

## Щелевое резание грунта со свободным боковым оттоком

Михаил Сукач

Киевский национальный университет строительства и архитектуры  
Воздухофлотский проспект 31, Киев, Украина, 03037  
[msukach@ukr.net](mailto:msukach@ukr.net), [orcid.org/0000-0003-0485-4073](https://orcid.org/0000-0003-0485-4073)

Получено 05.12.2019, принято после просмотра 09.02.2020  
<https://doi.org/10.32347/uwt2020.10.1301>

**Аннотация.** В условиях резания грунта в глубине массива при ограничении оттока грунта по боковым сторонам широкого ножа эпюра давлений на его переднюю грань имеет приближенно треугольную форму. При малых углах резания деформирование и выдавливание грунта происходит, в основном, в своды щели в вертикальном направлении. Ранее автором были получены аналитические зависимости давления гранта на верхнюю кромку прямого плоского ножа. При образовании щели широким острым ножом, установленным под некоторым углом в плане относительно направления его движения (в случае отсутствия бокового выпора), определены зависимости сил резания грунта от величины его пористости и зоны деформации.

Целью исследования является установление силовых зависимостей щелевого резания грунта широким косоугольным ножом *при возможности свободного выхода грунта в боковые технологические прорезы*. В рассматриваемой работе, как и в модели, предполагается, что процесс резания грунта – квазистатический. Осуществляется он косоугольным широким плоским ножом с достаточно малым углом резания, как правило, не превышающем  $20^\circ$ . Считаем, что весь объем грунта расходуется на его перемещение вдоль поверхности ножа без образования ядра уплотнения или пластической зоны на лобовой грани.

Отличием настоящей модели является то, что грунт, двигаясь по ножу, может свободно перемещаться в боковые прорезы (как минимум равные его высоте), образованные технологической оснасткой предварительно пробуренных скважин, вдоль которых движется нож. То есть,



**Михаил Сукач**  
профессор кафедры  
строительных машин  
д.т.н., проф.

боковые стороны ножа свободны для пропуска избыточного грунта, перемещающегося вдоль его поверхности.

**Ключевые слова:** щелевое резание, бульдозерный отвал, геостатическое давление, деформация грунта, свободный боковой отток.

### МОДЕЛЬ РЕЗАНИЯ ГРУНТА

#### Постановка задачи

Рассмотрим схему косоугольного резания грунта широким плоским ножом [1, 3, 5, 9, 16] (Рис.1). Здесь полоса  $A^I K A K^I$  – открытая боковая поверхность грунта на передней грани ножа, через которую будет уходить стружка. Отсутствие нароста (ядра уплотнения) и выпирающего вперед за линию  $B B^I$  пластической зоны приводит к тому, что стружка будет уходить в прорезь в области треугольника  $A^I B^I B$  [2, 11, 12]. Изучим *пирамиду сдвига грунта*  $A^I B^I B D^I$  (найдем углы, размеры, давления). Запи-

шем условие, когда  $A^I D^I \leq A^I C^I$  – то есть ширина ножа  $b$  не меньше той граничной величины, при которой весь грунт перед ножом уходит в прорезь, без уплотнения вверх [4, 6, 17]. И в этом случае найдем все составляющие силы, действующие на нож.

**Силы, действующие на пирамиду сдвига**

Скольжение по поверхности ножа происходит параллельно  $D^I A^I // DA$  для стружки. Сдвиг грунта (грунт по грунту) происходит под углом, обозначенным  $\beta$ , к свободной поверхности, то есть  $\beta = \angle D^I B^I A^I$  (сдвиг  $// B^I D^I // BD$ ). Высота пирамиды в проекции на плоскость  $ABC$  (Рис.2) равна  $H_{\pi} = DD^{II}$  – высоте стружки [7, 8, 13 – 15]. Вычисляя  $AB$ , можно написать

$$H_{\pi}(\operatorname{tg}\gamma + \operatorname{ctg}\beta) = l \cos \delta \quad (1)$$

