

УДК 621.878.23.001.4

Л. А. ХМАРА, докт. техн. наук., М. І. ДЕРЕВ'ЯНЧУК, ст. викл.

К. А. КРЕКНІН, інженер.

*Державний вищий навчальний заклад  
«Придніпровська державна академія будівництва та архітектури»*

## АНАЛІТИЧНЕ ВИЗНАЧЕННЯ ОБ'ЄМУ ПРИЗМИ ВОЛОЧІННЯ ТРИСЕКЦІЙНИХ БУЛЬДОЗЕРНИХ ВІДВАЛІВ В НАКОПИЧУВАЛЬНОМУ РЕЖИМІ РОБОТИ

**Актуальність питання.** Ефективність робочих органів бульдозерних агрегатів залежить від багатьох показників і в першу чергу від накопичуваних властивостей в період копання та транспортування ґрунту.

Аналізуючи конструктивні особливості трисекційних відвалів, слід відмітити, що найбільш важливим режимом їх роботи є процес копання і транспортування ґрунту в умовах накопичення перед відвалом максимальної кількості ґрунту, що є визначальним фактором підвищення продуктивності та зниження енергоємності виконуваних робіт [1].

Теоретична оцінка форми та об'єму призми волочіння, що утворюється перед трисекційним відвалом з повернутими вперед боковими секціями дозволяє оптимізувати параметри робочого органу і режими його роботи. Аналіз робіт, що присвячені процесам призмутворення при копанні ґрунтів відвальними робочими органами показав відсутність досліджень, що відносяться до шарнірно - з'єднаних систем відвалів. Це суттєво ускладнює теоретичний прогноз ефективності таких технічних рішень. Тому метою даного розділу роботи є розробка теоретичної моделі для визначення об'єму ґрунту, що накопичується перед трисекційним відвалом, працюючим в накопичувальному режимі.

**Формалізація цілі та задачі.** Відомо, що процес призмутворення при копанні ґрунтів відвальними робочими органами носить складний характер. Як показують експериментальні дослідження процес призмутворення супроводжується інтенсивним рухом ґрунтової маси перед лобовою частиною відвалу та розвалу ґрунту за зону дії робочого органа в бокові валки [2].

По мірі просування робочого органа в забої величина втрат ґрунту в бокові валки постійно збільшується, що обумовлює зростання енергоємності процесу копання, та збільшення шляху формування максимальної призми волочіння [3]. Найбільші втрати ґрунту в бокові валки спостерігаються на прикінцевій стадії копання, коли кількість ґрунту, що вирізається із забою дорівнює кількості, що втрачається в бокові валки. Як показують експе-

риментальні дослідження, величина втрат ґрунту в бокові валки тісно пов'язана з висотою тієї частини призми волочіння, що прилягає до поверхні відвалу. При досяганні висоти відвалу такі втрати сягають максимального значення і настає рівновага між масами ґрунту, що вирізається та втрачається за межі робочого органу [4, 5, 6, 7, 8, 9].

При роботі трисекційного відвала ґрунт, що вирізається, спочатку заповнює робочу частину відвалу при мінімальних втратах в бокові валки, оскільки бокові секції спрямовують ґрунт на середню частину завдяки кутовому нахилу до траєкторії руху. При заповненні внутрішньої частини робочого органу подальше наростання призми волочіння протікає таким же чином як і лінійних (традиційних) відвалів. Тобто, передня частина призми по формі нагадує тригранну призму, що виходить за межі відвалу. Дані спостереження дозволяють з метою аналітичного аналізу запропонувати спрощену формулу маси ґрунту, що накоплюється перед трисекційним відвалом на кінцевій стадії копання, яка показана на рис.1.

Враховуючи складність дійсної форми ґрунтової призми, що накоплюється перед трисекційним відвалом, при аналітичному дослідженні прийняті наступні припущення: 1 – трисекційний відвал являє собою конструкцію, що складається із трьох щитів, причому бокові щити шарнірно - з'єднані до центральної під кутом  $\beta$ ; 2 – бокові секції відвала по відношенню до середньої повернуті вперед під кутом  $\alpha$ ; 3 – на кінцевій стадії копання зовнішня форма призми волочіння являє собою фігуру, що обмежується площинами лобової частини та передньої примикаючої площини нахиленої до горизонту під кутом природного відкосу  $\varphi_0$ ; 4 – ґрунт в призмі волочіння є сипким середовищем з внутрішнім тертям і зчепленням.

