

Л. А. ХМАРА, докт. техн. наук, М. А. СПЛІВНИК, аспірант  
ДВНЗ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури»

## МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ РОЗВАНТАЖЕННЯ ҐРУНТА З ТРАДИЦІЙНОГО КОВША СКРЕПЕРА.

**Вступ.** Сучасне будівництво неможливо уявити без застосування техніки. Скрепер, як сучасна машина, застосовується у всіх областях будівництва. Актуальність удосконалення робочого обладнання скреперів обумовлено їх широкими технологічними можливостями при веденні земляних робіт.

**Постановка проблеми.** Робочий процес скрепера включає в себе набір ґрунта, транспортування його до місця відсипки та розвантаження. Традиційні способи розрахунку сил, що діють при розвантаженні ковша не дають можливості описати процес повністю, а лише дозволяють розрахувати максимальне зусилля, що потрібне при розвантаженні [1, 2]. Тому зусилля, які виникають в процесі розвантаження невідомі.

**Послідовність вирішення проблеми.** Одним із напрямів вирішення означеної проблеми є створення нового теоретичного способу розрахунку, що враховує кількість залишкового ґрунту у ковші протягом усього періоду розвантаження.

**Задачі.** Розробити математичні моделі процесу розвантаження ковша скрепера. Провести теоретичний аналіз процесу розвантаження ковша скрепера з метою аналітичного визначення діючого опору.

**Суть роботи.** За способом розвантаження розрізняють скрепери з вільним розвантаженням вперед або назад, з примусовим або напівпримусовим розвантаженням і з щільовим розвантаженням (з розвантаженням вниз).

Вільне розвантаження застосовується в машинах малої місткості.

Недоліком вільного розвантаження є неповна очистка ковша при роботі у в'язких і вологих ґрунтах .

Примусове, напівпримусове і щільове розвантаження застосовуються головним чином в машинах середньої і великої місткості.

При примусовому розвантаженні забезпечується найкраще очищення ковша.

Недоліком напівпримусового розвантаження є незадовільна очистка ковша при роботі на липких і перезволожених ґрунтах.

При щільовому розвантаженні ( скрепер Д -374 ) днище, повертаючись, виводиться з-під ґрунту і в кінцевому положенні і нахилиється до горизонту під кутом 72-75°, внаслідок чого відбувається краще очищення ковша [2].

Для теоретичного розрахунку сил, що виникають при розвантаженні ковша за основу був взятий скрепер Д-357 з примусовою системою розвантаження (рис.1) [3, 4, 5].

За основу для розрахунку процесу розвантаження приймаємо формули, що отримали Артем'єв К.О., Алексєєва Т.В. [2].

Сила, необхідна для виштовхування ґрунту з ковша скрепера (рис.2), визначається за формулою:

$$F = F_d + F_b + F_k + P_j,$$

де  $F_d$  - сила тертя ґрунту по днищу ковша;  $F_b$  - сила тертя ґрунту по бічних стінках ковша;  $F_k$  - сила опору коченню роликів задньої стінки;  $P_j$  - сила інерції поступального руху маси ґрунту і задньої стінки при ввімкненні механізму вивантаження ґрунту з ковша скрепера.

Сила тертя ґрунту по днищу ковша

$$F_d = \mu_1 G_{гр} = \mu_1 \frac{q \gamma_r k_n}{k_p},$$

де  $q$  – геометрична місткість ковша в  $m^3$ ;  $\mu_1$  – коефіцієнт тертя ґрунту по сталі;  $\gamma_r$  – 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, що залишилася у ковші скрепера потрібно зробити ряд допущень: - після відкриття передньої заслінки, у передній частині ковша ґрунт приймає 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). Для підрахунку даної площі беремо подвійний інтеграл:

$$S(a) = \left\{ \begin{array}{l} \iint_{\text{площа } S} (H_{тр}) dS = \int_0^{H_{тр}} dy \int_{y \text{ ctg} \rho}^{a+f(y)} \gamma dx, \text{ якщо } a + f(H_{тр}) > H_{тр} \text{ ctg} \rho \\ \iint_{\text{площа } S} (H_{тр}^*) dS = \int_0^{H_{тр}^*} dy \int_{y \text{ ctg} \rho}^{a+f(y)} \gamma dx, \text{ якщо } a + f(H_{тр}^*) \leq H_{тр}^* \text{ ctg} \rho \end{array} \right\},$$

де  $a$  – умовний крок руху задньої стінки;