Площади граней пирамиды сдвига грунта (см. Рис.1, 2):

$$S_{A^I B B^I} = \frac{1}{2} l \sin \delta l \cos \delta = \frac{l^2}{4} \sin 2\delta \quad (2)$$

– это основание пирамиды;

$$S_{BAD} = \frac{1}{2} l \cos \delta H_{\pi} \quad (3)$$

– площадь, равная площади боковой грани пирамиды  $S_{B^I A^I D^I}$ , на которой происходит сдвиг грунта по грунту;

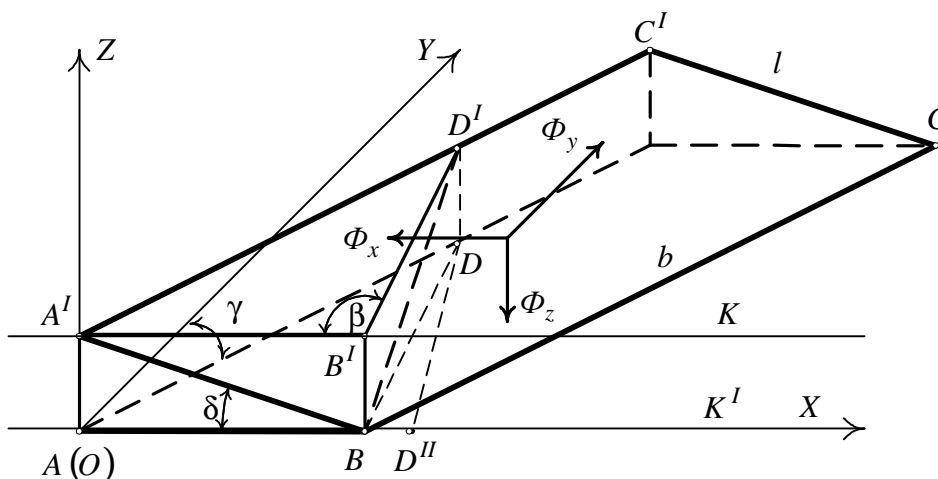
$$\begin{aligned} S_{BB^I D^I} &= \frac{1}{2} l \sin \delta B^I D^I = \\ &= \frac{1}{2} l \sin \delta BD = \frac{1}{2} l \sin \delta \frac{H_{\pi}}{\sin \beta} \end{aligned} \quad (4)$$

– площадь грани сдвига грунта по грунту.

Аналогично зависимости (19), взятой из [10], находим площадь контакта пирамиды с ножом:

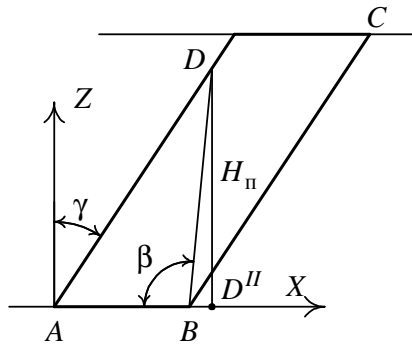
$$\begin{aligned} S_{A^I B D^I} &= \frac{S_{ABD}}{\cos \phi_z} = \\ &= \frac{1}{2} l \cos \delta H_{\pi} \frac{f}{\cos \delta \cos \gamma} = \frac{1}{2} l f \frac{H_{\pi}}{\cos \gamma}, \end{aligned} \quad (5)$$

где  $\phi_z$  – угол нормали (направления составляющей общего давления грунта на нож) с осью  $OZ$ ;  $f = \sqrt{1 - \sin^2 \gamma \cos^2 \delta}$ ;  $\gamma$  – угол поворота ножа в плане;  $\delta$  – угол резания.