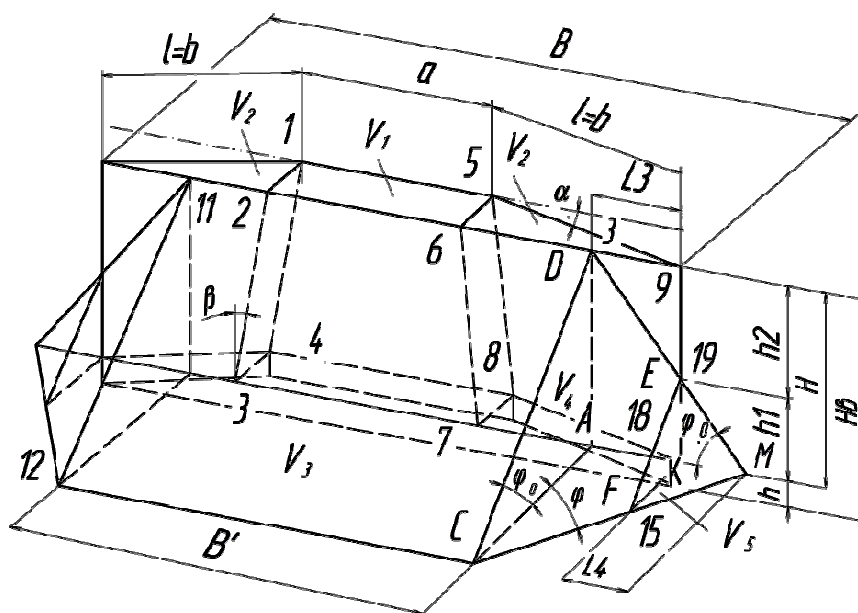


Рис.1. Розрахункова схема до визначення об'єму призми волочіння.

В відповідності до схеми (рис.1.) призму волочіння можна представити в вигляді окремих елементів які показано на рис.2.

Основними конструктивними параметрами робочого органу в відповідності до схеми є:

- довжина середньої секції  $a$ ;
- довжина бокових секцій  $b$ ;
- висота робочого органу  $H$ ;
- кут повороту бокових секцій  $\alpha$  ;

Режим взаємодії робочого органу з ґрунтовим середовищем визначається товщиною шару ґрунту, що вирізається із поверхні забою  $h$  і швидкістю пересування бульдозерного агрегату в забої  $V_K$ .

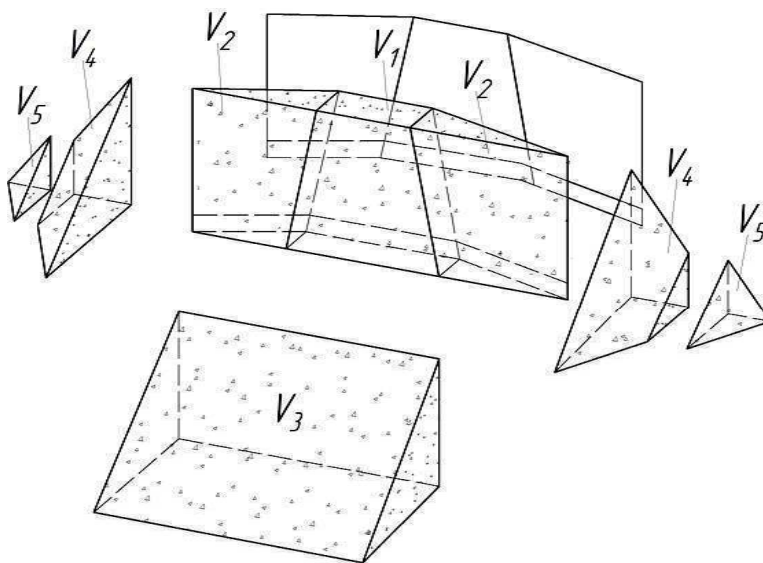


Рис.2 Схема елементного складу призми волочіння.

