

## МАШИНЫ ДЛЯ ЗЕМЛЯНЫХ РАБОТ

УДК 621.878.6

### ВИЗНАЧЕННЯ ЗУСИЛЛЯ РОЗВАНТАЖЕННЯ ҐРУНТУ З КОВША СКРЕПЕРА З НАПІВКРУГЛИМ ДНИЩЕМ

Л.А. Хмара, проф., д.т.н., С.В. Баєв, проф., д.ф.-м.н., М.А. Спільник, асист.,  
Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія  
будівництва та архітектури», м. Дніпропетровськ

*Анотація.* Розглядається теоретичний аналіз процесу розвантаження ковша скрепера з напівкруглим днищем із примусовим розвантаженням. Теоретичний аналіз дозволяє розраховувати залежність зміни маси ґрунту від положення задньої стінки відносно довжини днища скрепера, а також зусилля, необхідні для його розвантаження.

*Ключові слова:* скрепер, теоретичний аналіз, розвантаження, маса ґрунту, зусилля.

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСИЛИЯ РАЗГРУЗКИ ГРУНТА ИЗ КОВША СКРЕПЕРА С ПОЛУКРУГЛЫМ ДНИЩЕМ

Л.А. Хмара, проф., д.т.н., С.В. Баев, проф., д.ф.-м.н., М.А. Спильник, асист.,  
Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная  
академия строительства и архитектуры», г. Днепропетровск

*Аннотация.* Рассматривается теоретический анализ процесса разгрузки ковша скрепера с полукруглым днищем с принудительной разгрузкой. Теоретический анализ позволяет рассчитывать зависимость изменения массы ґрунта от положения задней стенки относительно длины днища скрепера, а также усилия, необходимые для его разгрузки.

*Ключевые слова:* скрепер, теоретический анализ, разгрузка, маса ґрунта, усилия.

### DETERMINATION OF EFFORTS TO UNLOAD SOIL FROM A SCRAPER BUCKET WITH A SEMICIRCULAR BOTTOM

L. Khmara, Prof., Dr. of Eng. Sc., S. Baev, Prof., Dr. of Ph. and Math. Sc.,  
M. Spilnik, assistant,  
Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture, Dnipropetrovsk

*Abstract.* This article discusses the theoretical analysis of the process of unloading a scraper with a semicircular bottom with forced unloading. The theoretical analysis allows calculating dependence of the soil mass change on the position of the back wall relative to the scraper bottom length and the efforts that are required for unloading.

*Key words:* scraper, theoretical analysis, unloading, soil mass, efforts.

#### Вступ

Сучасне машинобудування спрямоване на створення енергоефективних машин для виконання різних робіт. Основними напрямками

розвитку є: зниження енергозатрат на розробку ґрунту; збільшення продуктивності; підвищення довговічності та надійності; розширення технологічних можливостей та ін.

### Аналіз публікацій

Аналізуючи конструкційні особливості вдосконалення ковша скрепера, слід відзначити тенденцію, спрямовану на підвищення ефективності заповнення ковша [1–6]. При цьому не розглядається проблема з розвантаження ґрунту з ковша скрепера, що також вимагає додаткових енерговитрат. Підвищення ефективності процесу вивантаження можливе за рахунок вдосконалення форми елементів ковша.

Традиційні способи розрахунку сил, які діють при розвантаженні ковша скрепера, не дають можливості описати процес повністю, а лише дозволяють розрахувати максимальне зусилля, потрібне при розвантаженні [1, 2]. Тому зусилля, які виникають у процесі розвантаження, не відомі.

### Мета і постановка задачі

Вирішення проблеми можливе при створенні нового теоретичного способу розрахунку, який враховуватиме кількість залишкового ґрунту у ковші протягом усього періоду розвантаження.

Задачами дослідження є: розробка математичної моделі процесу розвантаження ковша скрепера. Проведення теоретичного аналізу процесу розвантаження ковша скрепера з метою аналітичного визначення діючого опору. Розробка алгоритму для розрахунку визначення опору розвантаження.

### Дослідження конструктивних рішень розвантаження ґрунту з ковша скрепера

Для теоретичного розрахунку сил, які виникають при розвантаженні ковша, за основу було взято скрепер Д-357 із примусовою системою розвантаження [3–5].

За основу для розрахунку процесу розвантаження беремо формули, отримані Артем'євим К.О. [2].

Сила, необхідна для розвантаження ґрунту з ковша скрепера, обладнаного напівкруглим днищем, визначається за формулою

$$F = F_d + F_6 + F_{ct} + F_j, \quad (1)$$

де  $F_d$  – сила тертя ґрунту по днищу ковша;  $F_6$  – сила тертя ґрунту по бічних стінках ковша;  $F_{ct}$  – сила опору руху задньої стінки;  $F_j$  – сила інерції поступального руху маси ґрунту при ввімкненні механізму розвантаження ґрунту з ковша скрепера.