**Рис.1.** Схема косоугольного резания грунта в глубине массива при открытой боковой поверхности ножа

**Fig. 1.** Diagram of oblique cutting of soil in the depths of the array with the open side surface of the knife



**Рис.2.** Проекция призмы грунта на плоскость резания  
**Fig. 2.** Soil prism projection to the cutting plane

Давление в точке  $D^I$  максимально, обозначим его  $\sigma_B$ , аналогично верхнему давлению в работе [10]. На свободной поверхности (грани  $BB^I A^I$ )  $\sigma = 0$ ; считаем, что в пределах пирамиды давление меняется линейно от 0 до  $\sigma_B$ . При вычислениях сил  $F$ , действующих на треугольники пирамиды, основываясь на линейности и интегральной формуле Симпсона, считаем, что среднее давление

$$\sigma_{cp} = \frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}{3}; F = \sigma_{cp} S_{\Delta}, \quad (6)$$

где  $\sigma_1 \dots \sigma_3$  – давления в вершинах пирамиды.

Находим касательные силы вдоль боковых граней пирамиды сдвига, используя формулы (3 – 5).

Для грани  $A^I B D^I$  среднее давление

$$\sigma_{cp} = \frac{0 + 0 + \sigma_B}{3} = \frac{\sigma_B}{3},$$

а касательная сила трения

$$F_1 = \frac{\sigma_B}{3} \operatorname{tg} \mu S_{A^I B D^I} = \frac{l H_{\pi}}{2} \frac{\sigma_B}{3} \operatorname{tg} \mu \frac{f}{\cos \gamma}. \quad (7)$$

Для грани  $BB^I D^I$  тоже  $\sigma_{cp} = \frac{\sigma_B}{3}$ , а касательная сила по закону Кулона-Мора

$$F_2 = \left( c + \frac{\sigma_B}{3} \operatorname{tg} \Theta \right) S_{BB^I D^I} = \left( c + \frac{\sigma_B}{3} \operatorname{tg} \Theta \right) \frac{l H_{\pi} \sin \delta}{2 \sin \beta}. \quad (8)$$

Для грани  $B^I A^I D$  аналогично

$$F_3 = \left( c + \frac{\sigma_B}{3} \operatorname{tg} \Theta \right) \frac{l H_{\pi}}{2} \cos \delta. \quad (9)$$

Учитывая направление сдвигов, описанное в начале статьи, находим суммарную составляющую этих сил  $\Phi_y$ , перпендикулярную основанию  $A^I B B^I$  (вдоль оси  $OY$ , как в работе [10]):

$$\begin{aligned} \Phi_y &= F_1 \cos \gamma + (F_2 + F_3) \sin \beta = \\ &= \frac{l H_{\pi}}{2} \left[ \frac{\sigma_B}{3} f \operatorname{tg} \mu + \left( c + \frac{\sigma_B}{3} \operatorname{tg} \Theta \right) \times \right. \\ &\quad \left. \times (\sin \delta + \cos \delta \sin \beta) \right]. \quad (10) \end{aligned}$$

Находим суммарную составляющую сил давления  $N_y$  на боковые грани пирамиды сдвига (тоже вдоль оси  $OY$ ). Для треугольника это будет

$$S_{\Delta} \sigma_{cp} \cos \varphi_y = S_{\text{пр}} \sigma_{cp},$$

где  $\varphi_y$  – угол нормали (составляющей давления) с осью  $OY$ ;  $S_{\text{пр}}$  – площадь проекции треугольника на плоскость  $A^I B^I B$ .

Алгебраическая сумма проекций боковых граней пирамиды сдвига (с учетом знаков направляющих косинусов нормалей) дает основание  $A^I B^I B$ , а  $\sigma_{cp} = \frac{\sigma_B}{3}$  для любой боковой грани. Значит

$$N_y = \frac{\sigma_B}{3} S_{A^I B^I B} = \frac{\sigma_B}{3} \frac{l^2}{4} \sin 2\delta. \quad (11)$$

