6)$$

де:  $G_{cm}$  - вага задньої стінки (вага задньої стінки скрепера Д-357 = 590 кг);

$f$  - коефіцієнт опору коченню роликів,  $f = 0,10 \sim 0,15$ .

Силу інерції ґрунту і задньої стінки визначаємо за формулою (7):

$$P_j = \left( \frac{q\gamma_r k_E}{k_p} + G_{cm} \right) \frac{v_c}{9,81t}, \quad (7)$$

де  $v_c$  - швидкість руху задньої стінки (0,2 м/с);  $t$  - час розгону (2 с).

Після підстановки складових величин остаточно отримаємо математичну модель процесу розвантаження визначаємо за формулою (8):

$$F = \mu_1 \frac{q\gamma_r k_E}{k_p} + 2 \mu_1 E_a + f G_{cm} + \left( \frac{q\gamma_r k_E}{k_p} + G_{cm} \right) \frac{v_c}{9,81t}, \quad (8)$$

Для розрахунків процесу розвантаження застосовували програму Microsoft Excel.

Алгоритм розрахунку зусилля розвантаження ґрунту з ковша скрепера традиційного типу наведено на рисунку 3.

Сила, необхідна для розвантаження ґрунту з ковша скрепера, обладнаного напівкруглим днищем, визначається аналогічно до традиційного розрахунку, окрім сили опору руху задньої стінки та сили інерції ґрунту (рис. 4).

Силу опору руху задньої стінки визначаємо за формулою (9) [1; 3; 6]:

$$F_{cm} = \frac{M}{h}, \quad (9)$$

де:  $M$  - модуль моменту задньої стінки;  
 $h$  – плече сили  $F_{ct}$ .

Силу інерції ґрунту визначаємо за формулою (10):

$$F_j = \frac{q\gamma_r k_E}{k_p} \frac{v_c}{9,81t^2}, \quad (10).$$

Після підстановки складових величин остаточно отримаємо математичну модель для визначення зусилля розвантаження ковша з напівкруглим днищем (11):

$$F = \mu_1 \frac{q\gamma_r k_E}{k_p} + 2 \mu_1 E_a + M/h + \frac{q\gamma_r k_E}{k_p} \frac{v_c}{9,81t^2}, \quad (11).$$

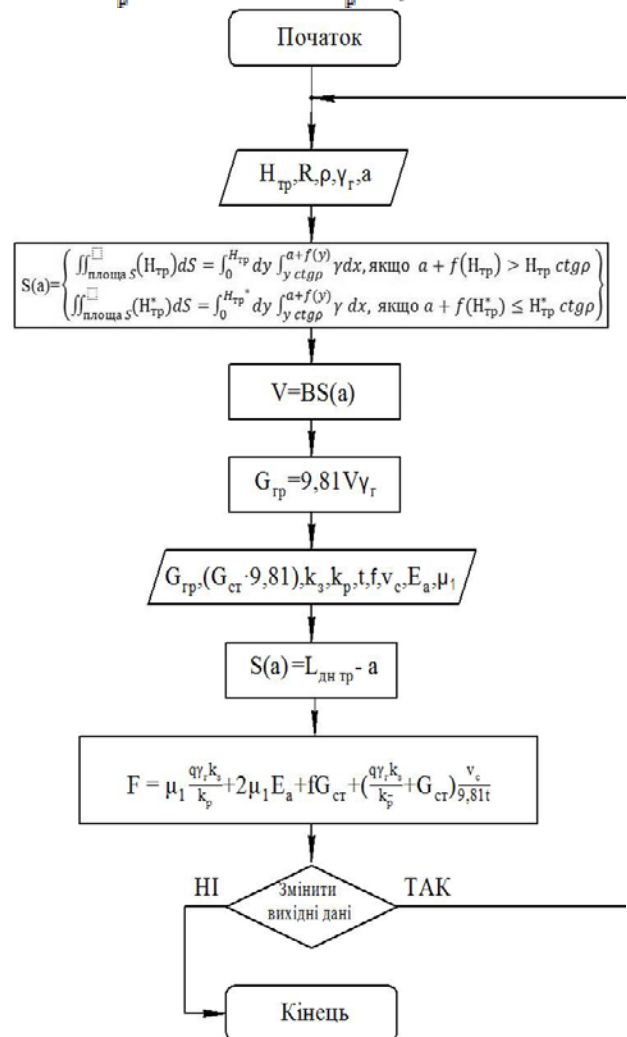


Рис. 3. Алгоритм розрахунку зусилля розвантаження ґрунту з ковша скрепера традиційного типу