Схему зусиль, які діють при розвантаженні ґрунту з ковша скрепера, обладнаного напівкруглим днищем, наведено на рис. 1.

Сила тертя ґрунту по днищу ковша визначається за формулою

$$F_d = \mu_1 G_{гр} = \mu_1 \frac{q \cdot \gamma_{г}}{k_0} k_H, \quad (2)$$

де  $\mu_1$  – коефіцієнт тертя ґрунту по сталі;  $q$  – геометрична місткість ковша в  $\text{м}^3$ ;  $\gamma_{г}$  – об'ємна маса ґрунту у природному заляганні в  $\text{кг}/\text{м}^3$ .

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

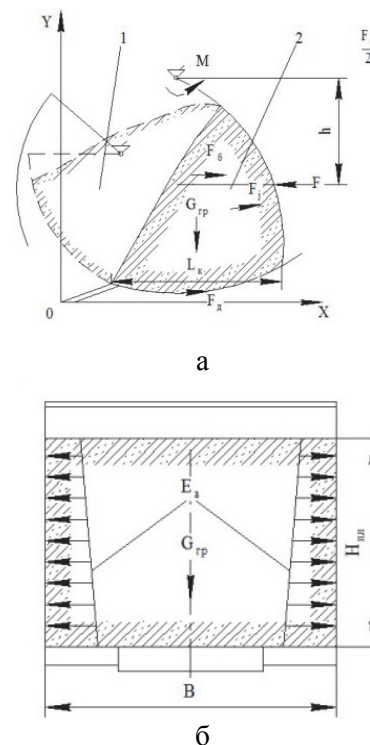


Рис. 1. Схема зусиль, які діють при розвантаженні ґрунту з ковша скрепера, обладнаного напівкруглим днищем: а – вид збоку; б – вид спереду; 1 – ківш у заповненому стані; 2 – об'єм ґрунту у ковші при відкритій передній заслінці

Для розрахунку маси ґрунту, яка залишилася у ковші скрепера, потрібно зробити ряд допущень: після відкриття передньої заслінки у передній частині ковша ґрунт набуває форми природнього відкосу; частина ґрунту, яка залишилася у ковші, у верхній частині заповнює ківш повністю без відкосів від середньої частини.

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

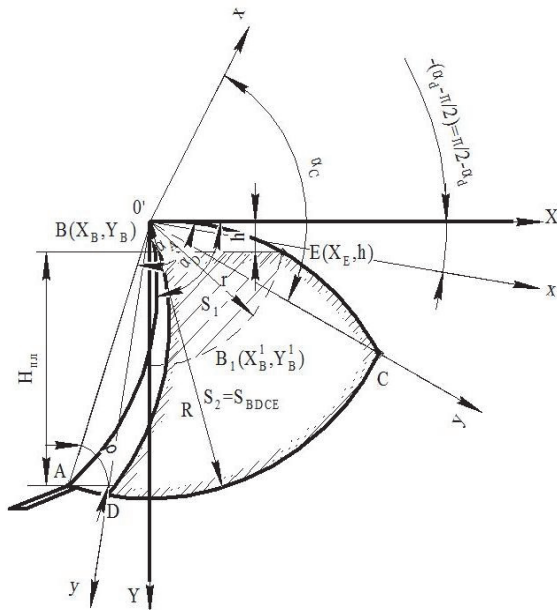


Рис. 2. Схема для розрахунку площі поперечного перерізу ковша скрепера, яку займає ґрунт у ковші скрепера

Для розрахунку потрібні початкові дані:  $H_{пл}$  – висота ковша скрепера;  $h$  – відстань від осі підвісу задньої стінки до рівня ґрунту в ковші;  $R$  – радіус донної частини ковша скрепера;  $r$  – радіус, який описує точка  $E$ , розташована на середині задньої стінки;  $\rho$  – щільність ґрунту;  $\gamma_{гр}$  – кут природнього 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 вивантаженого ґрунту;  $A$  – точка крайнього положення задньої стінки;  $B, B_1$  – точки, які визначають рівень ґрунту в ковші скрепера;  $C$  – точка початкового положення задньої стінки;  $D$  – деяке положення задньої стінки, при якому змінюється рівень ґрунту в ковші (збільшується значення  $h$ );  $S_1$  – площа верхнього сектора;  $S_2$  – площа нижнього сектора. Підрахунки даної площі виконувались за допомогою програми MathCad15.

Оскільки отримані значення дають результат лише за площею поперечного перерізу ковша, яку займає ґрунт, вираховуємо масу ґрунту:  $G_{гр} = V\gamma_{гр}$  – маса ґрунту,  $V = BS(ad)$  – об'єм ґрунту, де  $B$  – ширина ковша скрепера;  $S(ad)$  – площа поперечного перерізу ковша, яку займає ґрунт.