При прийнятих конструктивних параметрах відвала  $a$  і  $b$  кут повороту бокових секцій обмежується шириною захвата  $B$ , яка повинна перекривати габарит гусеничної, або колісної системи базового трактора. На практиці кут повороту бокових секцій приймають в межах  $25 \dots 35^\circ$ , що обумовлює відповідну довжину середньої  $a$  та бокових секцій  $b$ . В цьому випадку мінімальний

захват визначається по формулі:

$$B = a + 2b \cdot \cos \alpha \geq B + \Delta, \quad (1)$$

де  $B$  - габарит ходової системи трактора, м;

$\Delta$  - виступання крайніх елементів відвала за габаритами ходової системи,  $\Delta = (0,25 \dots 0,5)$  м.

При заданих габаритах ходової системи трактора співвідношення довжин середньої та бокових секцій визначають і кут повороту останніх. Очевидно, його значення сягає мінімуму при  $a=0$ , тоді має місце при двохсекційних відвалах.

Тоді: 
$$B = 2b \cdot \cos \alpha \geq B + \Delta. \quad (2)$$

В випадку, коли  $a \geq B + \Delta$ , бокові секції можуть бути повернуті на кут  $\alpha = 90^\circ$  і ми отримаємо неповоротний відвал з боковими щитками, або відкрилками, загальна довжина якого визначається за формулою:

$$B = a + \Delta \geq B + \Delta, \quad (3)$$

де  $b$ - довжина бокових щитків.

В цьому випадку:

$$B = \frac{B - a}{2 \cos \alpha}. \quad (4)$$

Критерієм конструктивної якості секційних відвалів, очевидно, є їхня властивість накоплювати максимальну кількість ґрунту при мінімальних втратах його в бокові валки.

Прийнявши зовнішню форму призми волочіння, як показано на рис.1, 2. її об'єм можна визначити як суму об'ємів елементарних фігур  $V_1, V_2, V_3, V_4, V_5, V_6, V_7$  і  $V_8$ .

Тобто:

$$V = V_1 + 2V_2 + V_3 + 2V_4, \quad (5)$$

де  $V_1$  – об'єм паралелепіпеда, що утворений середньою секцією відвала,  $m^3$ ;

$V_2$  – об'єм тригранної призми, що утворена боковою секцією відвала,  $m^3$ ;

$V_3$  – об'єм тригранної призми, що утворюється перед елементарними об'ємами  $V_1$  і  $V_2$ ;

$V_4$  – об'єм бокової урізаної піраміди, що утворена в результаті зсуву ґрунта із активної зони відвала в бокові валки.

Об'єм паралелепіпеда  $V_1$  визначається формулою:

$$V_1 = \frac{[a + (a + 2Htg\beta)] \cdot (H - h) \cdot (B \cdot a) \sin \alpha}{4}, \quad (6)$$

де  $a$  – довжина середньої секції, м;

$b$  – довжина бокової секції, м;

$H$  – загальна висота відвала, м;

$h$  – товщина стружки, що вирізається, м;

$\alpha$  – кут повороту бокових секцій, град.

$\beta$  – кут нахилу з'єднання бокової секції відносно центральної, град.

Об'єм тригранної призми  $V_2$ , що утворена боковою секцією відвалу визначається формулою:

$$2V_2 = \frac{2l \cdot \cos^2 \alpha \cdot H(\sin \alpha + \cos \alpha) - H^2(l \cdot \sin 2\alpha - H \cdot \operatorname{tg} \beta) \operatorname{tg} \beta}{2 \cdot \cos \alpha}, \quad (7)$$

де  $l$  – довжина верхньої частини бічної секції (рис. 1).

Об'єм тригранної призми, що утворюється перед елементарними об'ємами  $V_1$  і  $V_2$  дорівнює:

$$V_3 = \frac{(H-h)^2 B^1}{2 \operatorname{tg} \varphi_0}, \quad (8)$$

де  $B^1$  – довжина повздовжніх ребер даної призми з урахуванням зсуву ґрунту із активної зони відвала в бокові валки.