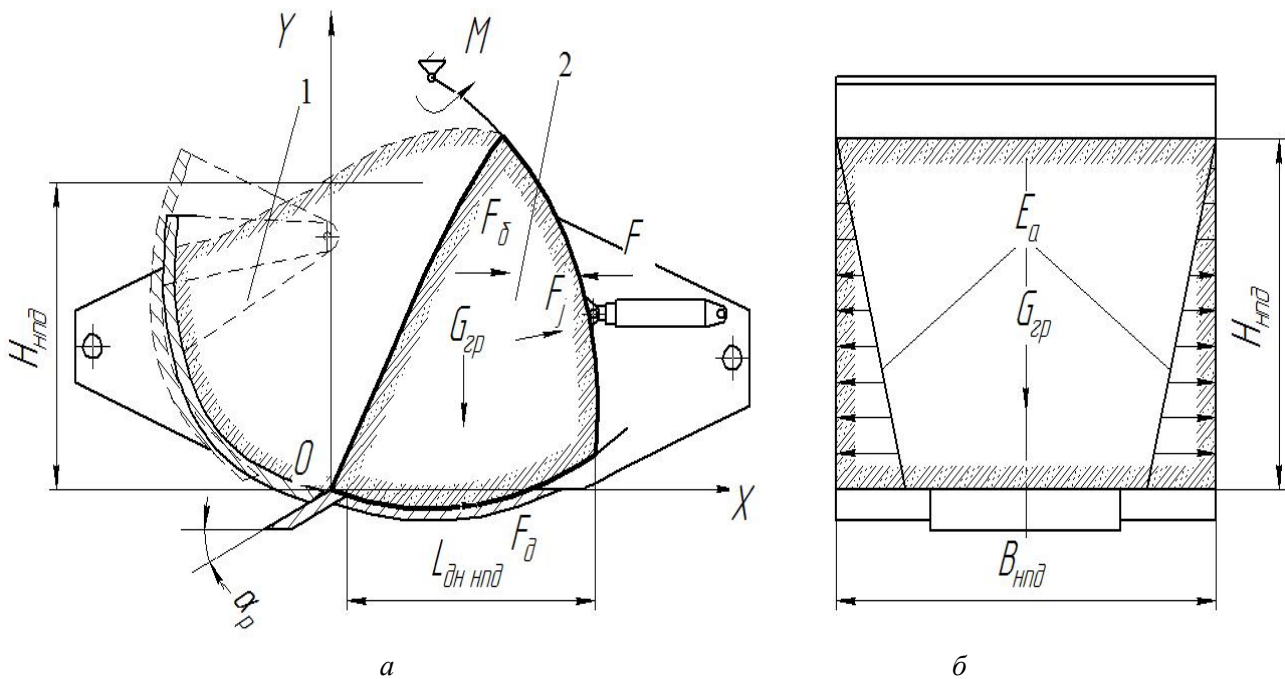


Рис. 4. Схема зусиль, які діють під час розвантаженні ґрунту з ковша скрепера, обладнаного напівкруглим днищем а – вид збоку; б – вид спереду; 1 – ківш у заповненому стані; 2 – об’єм ґрунту у ковші з відкритою передньою заслінкою

Поперечний переріз ковша скрепера дає можливість визначити площу  $S(ad)$ , яку займає ґрунт у ковші (рис. 5).

Для розрахунку потрібні початкові дані:

$H_{нпд}$  – висота ковша скрепера;

$h$  – відстань від осі підвісу задньої стінки до рівня ґрунту у ковші;

$R$  – радіус донної частини ковша скрепера;

$r$  – радіус, який описує точка  $E$ , розташована на середині задньої стінки;  $\rho$  – щільність ґрунту;

$\gamma_{гр}$  – кут природного відкосу ґрунту;

$\alpha_a, \alpha_c$  – кути, які задаються залежно від параметрів ковша скрепера та вказують на початкове та крайнє положення задньої стінки;

$Q$  – початковий об’єм ґрунту;

$S'(ad)$  – об’єм розвантаженого ґрунту;

$A$  – точка крайнього положення задньої стінки;

$B, B_1$  – точки, які визначають рівень ґрунту у ковші скрепера;

$C$  – точка початкового положення задньої стінки;

$D$  – деяке положення задньої стінки, при якому змінюється рівень ґрунту у ковші (збільшується значення  $h$ );

$S_1$  – площа верхнього сектора;

$S_2$  – площа нижнього сектора.