Сила тертя ґрунту о бічні стінки ковша визначається за формулою

$$F_6 = 2 \mu_1 E_a, \quad (3)$$

де  $E_a$  – активний тиск ґрунту на бічну стінку ковша.

$$E_a = \gamma_{гр} \frac{H^2}{2} L_k t g^2 \left( 45^\circ - \frac{\Phi_2}{2} \right), \quad (4)$$

де  $L_k$  – довжина днища ковша;  $H$  – висота наповнення ковша ґрунтом.

Сила опору руху задньої стінки [6, 7, 8]

$$F_{ст} = \frac{M}{h}, \quad (5)$$

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

Сила інерції ґрунту визначається за формулою

$$F_j = \frac{q \cdot \gamma_{гр} \cdot k_n \cdot v_c}{k_p \cdot 9,81t}, \quad (6)$$

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

Після підстановки складових величин остаточно отримуємо математичну модель для визначення зусилля розвантаження

$$F = \mu_1 + 2 \mu_1 E_a + \frac{M}{h} + \frac{q \gamma_{гр} k_n v_c}{k_p \cdot 9,81t}, \quad (7)$$

Для розрахунку процесу розвантаження застосовувалася програма Microsoft Excel.

Алгоритм розрахунку зусилля розвантаження ґрунту з ковша скрепера з напівкруглим днищем представлено на рис. 3.

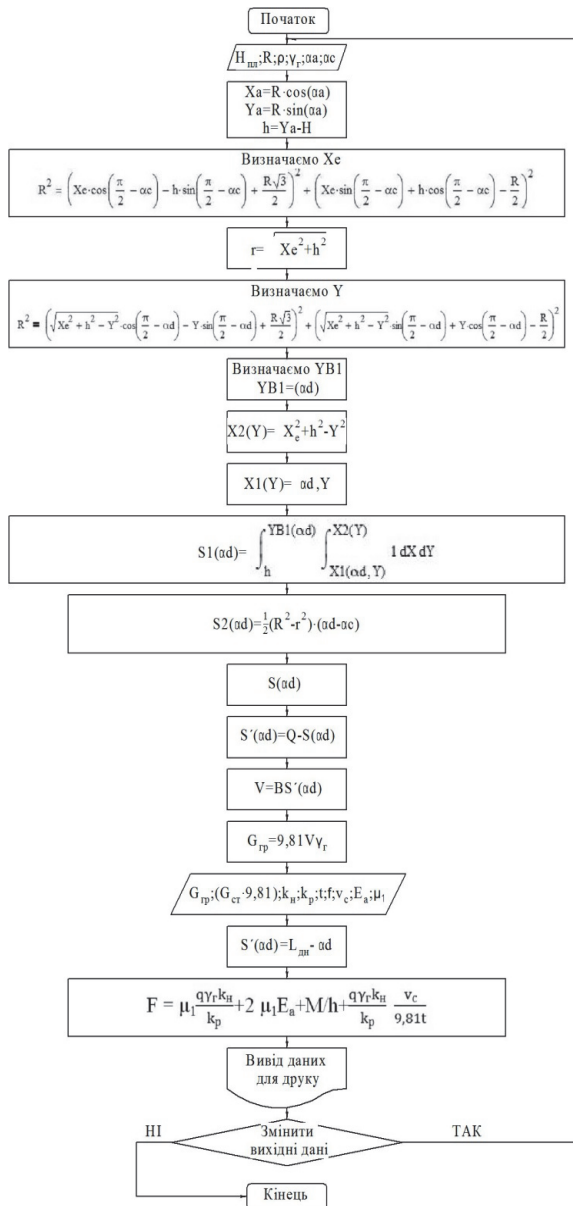


Рис. 3. Алгоритм розрахунку зусилля розвантаження ґрунту з ковша скрепера, обладнаного напівкруглим днищем

У результаті розрахунків отримано залежності зміни маси ґрунту в ковші скрепера у процесі його розвантаження (рис. 4). Дані залежності дозволяють визначити кількість ґрунту в ковші скрепера за будь-якого положення задньої стінки.

Залежність зміни зусилля розвантаження від положення задньої стінки відносно довжини днища скрепера отримано на рис. 5.