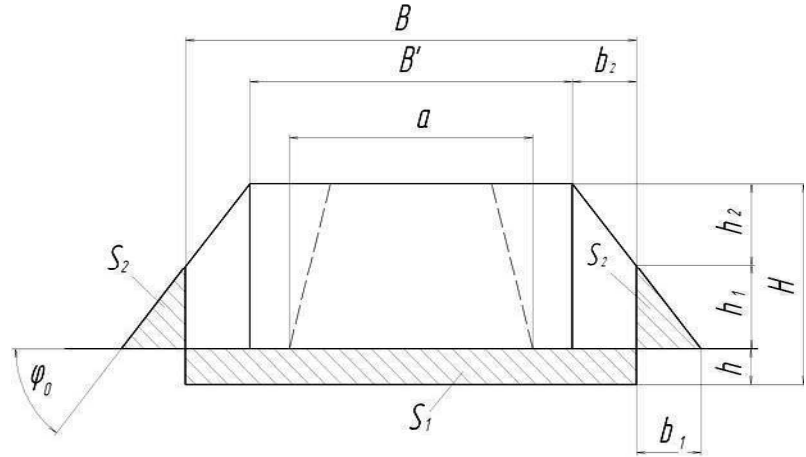


Рис.3. Схема до визначення довжини  $B^1$  (вид спереду).

Довжина ребер  $B^1$  визначається із розрахункової схеми рис.3.

В відповідності до схеми довжина  $B^1$  дорівнює:

$$B^1 = B - 2b_2, \quad (9)$$

де  $b_2$  – довжина бокової частини відвала.

Геометричні параметри бокової системи призми волочіння (рис.3.) визначаються із умови кінця копання:

$$K_P \cdot S_C = 2S_b, \quad (10)$$

де  $K_P$  – коефіцієнт розпушення ґрунту;

$S_C$  – площа стружки, що вирізається;

$S_b$  – площа поперечного перетину бокового валка.

З урахуванням геометричних параметрів відвала можна записати:

$$B \cdot h \cdot K_P = \frac{h_1^2}{\operatorname{tg} \varphi_0}; \quad (11)$$

звідки:

$$h_1 = \sqrt{Bh \cdot K_P \operatorname{tg} \varphi_0}, \quad (12)$$

де  $h_1$  – висота вершини бокового валка.

Довжина основи бокового валка  $b_1$  дорівнює:

$$b_1 = \frac{h_1}{\operatorname{tg} \varphi_0} = \frac{\sqrt{Bh \cdot K_p \operatorname{tg} \varphi_0}}{\operatorname{tg} \varphi_0}. \quad (13)$$

Параметри прямокутника в верхній частині відвала  $h_2$  і  $b_2$  визначаються по формулам:

$$h_2 = (H - h) - h_1 = (H - h) - \sqrt{Bh \cdot K_p \operatorname{tg} \varphi_0}; \quad (14)$$

$$b_2 = \frac{h_2}{\operatorname{tg} \varphi_0} = \frac{(H - h) - \sqrt{Bh \cdot K_p \operatorname{tg} \varphi_0}}{\operatorname{tg} \varphi_0}; \quad (15)$$

$$b_2 = (H - h) - \sqrt{Bh \cdot K'_p \operatorname{tg} \varphi_0} \cdot \operatorname{tg} \varphi_0. \quad (16)$$

З урахуванням (9) і (15) можна записати:

$$V_3 = \frac{(H - h)^2}{2 \operatorname{tg} \varphi_0} \left[ B - 2 \left( \frac{(H - h) - \sqrt{Bh \cdot K'_p \operatorname{tg} \varphi_0}}{\operatorname{tg} \varphi_0} \right) \right]. \quad (17)$$

Бокова частина призми волочіння  $V_4$  являє собою урізану призму  $ACDKFE$  (рис.3.), яка є частиною повної тригранної призми  $ACDM$ , об'єм якої виражається формулою:

$$V_4 = V_{ABC} - V_{DEN} = \frac{(H - h)^2}{2 \operatorname{tg} \varphi_0} \cdot \frac{1}{3} (b_2 + b_1) - \frac{h_1^2}{2 \operatorname{tg} \varphi_0} \cdot b_1. \quad (18)$$