Обчислювання виконувались за допомогою програми MathCad15. Оскільки отримані значення дають результат лише по площі, що займає ґрунт у ковші – вираховуємо масу ґрунту:

$$V = BS(a) - \text{об'єм ґрунту,}$$

де  $B$  – ширина ковша скрепера.

$$G_{гр} = V\gamma_{г} - \text{маса ґрунту.}$$

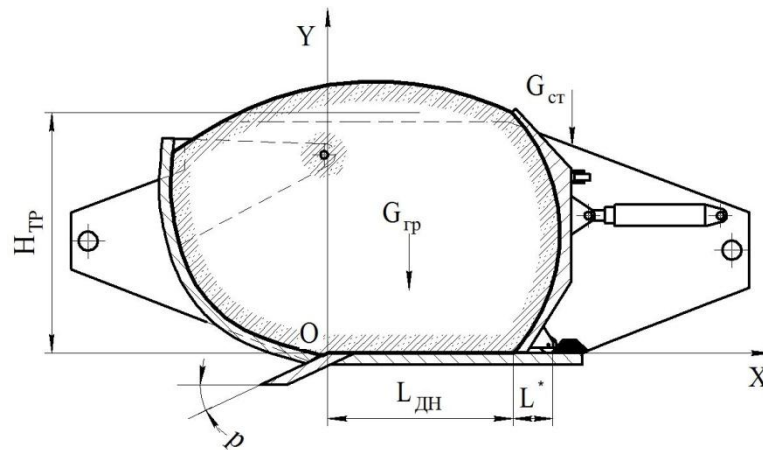
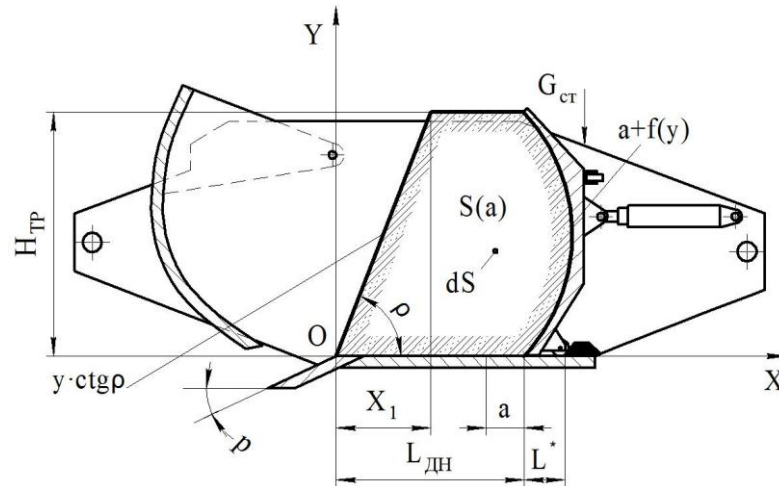
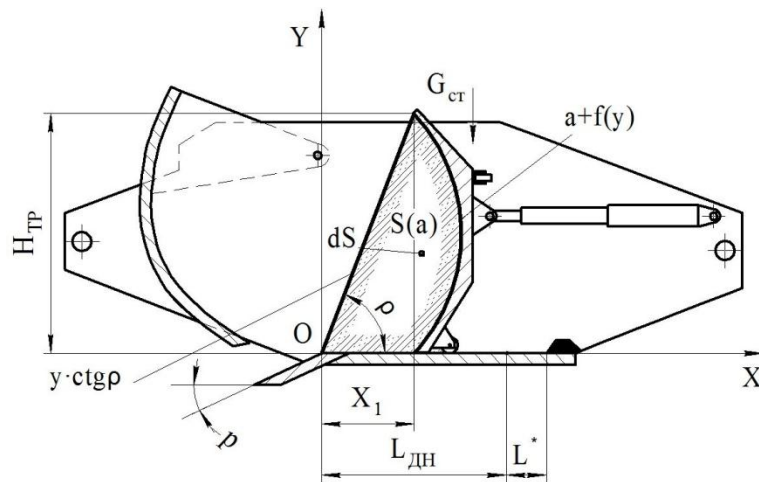


Рис. 1. Ківш скрепера транспортне положення.



а



б

Рис. 2. Продовження рис.2 на сторінці 104.

