

12. Хмара Л.А. Эффективные методы повышения прочности металлоконструкций строительных и дорожных машин заполнителя / Л.А. Хмара, В.А.Талалай, В.А. Гринюк // Строительство. Материаловедение. Машиностроение: Сб. науч. тр. Вып. 57 – Днепропетровск: ПГАСА, 2010.– С. 248–258.

13. Хмара Л.А. Машини для земляних робіт: Навч. посіб. / Л.А. Хмара, С.В. Кравец, В.В. Ничке та ін./ - Під заг. ред. Л.А. Хмари та С.В. Кравця. – Рівне – Дніпропетровськ – Харків. – 2010. – 557 с.

УДК 621.878.6

Л. А. ХМАРА, докт. техн. наук, М. А. СПІЛЬНИК, аспірант

ДВНЗ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури»

**ТЕОРЕТИЧНИЙ АНАЛІЗ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСА ЗАПОВНЕННЯ
КОВШІВ СКРЕПЕРА ТРАДИЦІЙНОГО ТИПУ ТА З НАПІВКРУГЛИМ
ДНИЩЕМ І ЗАДНЬОЮ СТІНКОЮ МАЯТНИКОВОГО ТИПУ**

Вступ. На характер заповнення ковша ґрунтом впливають властивості і стан ґрунту, товщина стружки, форма і установка ножа і параметри, що визначають геометричну форму ковша, а саме: ширина ковша, співвідношення між шириною різання і шириною ковша, висота, довжина і поздовжній профіль ковша [1].

Постановка проблеми. Збільшення кількості ґрунта, що завантажується в ківш скрепера за рахунок його ущільнення, призводить до суттєвого підвищення опору наповненню ковша, а так, до необхідності підвищення тягового класу трактора-штовхача [2]. Збільшення об'єму ковша за рахунок його подовження або збільшення висоти в умовах обмеження ширини також не дає позитивного результату, оскільки це призводить до утворення порожнин в задній частині ковша і різкому підвищенню опору наповненню.

Необхідно знайти раціональну конструкцію ковша скрепера, а у відповідності до цього його геометричні розміри. Тому пошук нових конструктивних рішень в даному напрямку є актуальною задачею [3].

Шляхи вирішення проблеми. Одним із перспективних напрямів вирішення вище означеної проблеми є зміна форми елементів ковша скрепера, що досягається використанням напівкруглого днища та задньої стінки маятникового типу відвальної форми [4,5,6,7].

Задачі. Розробити математичні моделі опору копання з урахуванням особливостей конструкції. Провести теоретичний аналіз процесу заповнення ковша скрепера з напівкруглим днищем та задньою стінкою маятникового типу відвальної форми з метою аналітичної оцінки максимального значення діючого опору на різних товщинах стружки, що вирізається.

Суть роботи. В основу теоретичного дослідження покладені основні положення теорії граничної рівноваги сипкого середовища стосовно процесу копання, які розроблені проф. Баловнєвим В. І. [8,9,10].

На розрахункових схемах, які показані на рисунках 1 та 2. основним параметрами робочого обладнання є висота бокових стінок, що дорівнюють висоті ковша $H_{тр}$, $H_{пл}$. До режиму копання відносяться товщина стружки h і кут різання ґрунту α_p .

Заповнення ковша скрепера традиційного типу.

Розрахункова схема відображає найбільш енергоємну кінцеву стадію заповнення ковша (рис.1).

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 [11]:

$$P_k = P_p + P_{зп} + P_{зт} + P_{пр},$$

де P_p – опір різанню; $P_{зп}$ – опір заповненню; $P_{зт}$ – опір від затуплення ріжучих ножів; $P_{пр}$ – опір переміщенню призми волочіння.