Тоді з урахуванням розгорнутих значень  $b_1$ ,  $b_2$  і  $h_1$

$$2V_4 = \frac{\sqrt{B \cdot h \cdot \operatorname{tg} \varphi_0 \cdot K_p}}{3 \operatorname{tg} \varphi_0} \left( \frac{(H - h)^3}{\sqrt{B \cdot h \cdot K_p \cdot \operatorname{tg} \varphi_0 \cdot \operatorname{tg} \varphi_0}} - B \cdot h \cdot K_p \right). \quad (19)$$

Підставивши в формулу (4) розгорнуті значення складових (6), (7), (16) і (18), отримаємо формулу максимального об'єму ґрунту, що накоплюється перед секційним відвалом в кінці процесу копання.

$$V = \frac{a \cdot (B - a)(H - h) \operatorname{tg} \alpha}{4} + \frac{(B - a)^2 (H - h) \operatorname{tg} \alpha}{4} +$$

$$+ \frac{(H - h)^2}{2 \operatorname{tg} \varphi_0} \left[ B - 2 \left( \frac{(H - h) - \sqrt{Bh \cdot K'_p \operatorname{tg} \varphi_0}}{\operatorname{tg} \varphi_0} \right) \right] +$$

$$+ \frac{\sqrt{B \cdot h \cdot \operatorname{tg} \varphi_0 \cdot K_p}}{3 \operatorname{tg} \varphi_0} \left( \frac{(H-h)^3}{\sqrt{B \cdot h \cdot K_p \cdot \operatorname{tg} \varphi_0 \cdot \operatorname{tg} \varphi_0}} - B \cdot h \cdot K_p \right). \quad (20)$$

**Висновки.** Прийнята розрахункова схема та математичні залежності по визначенню об'ємів елементарних складових частин дозволили запропонувати дієздатну математичну модель для прогнозу величини призми волочіння при копанні ґрунтів, як традиційними, так і секційними відвалами. Таким чином, запропонована теоретична залежність досить об'єктивно відображає закономірність зміни форми і об'єму ґрунта, що накоплюється перед секційним відвалом та може використовуватись при інженерному прогнозі даного показника.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Баловнев В.И., Хмара Л.А. Интенсификация земляных работ в дорожном строительстве. –М.: Транспорт, 1983. -183с.
2. Баловнев В.И., Хмара Л.А. Повышение производительности машин для земляных работ. –К.: Будівельник, 1992. -152с.
3. Зеленин А.Н., Баловнев В.И., Керов И.П. Машины для земляных работ. . –М.: Высш. Шк., 1975. -424с.
4. Хмара Л.А., Коротких В.Б. Исследование процесса копания и повышение эффективности рабочих процессов отвалов бульдозеров // Повышение эффективности землеройных машин. Материалы респ. конф., г. Воронеж, 1992. – с. 11.
5. Хмара Л.А. Научные основы формирования многокомпонентных рабочих органов землеройных машин. Интенсификация рабочих процессов строительных машин: Сборник научных трудов. Вып. 4. Машины для земляных работ. – Днепропетровск: ПГАСА, 1998. – С. 14 – 21.
6. Недорезов И.А., Аскарходжаев Т.И., Мирсадыков М.А., Котов В.В. Модернизация бульдозера ДЗ – 110А. Строительные и дорожные машины. – 1994. - №2. – С. 4 – 5.
7. Домбровский Н. Г., Картвелишвили Ю. Л., Гальперин М. И. Строительные машины. учебник для вузов. В 2 частях. Ч 1-я, - М.: Машиностроение,- 1976- 391 с. с ил.
8. Тимошенко В.К., Хмара Л.А. «Землеройные и землеройно-транспортные машины (основы теории расчетов и сборник задач) – Днепропетровск, ДИСИ, 1990г. 238с.
9. Машины для земляных работ: Учебник / Гаркави Н. Г., Аринченков В. И., Карпов В. В. и др.; под ред. Н. Г. Гаркави. – М.: Высш. школа, 1982. – 335 с.