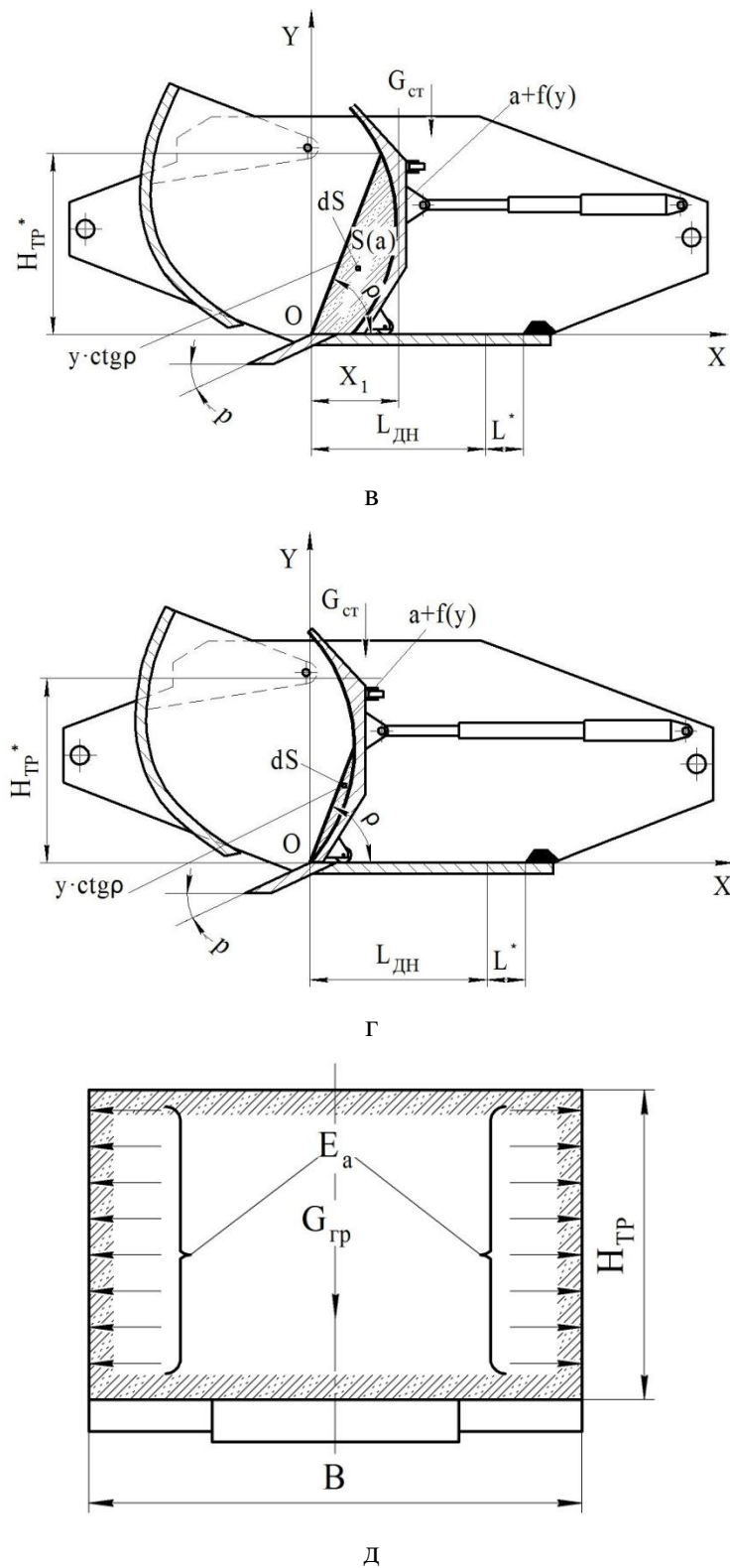


Рис. 2. Схема зусиль, що діють при розвантаженні ґрунту з ковша скрепера традиційного типу: а – початок розвантаження; б – початок зменшення висоти рівня ґрунту у ковші; в – зменшення висоти рівня ґрунту у ковші; г – кінцева стадія розвантаження; д – поперечний переріз ковша скрепера.

Сила тертя ґрунту о бічні стінки ковша

$$F_6 = 2 \mu_1 E_a,$$

де  $E_a = 0,5$  – активний тиск ґрунту на бічну стінку ковша;

Сила опору коченню роликів задньої стінки по днищу ковша

$$F_k = fG_{ст},$$

де  $G_{ст}$  – вага задньої стінки (вага задньої стінки скрепера Д-357 = 590 кг);  $f$  – коефіцієнт опору коченню роликів,  $f = 0,10 \sim 0,15$ .