Підрахунки даної площі виконувались за допомогою програми MathCad15.

У результаті розрахунків отримано залежності зміни маси ґрунту у ковші скрепера у процесі його розвантаження (рис. 6, а).

Дані залежності дозволяють визначити кількість ґрунту в ковші скрепера у разі зміни положення задньої стінки.

Залежність зміни зусилля розвантаження від положення задньої стінки відносно довжини днища ковша скрепера дано на рисунку 6, б.

Алгоритм розрахунку зусилля розвантаження ґрунту з ковша скрепера, обладнаного напівкруглим днищем, наведено на рисунку 7.

На відміну від традиційного розрахунку, теоретичні значення зусиль, які виникають у період розвантаження, можна розрахувати для проміжного положення задньої стінки відносно днища ковша скрепера.

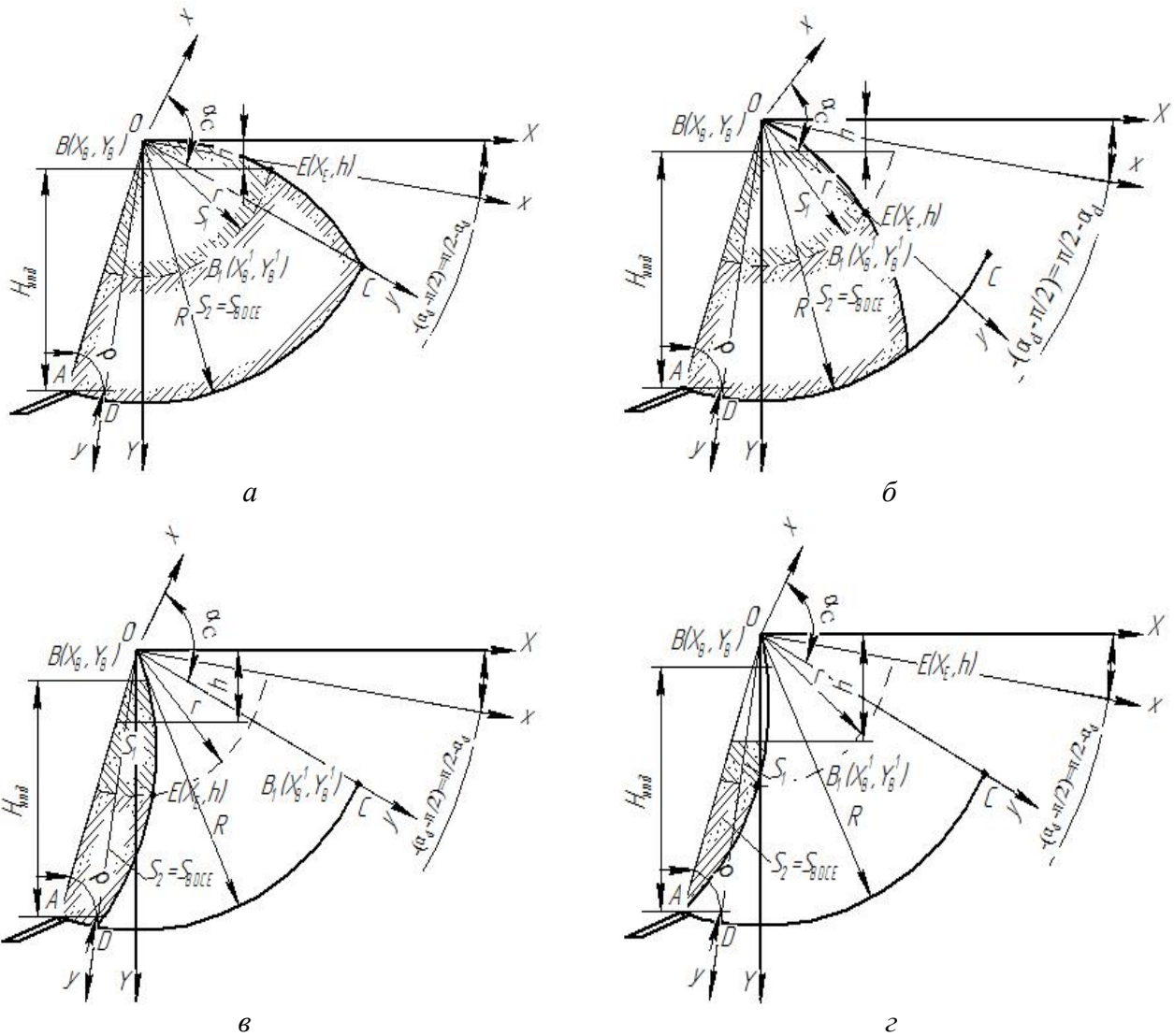


Рис. 5. Схема для розрахунку площі поперечного перерізу ковша скрепера традиційного типу, яку займає ґрунт: а – початок розвантаження; б – початок зменшення висоти рівня ґрунту у ковші; в – зменшення висоти рівня ґрунту у ковші; г – кінцева стадія розвантаження