Опір різанню визначається за формулою:

$$P_p = (1 + ctg\alpha_p \cdot tg\delta) A_1 B h_{кп} \left[\frac{\gamma h_{кп}}{2} + c_\omega \cdot ctg\rho \left(1 - \frac{1}{A_1} \right) + p_{пл} \right].$$

Питомий опір руху пласта ґрунту у ковші скрепера:

$$p_{пл} = \frac{P_{пл}}{B a},$$

$$a = k_\psi \cdot h_{кп},$$

де a – величина, що визначає ширину основи пласта, що витісняється.

$$k_\psi = \frac{tg\alpha_p + tg\psi}{tg\alpha_p \cdot tg\psi},$$

де ψ – кут здвигу (напрямок сколу стружки).

Опір заповненню визначається за формулою:

$$P_{зп} = 2 A_3 t h_{кп} \left[\frac{\gamma h_{кп}}{2} + c_\omega \cdot ctg\rho \left(1 - \frac{1}{A_3} \right) \right],$$

де A_3 – коефіцієнт, який визначає нормальні напруження у замкнутій формі для невагомому середовища:

$$A_3 = \frac{\cos\delta(\cos\delta + \sqrt{\sin^2\rho - \sin^2\delta})}{1 - \sin\rho} e(\delta + \arcsin \frac{\sin\delta}{\sin\rho}) \operatorname{tg}\rho.$$

Опір руху ґрунту, що витісняється з нижньої частини призми у верхню:

$$P_{\text{пл}} = k_{\text{тр}} \cdot \gamma_p \cdot \cos^2\rho \cdot \operatorname{tg}\rho \frac{H_{\text{тр}}^2}{k_{\psi} h_{\text{кп}}} + \gamma_p H_{\text{тр}};$$

$$k_{\text{тр}} = 1 + k_{\psi} \cdot \frac{h_{\text{кп}}}{B},$$

де $k_{\text{тр}}$ – коефіцієнт, що враховує вплив опору на бокових поверхнях пласта (тертя по бокових стінках).

A_1 – коефіцієнт, який визначається відповідно за формулою:

$$A_1 = \frac{1 - \sin\rho \cdot \cos 2\alpha_p}{1 - \sin\rho}.$$

Опір від затуплення ріжучих ножів визначається за формулою:

$$P_{\text{зт}} = (1 + \operatorname{ctg}\alpha_{\text{зт}} \operatorname{tg}\delta_2) A_2 B h_{\text{зт}} \left[\frac{\gamma h_{\text{зт}}}{2} + c_{\omega} \operatorname{ctg}\rho \left(1 - \frac{1}{A_1} \right) + p_{\text{пл}} \right],$$

де A_2 – величина коефіцієнта, що визначається аналітично в залежності від кута затуплення $\alpha_{\text{зт}}$.

$$A_2 = \frac{\cos\delta(\cos\delta + \sqrt{\sin^2\rho - \sin^2\delta})}{1 - \sin\rho} e(\pi - 2\alpha_{\text{зт}} + \delta + \arcsin \frac{\sin\delta}{\sin\rho}) \operatorname{tg}\rho.$$

Опір переміщенню призми волочіння визначається за формулою:

$$P_{\text{пр}} = \gamma_p \cos^2\rho \frac{B H_{\text{пр}}^2}{2};$$

$$H_{\text{пр тр}} = 0,615 H_{\text{тр}},$$

де $H_{\text{тр}}$ – висота ковша скрепера.

У розгорнутому вигляді математична модель опору заповнення ковша скрепера традиційного типу:

$$P_{\text{к}} = (1 + \operatorname{ctg}\alpha_p \operatorname{tg}\delta) A_1 B h_{\text{кп}} \left[\frac{\gamma h_{\text{кп}}}{2} + c_{\omega} \operatorname{ctg}\rho \left(1 - \frac{1}{A_1} \right) + p_{\text{пл}} \right] + 2 A_3 t h_{\text{кп}} \left[\frac{\gamma h_{\text{кп}}}{2} + c_{\omega} \operatorname{ctg}\rho \left(1 - \frac{1}{A_3} \right) \right] + (1 + \operatorname{ctg}\alpha_{\text{зт}} \operatorname{tg}\delta_2) A_2 B h_{\text{зт}} \left[\frac{\gamma h_{\text{зт}}}{2} + c_{\omega} \operatorname{ctg}\rho \left(1 - \frac{1}{A_1} \right) + p_{\text{пл}} \right] + \gamma_p \cos^2\rho \frac{B H_{\text{пр тр}}^2}{2},$$