Сила інерції ґрунту і задньої стінки:

$$P_j = \left( \frac{q\gamma_r k_H}{k_p} + G_{ст} \right) \frac{v_c}{9,81t},$$

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

Після підстановки складових величин остаточно отримуємо математичну модель процесу розвантаження:

$$F = \mu_1 \frac{q\gamma_r k_H}{k_p} + 2 \mu_1 E_a + fG_{ст} + \left( \frac{q\gamma_r k_H}{k_p} + G_{ст} \right) \frac{v_c}{9,81t}.$$

Для розрахунків процесу розвантаження застосовувалася програма Microsoft Excel.

Алгоритм розрахунку зусилля розвантаження ґрунта з ковша скрепера представлено на рис. 3

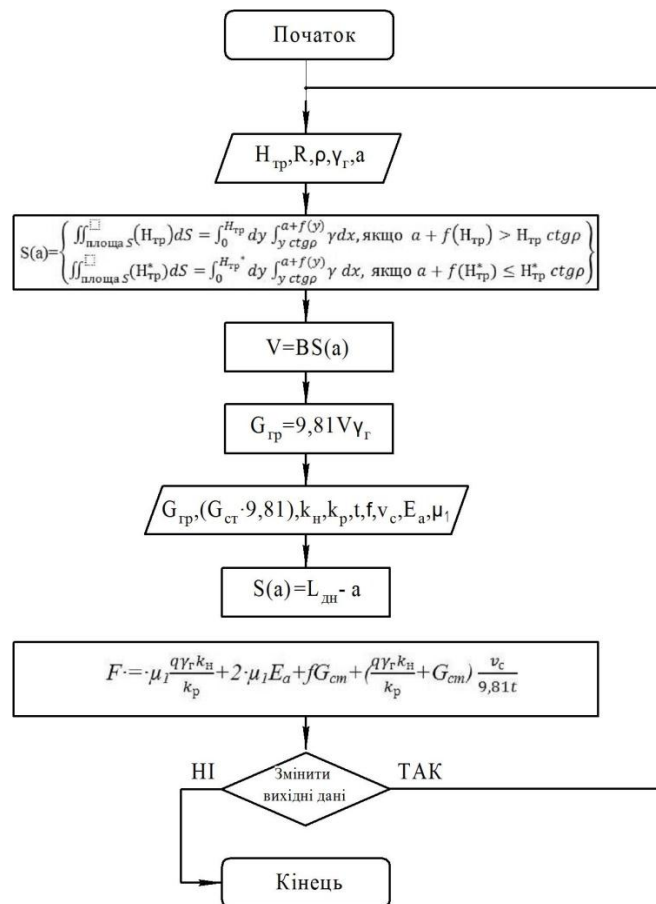
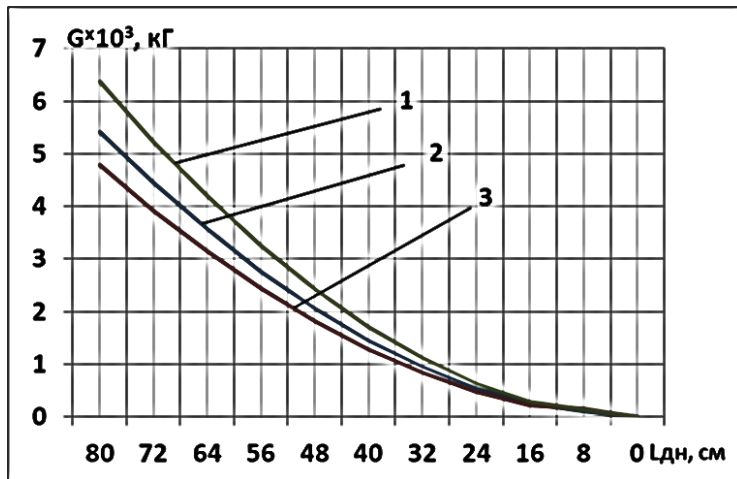
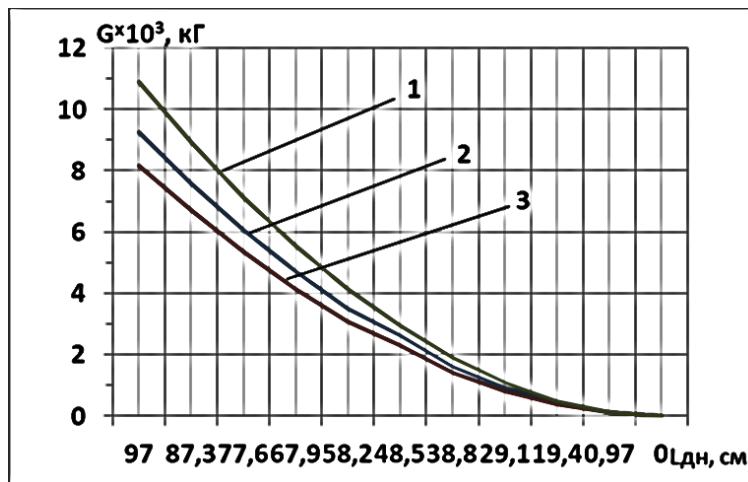