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

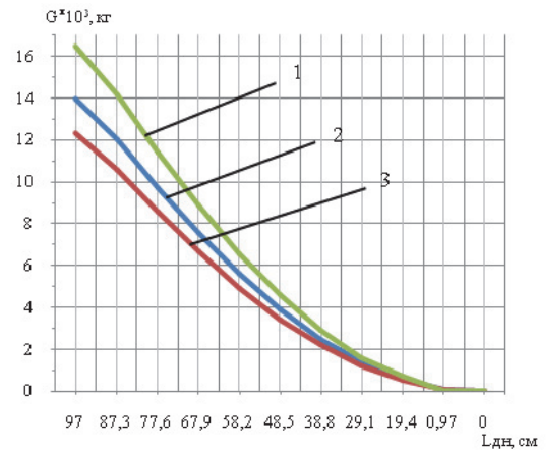


Рис. 4. Залежність зміни маси ґрунту  $G$  від положення задньої стінки відносно довжини днища  $L_{\text{дн}}$  скрепера Д-357 ( $q = 8 \text{ м}^3$ ): 1 – ґрунт щільністю  $2000 \text{ кг/м}^3$ ; 2 – ґрунт щільністю  $1700 \text{ кг/м}^3$ ; 3 – ґрунт щільністю  $1500 \text{ кг/м}^3$

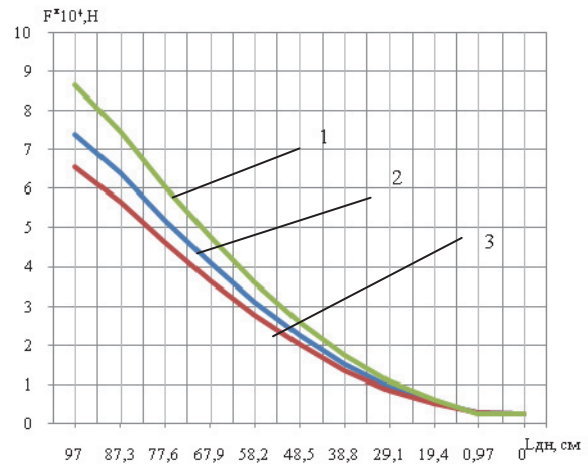


Рис. 5. Залежність зміни зусилля розвантаження  $F$  від положення задньої стінки відносно довжини днища  $L_{\text{дн}}$  скрепера Д-357 ( $q = 8 \text{ м}^3$ ): 1 – ґрунт щільністю  $2000 \text{ кг/м}^3$ ; 2 – ґрунт щільністю  $1700 \text{ кг/м}^3$ ; 3 – ґрунт щільністю  $1500 \text{ кг/м}^3$

### Висновки

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 при ввімкненні механізму розвантаження ґрунту з ковша скрепера; довжину днища; висоту ковша; щільність набраного ґрунту; кут при-

родного осипання ґрунту і дозволяють розраховувати залежність зміни маси ґрунту від положення задньої стінки відносно довжини днища скрепера, а також зусилля, необхідні для його розвантаження.

Теоретичний розрахунок дозволяє визначити: опір розвантаження для ковша скрепера з напівкруглим днищем; зміну маси ґрунту в ковші від положення задньої стінки відносно довжини днища скрепера для щільності ґрунту 1500–2000 кг/м<sup>3</sup>.

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

### Література

1. Самоходные пневмоколесные скреперы и землевозы / Д.И. Плешков, С.Ф. Маршак, Э.Г. Ронинсон и др. – М.: Машиностроение, 1971. – 268 с.
2. Дорожные машины. Ч. I. Машины для земляных работ / Т.В. Алексеева, К.А. Артемьев, А.А. Бромберг и др. – 3-е изд. перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1972. – 504 с.
3. Хмара Л.А. Конструктивные резервы повышения эффективности скреперов / Л.А. Хмара, С.А. Карпушин // Интенсификация рабочих процессов строительных машин: сб. науч. тр. – 1998. – Вып. 4. – С. 51–57.
4. Лещинский А.В. Исследование принудительного способа разгрузки ковшей скреперов: дис. ... канд. техн. наук. 05.05.04 / А.В. Лещинский. – Омск, 1972. – 144 с.
5. Хмара Л.А. Процесс выгрузки ґрунта из ковша скрепера / Л.А. Хмара, М.А. Спильник // Интерстроймех – 2013: сборник материалов Международной научно-технической конференции: – Новочеркасск. – С. 204–206.
6. Бондаренко Л.М. Деформационные опоры в машинах / Л.М. Бондаренко, М.П. Довбня, В.С. Ловейкин; за ред. В.С. Ловейкина. – Днепропетровск: РВА «Дніпро – VAL», 2002. – 200 с.
7. Тарг С.М. Краткий курс теретической механики: учеб. для вузов. / С.М. Тарг. – 11-е изд., испр. – М.: Высшая школа, 1995. – 416 с.
8. Кудрявцев Е.М. Детали машин: учебник для студентов машиностроительных вузов / Е.М. Кудрявцев. – Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1980. – 464 с.

Рецензент: Є. С. Венцель, професор, д.т.н., ХНАДУ.

Стаття надійшла до редакції 17 червня 2014 р.