де α_p – кут різання, град; B – ширина різання, що дорівнює ширині ковша, м; t – ширина бічного ножа, м; $h_{\text{кп}}$ – товщина стружки, м; γ – об'ємна вага ґрунту з непорушеною структурою, кГ/м^3 ; γ_p – об'ємна вага ґрунту з порушеною структурою, кГ/м^3 ; ρ – кут внутрішнього тертя розроблюваного ґрунту, град; δ – кут зовнішнього тертя, град; c_{ω} – зчеплення ґрунту з непорушеною структурою; k_{ψ} – коефіцієнт, що визначається за формулою [4].

Заповнення ковша скрепера з напівкруглим днищем і задньою стінкою маятникового типу.

Розрахунок процесу заповнення ковша скрепера з напівкруглим дном і задньою стінкою маятникового типу проводиться аналогічно до традиційного розрахунку, але з деякими уточненнями.

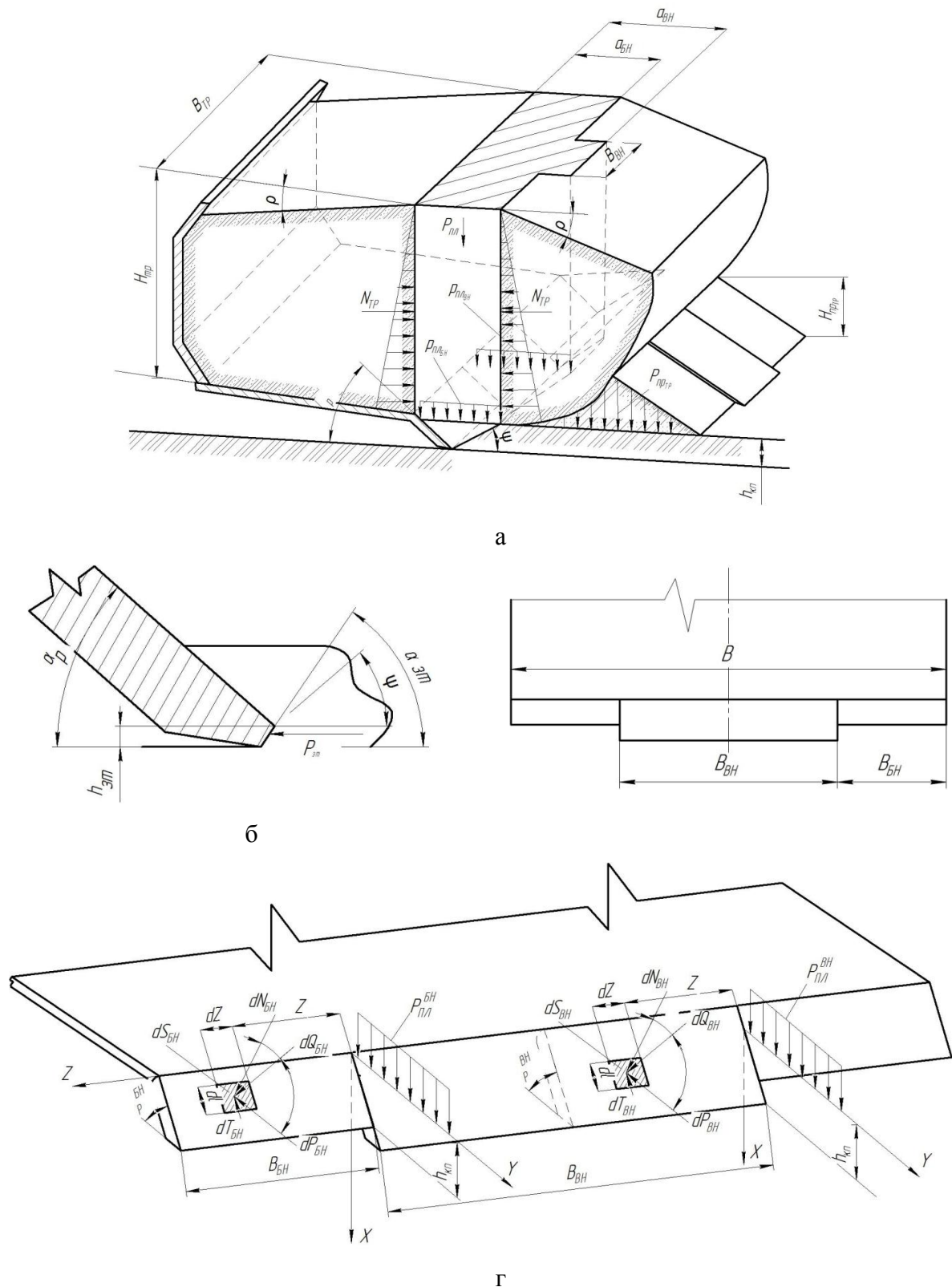


Рис.1. Розрахункова схема для визначення опору копанню ґрунту традиційним ковшем скрепера: а – ківш скрепера; б – область затуплення ріжучого ножа; в – поперечна проекція ножа скрепера; г – схема різання ґрунту плоским ножом.