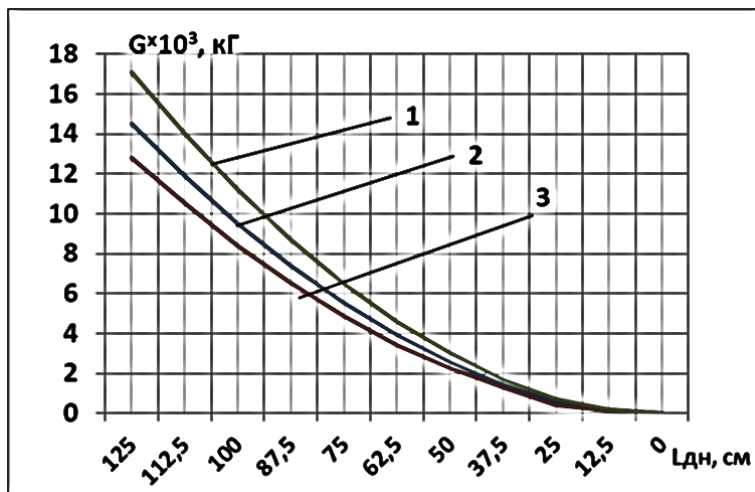
Рис. 3. Алгоритм розрахунку зусилля розвантаження ґрунта з ковша скрепера.