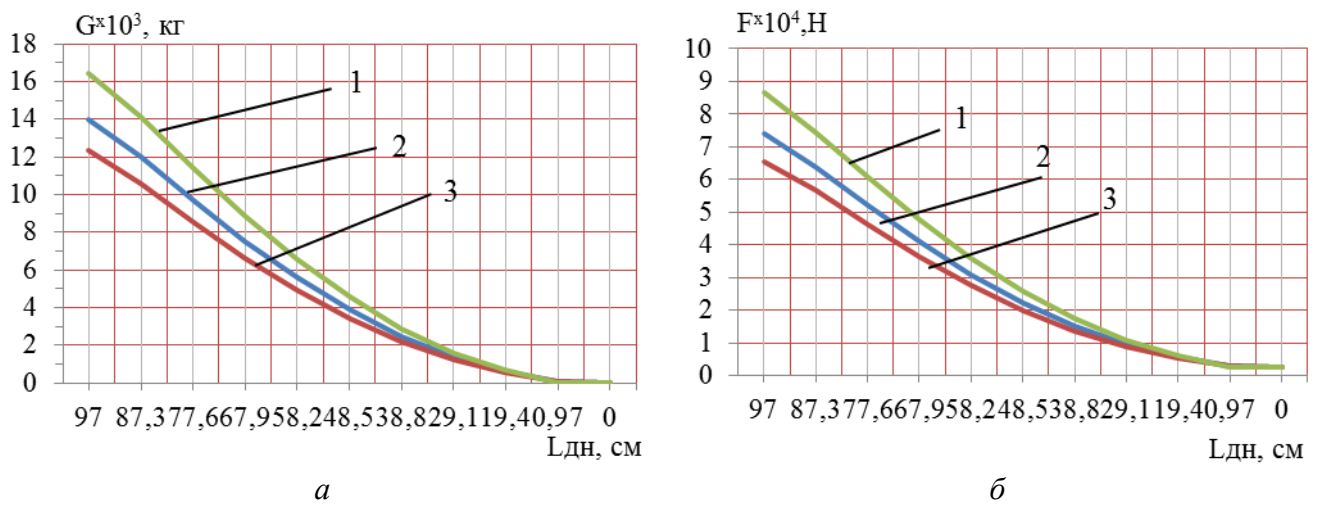


Рис. 6. Залежності зміни маси ґрунту та зусилля розвантаження від положення задньої стінки відносно довжини днища  $L_{\text{дн}}$  скрепера Д-357 ( $q = 8 \text{ м}^3$ ): а - залежність зміни маси ґрунту  $G$  від положення задньої стінки відносно довжини днища  $L_{\text{дн}}$ ; б - залежність зміни зусилля розвантаження  $F$  від положення задньої стінки відносно довжини днища  $L_{\text{дн}}$ : 1 – ґрунт щільністю  $1800 \text{ кг/м}^3$ ; 2 – ґрунт щільністю  $1700 \text{ кг/м}^3$ ; 3 – ґрунт щільністю  $1600 \text{ кг/м}^3$