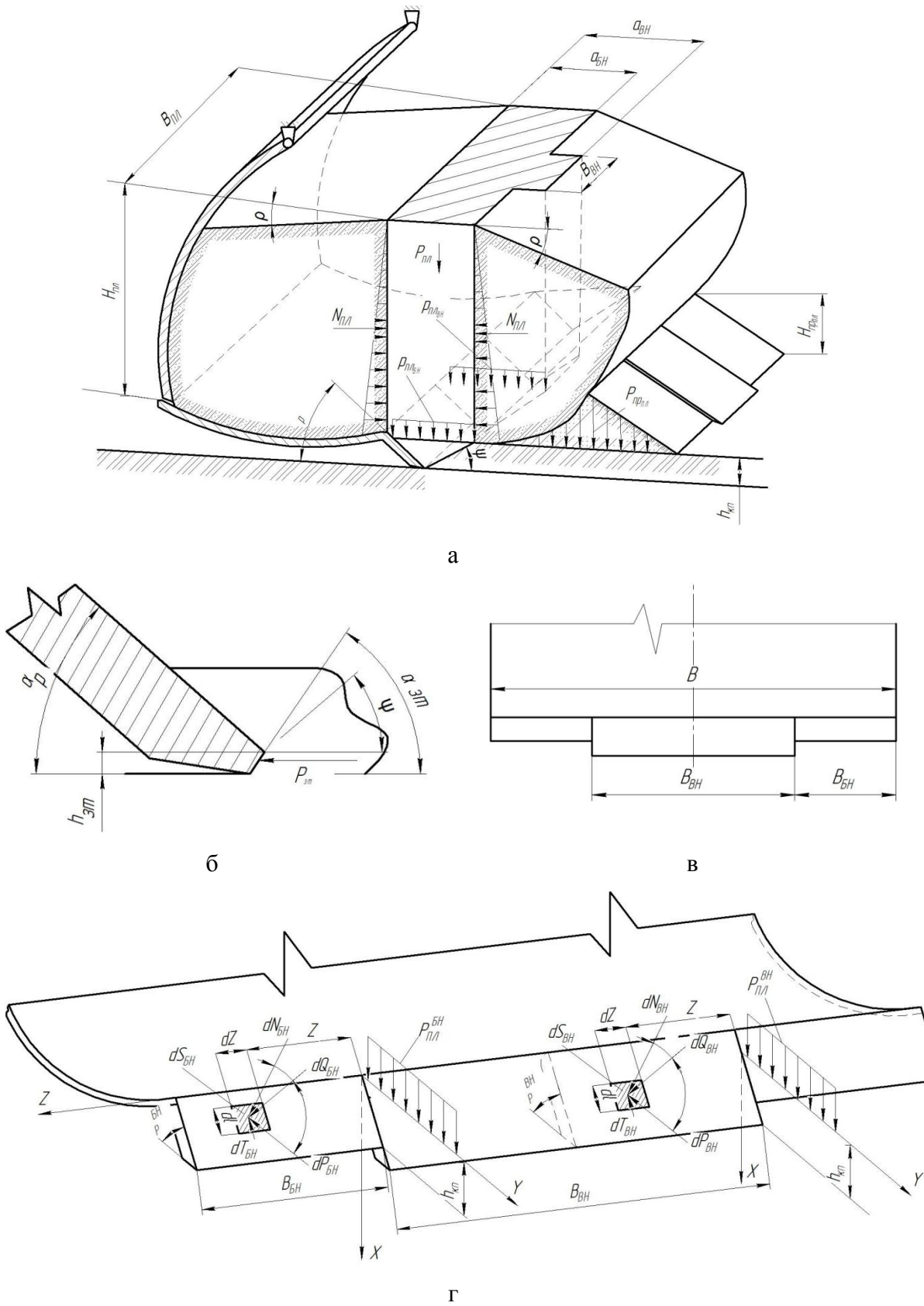


Рис.2. Розрахункова схема для визначення опору копанню ґрунту скрепером з напівкруглим дном та задньою стінкою маятникового типу: а – ківш скрепера; б – область затуплення ріжучого ножа; в – поперечна проекція ножа скрепера; г – схема різання ґрунту плоским ножом.

Опір різанню визначається за формулою [8]:

$$P_p = (1 + \operatorname{ctg} \alpha_p \operatorname{tg} \delta) A_1 B h_{\text{кп}} \left[\frac{\gamma h_{\text{кп}}}{2} + c_{\omega} \operatorname{ctg} \rho \left(1 - \frac{1}{A_1} \right) + p_{\text{пл}} \right],$$

де $p_{\text{пл}}$ – питомий опір руху пласта ґрунту у ковші скрепера. Значення питомого руху пласта ґрунту у ковші скрепера з напівкруглим днищем та задньою стінкою маятникової типу потрібно приймати меншими, оскільки форма донної частини та задньої стінки сприяє меншому ущільненню ґрунту в середині ковша.

$$p_{\text{пл}} = \frac{P_{\text{пл}}}{Ba};$$

$$a = k_{\psi} \cdot h_{\text{кп}},$$

де a – величина, що визначає ширину основи пласта, що витісняється.

Опір від затуплення ріжучих ножів визначається аналогічно до традиційного з урахуванням значення питомого опору руху пласта ґрунта:

$$P_{\text{зт}} = (1 + \operatorname{ctg} \alpha_{\text{зт}} \operatorname{tg} \delta_2) A_2 B h_{\text{зт}} \left[\frac{\gamma h_{\text{зт}}}{2} + c_{\omega} \operatorname{ctg} \rho \left(1 - \frac{1}{A_1} \right) + p_{\text{пл}} \right].$$

Опір переміщенню призми волочіння визначається за формулою:

$$P_{\text{пр}} = \gamma_p \cos^2 \rho \frac{B H_{\text{пр}}^2}{2};$$

$$H_{\text{пр}} = 0,315 H_{\text{пл}},$$

де $H_{\text{пл}}$ – висота ковша скрепера. Значення коефіцієнту для визначення висоти призми волочіння приймаємо меншим, оскільки значення питомого опору руху пласта ґрунту менше, відповідно більша кількість ґрунту потрапляє у ківш.