а

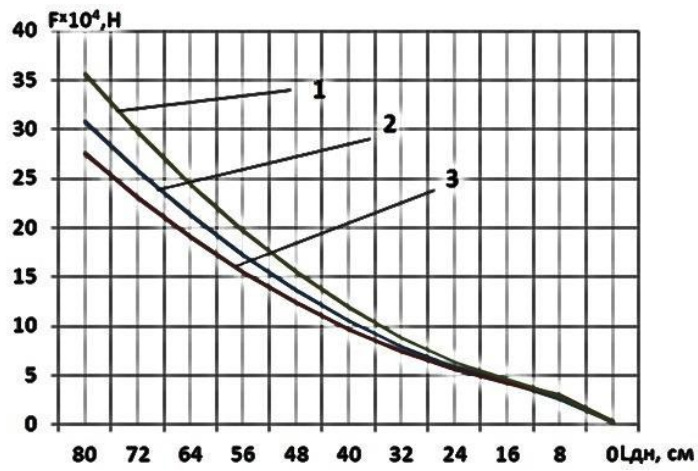


б

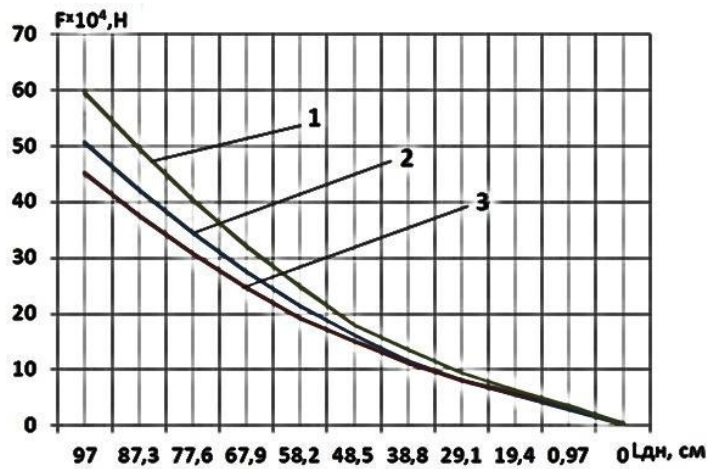


в

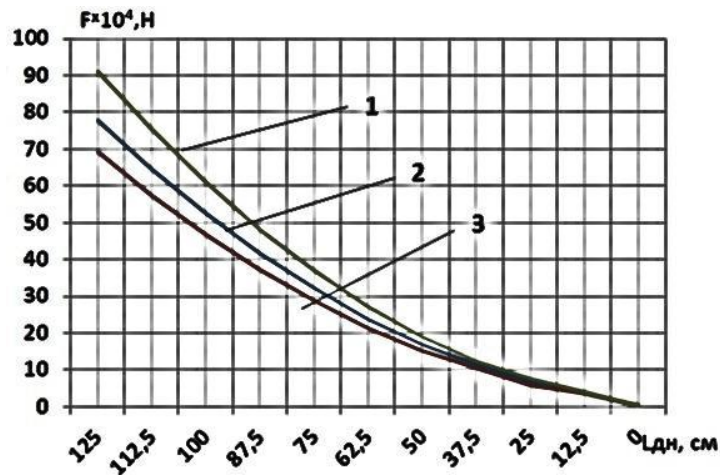
Рис. 4. Залежність зміни маси ґрунту від положення задньої стінки відносно довжини днища скрепера: а – скрепер ДЗ-87-1( $q=4 \text{ м}^3$ ); б – скрепер Д-357( $q=8 \text{ м}^3$ ); в – скрепер Д-523( $q=12 \text{ м}^3$ ); 1 – ґрунт щільністю  $1500 \text{ кг/м}^3$ ; 2 – ґрунт щільністю  $1700 \text{ кг/м}^3$ ; 3 – ґрунт щільністю  $2000 \text{ кг/м}^3$ .



а



б



в

Рис. 5. Залежність зміни зусилля розвантаження від положення задньої стінки 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  $1500 \text{ кг/м}^3$ ; 2 – ґрунт щільністю  $1700 \text{ кг/м}^3$ ; 3 – ґрунт щільністю  $2000 \text{ кг/м}^3$ .

В результаті розрахунків отримані залежності зміни маси ґрунту у ковші скрепера в процесі його розвантаження (рис. 4). Дані залежності дозволяють визначити кількість ґрунту у ковші скрепера при будь-якому положенні задньої стінки.

Залежність зміни зусилля вивантаження від положення задньої стінки відносно довжини днища скрепера отримано на рисунку 5. На відміну від традиційного розрахунку, теоретичні значення зусилля, які виникають в період розвантаження, можна розрахувати для проміжного положення задньої стінки відносно днища ковша скрепера. У відповідності до вимог ВНДІСтройдормаша зусилля висуву задньої стінки повинно бути не більше 1,5 – 2 т на 1 м<sup>3</sup> ґрунту.

**Висновки.** 1 Для розглянутих ковшів скреперів розроблені математичні моделі процесу розвантаження ковша скрепера, які враховують довжину днища, висоту ковша, щільність набраного ґрунту, кут природнього осипання ґрунту і дозволяють розраховувати залежність зміни маси ґрунту від положення задньої стінки відносно довжини днища скрепера, а також зусилля, які необхідні для його розвантаження.

2. Теоретичний розрахунок дозволяє визначати опір розвантаження для будь-якого ковша скрепера традиційного виконання з примусовою системою розвантаження.

#### ЛІТЕРАТУРА.

1. Плешков Д.И. Самоходные пневмоколесные скреперы и землевозы / Д.И. Плешков, С.Ф. Маршак, Э.Г. Ронинсон, В.Г. Соловьев, Б.И. Харкун // – М.: Машиностроение, 1971. – 267 с.

2. Алексеева Т.В., Артемьев К.А., Бромберг А.А. и др. Дорожные машины. Часть I. Машины для земляных работ. Изд. 3-е перераб. и доп. М., «Машиностроение», 1972, 504 с.

3. Хмара Л.А. Конструктивные резервы повышения эффективности скреперов / Л.А. Хмара, С.А. Карпушин // Сборник научных трудов/Ответственный редактор д.т.н., проф Л.А. Хмара Интенсификация рабочих процессов строительных машин.. 1998. - Выпуск 4. - С. 51-57.

4. Лещинский А.В. Исследование принудительного способа разгрузки ковшей скреперов: Дис. . канд. техн. наук. Омск, 1972.- 143с.

5. Процесс выгрузки ґрунта из ковша скрепера/ Л.А. Хмара, М.А. Спильник // Сборник материалов Международной научно-технической конференции «Интерстроймех – 2013» С. 204-206.