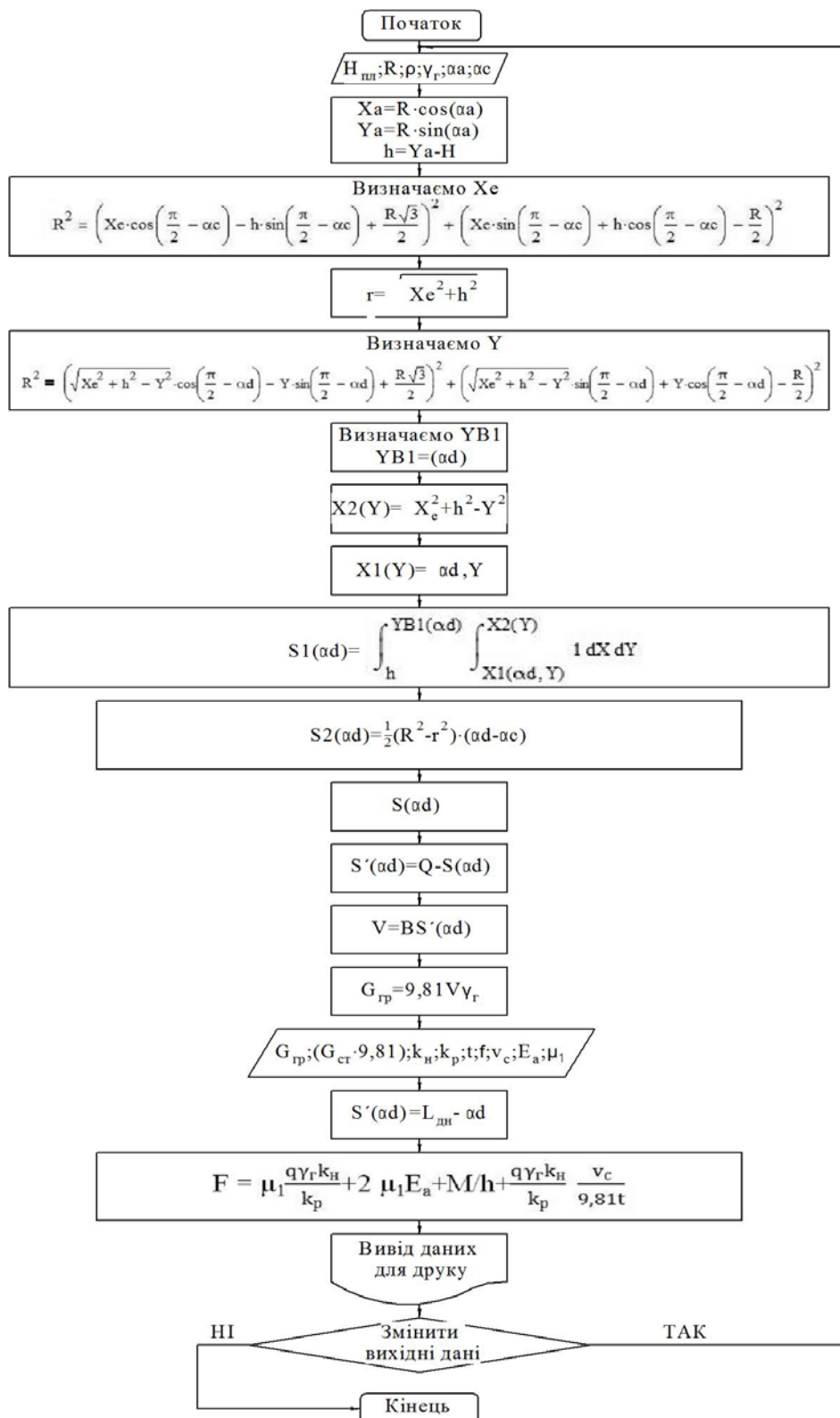


Рис. 7. Алгоритм розрахунку зусилля розвантаження ґрунту з ковша скрепера з напівкруглим днищем

**Висновки:** 1. Для розглянутих ковшів скреперів розроблено математичні моделі процесу розвантаження, які враховують: силу тертя ґрунту по днищу ковша; силу тертя ґрунту по бічних стінках ковша; силу опору коченню роликів підвісу задньої стін-

ки; силу інерції поступального руху маси ґрунту і задньої стінки під час увімкнення механізму розвантаження ґрунту з ковша скрепера; довжину днища; висоту ковша; щільність набраного ґрунту; кут природного осипання ґрунту і дозволяють розраховува-



ти залежність зміни маси ґрунту від положення задньої стінки відносно довжини днища скрепера, а також зусилля, необхідні для його розвантаження.

2. Теоретичний розрахунок дозволяє визначати: опір розвантаження для ковша скрепера з напівкруглим днищем; зміну ма-

си ґрунту у ковші від положення задньої стінки відносно довжини днища скрепера для щільності ґрунту 1 600-1 800 кг/м<sup>3</sup>.

3. Розроблений алгоритм для розглянутого ковша скрепера дозволяє розрахувати силу опору розвантаження.

### ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Бондаренко Л. М. Деформаційні опори в машинах / Л. М. Бондаренко, М. П. Довбня, В. С. Ловейкин ; за ред. В. С. Ловейкина. – Дніпропетровськ : Дніпро-VAL, 2002. – 200 с.
2. Дорожные машины / Т. В. Алексеева, К. А. Артемьев, А. А. Бромберг [и др.]. – Изд. 3-е, перераб. и доп. – Москва : Машиностроение, 1972. – Ч. 1 : Машины для земляных работ. – 504 с.
3. Кудрявцев Е. М. Детали машин : [учеб. для студентов машиностроител. вузов] / Е. М. Кудрявцев. – Ленинград : Машиностроение, 1980. – 464 с., ил.
4. Лещинский А. В. Исследование принудительного способа разгрузки ковшей скреперов : дис. ... канд. техн. наук : 05.05.04 / А. В. Лещинский. – Омск : СибАДИ, 1972. – 143с.
5. Самоходные пневмоколесные скреперы и землевозы / [Д. И. Плешков, С. Ф. Маршак, Э. Г. Ронинсон и др.]. – Москва : Машиностроение, 1971. – 267 с.: ил.
6. Тарг С. М. Краткий курс теоретической механики : [учеб. для вузов] / С. М. Тарг. – 11-е изд., испр. – Москва : Высш. шк., 1995. – 416 с.: ил.
7. Хмара Л. А. Конструктивные резервы повышения эффективности скреперов / Л. А. Хмара, С. А. Карпушин // Интенсификация рабочих процессов строительных машин : сб. науч. тр. Приднепр. гос. акад. стр-ва и архитектуры / отв. ред Хмара Л. А. – Днепропетровск, 1998. – Вып. 4 : Машины для земляных работ. – С. 51-57.
8. Хмара Л. А. Процесс выгрузки грунта из ковша скрепера / Л. А. Хмара, М. А. Спильник // Инновации в науке - инновации в образовании : материалы по итогам Международной научно-технической конференции “Интерстроймех-2013”, Новочеркасск, 1-3 октября 2013 г. / Юж.-рос. гос. политехн. ун-т им. М.И. Платова. – Новочеркасск: , 2013. – С. 204-206.

### REFERENCES

1. Bondarenko L. M. *Deformatsiyni opori v mashinah* [Deformation support in machines]. Dnepropetrovsk, Dnipro – VAL. 2002. 200p. (in Russian).
2. *Dorozhnye mashiny* [Road machines]. Moscow, Mashinostroenie, chast' I, Mashiny dlya zemlyanykh rabot. 1972. 504p. (in Russian).
3. Kudryavtsev E. M. *Detali mashin. Uchebnik dly astudentov mashinostroitelnykh vuzov* [Details of machines. Manual for students of machine – building establishment]. Leningrad. Mashinostroenie, 1980. 464 p. (in Russian).
4. Leschinskiy A. V. *Issledovanie prinuditelnogo sposoba razgruzki kovshey skreperov: dis. kand. tehn. nauk: 05.05.04* [Research of forced method of unloading of scraper bucket. Dis., Doc.]. Omsk, SibADI, 1972. 143p. (in Russian).
5. Pleshkov D. I., Marshak S. F. *Samohodnye pnevmokolesnye skrepery i zemlevozy* [Pneumatic propelled scrapers and land cart]. Moscow, Mashinostroenie, 1971. 267p. (in Russian).
6. Targ S. M. *Kratkiy kurs tereticheskoy mehaniki . Uchebnik dlya vuzov* [Brief course of theoretical mechanics. Manyal for HEE]. Moscow, Vysshaya shkola, 1995. 416 p. (in Russian).
7. Khmara L. A., Spilnik M. A. *Protseks vygruzki grunta iz kovsha skrepera* [The process of unloading of soil from scraper bucket]. *Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-tehnicheskoy konferentsii – Proceedings of the International Scientific and Technical Conference*. Novocherkassk, Interstroyemeh, 2013, pp. 204–206. (in Russian).
8. Khmara L. A. *Konstruktivnye rezervy povysheniya effektivnosti skreperov* [Constructive reserves of increase of efficiency of scrapers]. *Intensifikatsiya rabochikh protsessov stroitelnykh mashin, sb. nauch. trudov – Intensification workflow construction machinery, collection of scientific papers*. Dnepropetrovsk, PGASA, 1998, no. 4, pp. 51-57. (in Russian).

Стаття рекомендована до друку 27.04.2015 р. Рецензент: д. т. н., проф. В. Г. Заренбін.

Надійшла до редколегії: 29.04.2015 р. Прийнята до друку: 12.05. 2015 р.