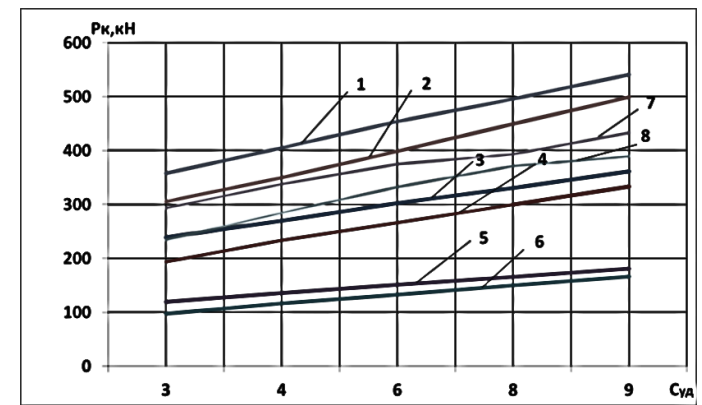
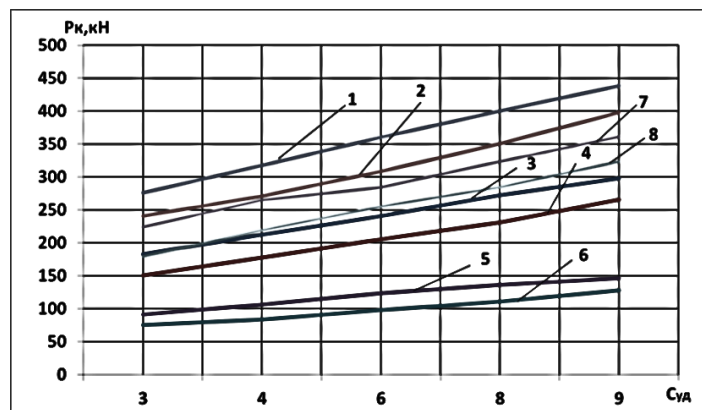
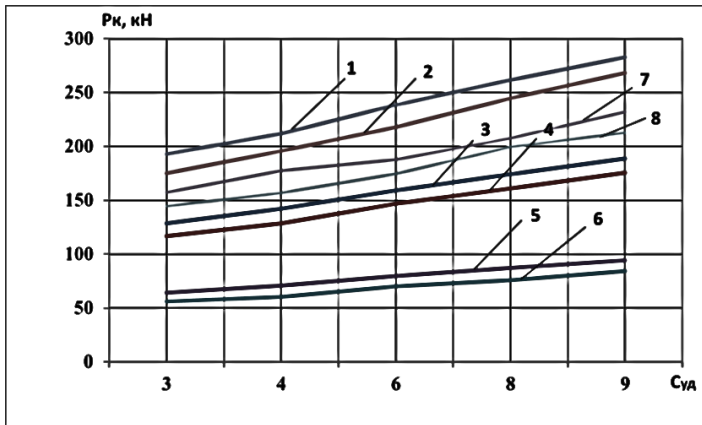
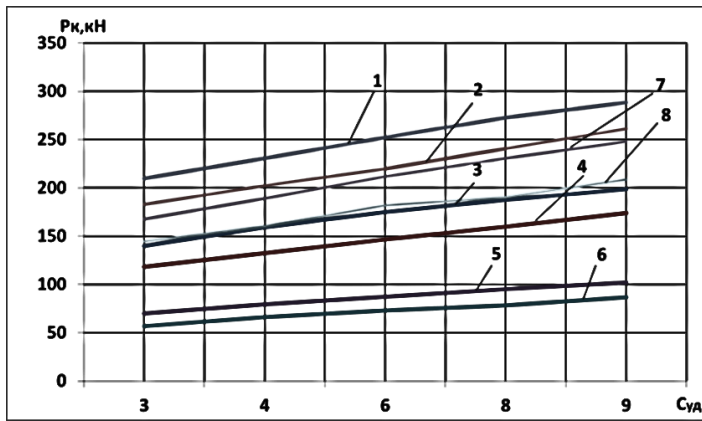
У розгорнутому вигляді математична модель опору заповнення ковша скрепера з напівкруглим днищем та задньою стінкою маятникового типу:

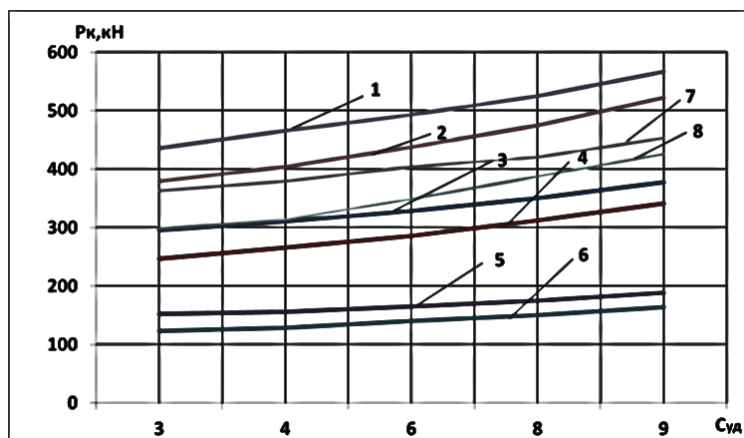
$$P_k = (1 + \operatorname{ctg} \alpha_p \operatorname{tg} \delta) A_1 B h_{\text{кп}} \left[\frac{\gamma h_{\text{кп}}}{2} + c_{\omega} \operatorname{ctg} \rho \left(1 - \frac{1}{A_1} \right) + p_{\text{пл}} \right] + 2 A_3 t h_{\text{кп}} \left[\frac{\gamma h_{\text{кп}}}{2} + c_{\omega} \operatorname{ctg} \rho \left(1 - \frac{1}{A_3} \right) \right] + (1 + \operatorname{ctg} \alpha_{\text{зт}} \operatorname{tg} \delta_2) A_2 B h_{\text{зт}} \left[\frac{\gamma h_{\text{зт}}}{2} + c_{\omega} \operatorname{ctg} \rho \left(1 - \frac{1}{A_1} \right) + p_{\text{пл}} \right] + \gamma_p \cos^2 \rho \frac{B H_{\text{пр}}^2}{2},$$

Розрахункова схема заповнення ковша представлена на рисунку 2.

Аналіз математичної моделі опору наповнення ковша скрепера показує, що на кінцевому етапі заповнення ковша максимальне значення опору ґрунта копанню P_k є функцією геометричних параметрів ковша, фізико-механічних властивостей ґрунту та режиму копання, що визначається товщиною стружки h і кутом різання α_p .

Чисельний аналіз залежності опору ґрунта копанню P_k від $C_{\text{уд}}$ показаний на графіках рис.3. Розглядався процес заповнення ковшів скреперів ДЗ-87-1, Д-357, Д-523 Товщина стружки h змінювалась в інтервалі 80...280 мм.





Д

Рис.3 Залежності опору ґрунта копанню, P_k від його міцності, $C_{уд}$: а – товщина стружки 80 мм; б – товщина стружки 110 мм; в – товщина стружки 180 мм; г – товщина стружки 250 мм; д – товщина стружки 280 мм; 1 – ківш традиційного виконання, $q=12\text{м}^3$; 2 – ківш з напівкруглим днищем та розвантаженням маятникового типу, $q=12\text{м}^3$; 3 – ківш традиційного виконання, $q=8\text{м}^3$; 4 – ківш з напівкруглим днищем та розвантаженням маятникового типу, $q=8\text{м}^3$; 5 – ківш традиційного виконання, $q=4\text{м}^3$; 6 – ківш з напівкруглим днищем та розвантаженням маятникового типу, $q=4\text{м}^3$; 7 – дані лабораторних досліджень, ківш традиційного виконання, $q=8\text{м}^3$; 8 – дані лабораторних досліджень, ківш з напівкруглим днищем та розвантаженням маятникового типу, $q=8\text{м}^3$.

Висновки. 1. Розроблені математичні моделі опору копання з урахуванням особливостей конструкції ковша скрепера з напівкруглим днищем та розвантаженням маятникового типу із задньою стінкою відвальної форми, в яких враховано вплив опору різанню, опору від переміщення призми волочіння;

2. Теоретичний розрахунок показує ефективність конструкції ковша скрепера з напівкруглим днищем та розвантаженням маятникового типу із задньою стінкою відвальної форми на різних типах ґрунтів;

3. Розрахункові значення зусилля копання P_k зменшуються до 16÷20% в порівнянні з ковшем скрепера традиційного виконання за рахунок зменшення значення опору питомого руху пласта ґрунту у ковші скрепера, зменшення значень опору переміщення призми волочіння.

ЛІТЕРАТУРА.

1. 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.

2. Машины для земляных работ: Навчальний посібник / Хмара Л.А., Кравець С.В., Нічке В.В., Назаров Л.В., Скоблюк М.П., Нікітін В.Г. Під загальною редакцією проф. Хмари Л.А. та проф. Кравця С.В. Рівне – Дніпропетровськ-Харків. – 2010 - 557 с.
3. Новая конструкция напівпричіпного скрепера./Л.А. Хмара, О.О. Дахно, М.А. Спільник//Сб. науч. тр.: Строительство. Материаловедение. Машиностроение. Серия: Подъемно-транспортные, строительные и дорожные машины и оборудование. Вып. 57 – Дн-ск: ПГАСА, 2010, С. 86-90.
4. Патент Украины на полезную модель № 48873, МПК E02F 3/64, Скреперный ковш / Л. А. Хмара, М. И. Деревянчук, М. А. Спільник. - Бюл №7, 2010.
5. 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.
6. Исследование конструкций задней стенки скрепера поляризационно-оптическим методом/ А.Я. Спільник, М.А. Спільник, Г.Г. Шломчак // Сб. науч. тр.: Строительство. Материаловедение. Машиностроение. Серия: Подъемно-транспортные, строительные и дорожные машины и оборудование. Вып. 63 – Дн-ск: ГВУЗ ПГАСА, 2011, С. 135-141.
7. Бакулин А. В. Особенности процесса копания грунта скреперным ковшом с криволинейным днищем / А. В. Бакулин, Б. И. Харкун, В. И. Уткин // Строительные и дорожные машины. – 1991. - №11. - С. 6 – 9.
8. Баловнев В.И. Новые методы расчета сопротивления резанию грунтов. Росвузиздат, 1963, 94с.
9. Баловнев В.И. Моделирование процессов взаимодействия со средой рабочих органов дорожно-строительных машин: Учебное пособие для студентов вузов. – М.: Высш. Школа, 1981. -335 с., ил.
10. Баловнев В. И. Моделирование процессов взаимодействия со средой рабочих органов дорожно-строительных машин: Учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / В. И. Баловнев – М.: Машиностроение, 1994. – 432 с.: ил.
11. Теоретичний аналіз процесу заповнення глибокої передньої заслінки ковша скрепера / Л.А. Хмара, М.І. Деревянчук, Ю.С. Пікуш, М.А. Спільник//Сб. науч. тр.: Строительство. Материаловедение. Машиностроение. Серия: Подъемно-транспортные, строительные и дорожные машины и оборудование. Вып. 57 – Дн-ск: ПГАСА, 2010, С. 76-80.