**Уравнения для геометрических параметров пирамиды сдвига**

Из условия равенства  $N_y = \Phi_y$  получаем уравнения для высоты призмы  $H_{\text{п}}$  и угла сдвига грунта  $\beta$ :

$$\frac{lH_{\text{п}} \sigma_{\text{в}}}{2 \cdot 3} \left[ f \operatorname{tg} \mu + \left( \frac{3c}{\sigma_{\text{в}}} + \operatorname{tg} \Theta \right) (\sin \delta + \cos \delta \sin \beta) \right] = \frac{\sigma_{\text{в}} l^2}{3 \cdot 4} \sin 2\delta.$$

Деля это равенство на  $\frac{lH_{\text{п}} \sigma_{\text{в}}}{2 \cdot 3} \sin 2\delta$  с учетом зависимости (1) получим уравнение для  $\beta$ :

$$M_1 + C_1 \sin \beta = \operatorname{ctg} \beta + \operatorname{tg} \gamma, \quad (12)$$

где

$$M_1 = \frac{3c}{\sigma_{\text{в}}} + \operatorname{tg} \Theta + \frac{f \operatorname{tg} \Theta}{\sin \delta};$$

$$C_1 = \operatorname{ctg} \delta \left( \frac{3c}{\sigma_{\text{в}}} + \operatorname{tg} \Theta \right). \quad (13)$$

Найдем оптимальное приближенное решение для уравнения (12). При  $\beta = 55^\circ$  равенство (12) превращается в равенство (с точностью до сотых)

$$0,82C_1 + M_1 = 0,7 + \operatorname{tg} \gamma.$$

При  $\gamma \leq 35^\circ$  и  $55^\circ \leq \beta \leq 125^\circ$  можно принять  $\sin \beta \approx 0,9$  (с ошибкой  $\leq 10\%$ ), а угол  $\beta$  не может принимать значения  $\beta \geq 125^\circ = 90 + \gamma$  (Рис.2).

Итак, запишем условие (12) в виде

$$0,82C_1 + M_1 = 0,7 + \operatorname{tg} \gamma. \quad (14)$$

Из монотонности по  $\beta$  левой и правой частей равенства (12) следует, что нет корней уравнения (12)  $\beta \leq 55^\circ$ . Из выше сказанного получаем, что

$$\operatorname{ctg} \beta + \operatorname{tg} \gamma = 0,9C_1 + M_1, \quad (15)$$

где  $\sin \beta \approx 0,9$  (с точностью до 10 %).

Тогда высота призмы будет

$$H_{\text{п}} = \frac{l \cos \delta}{0,9C_1 + M_1}, \quad (16)$$

где  $M_1$  и  $C_1$  определяются из равенств (13).

Если условие (14) не выполняется, то корень  $\beta \leq 55^\circ$  и тогда

$$H_{\text{п}} = \frac{l \cos \delta}{\operatorname{ctg} \beta + \operatorname{tg} \gamma} \leq \frac{l \cos \delta}{0,7 + \operatorname{tg} \gamma}.$$

То есть, высота призмы  $H_{\text{п}}$  сравнима по величине с  $AB$  и по предположению о сравнительных размерах  $AB$  и  $BC$  (поскольку ширина ножа гораздо больше его длины) величиной  $H_{\text{п}}$  можно пренебречь.

Итак, при условии (14) параметры пирамиды сдвига ищем из равенств (15) и (16), а при нарушении его – пирамидой сдвига пренебрегаем. Отметим, что угол сдвига грунта  $\beta$  можно вычислять и при  $\gamma \leq 35^\circ$ , исключая при этом посторонние корни уравнения (12).

Как сказано вначале, призма не перекрывает в продольном направлении весь нож (то есть  $A^I D^I \angle A^I C^I$ ):  $\frac{H_{\text{п}}}{\cos \gamma} \leq b$  или, что следует из соотношения (16),

$$l \cos \delta \leq b \cos \gamma (0,9C_1 + M_1), \quad (17)$$

где  $M_1$  и  $C_1$  вычисляются по формулам (13).

**Определение сил, действующих на нож**

Найдем боковую составляющую  $\Phi_y$  суммарной силы резания на передней грани ножа.

В работе [10] эта боковая составляющая для закрытого резания (при отсутствии выхода грунта в боковые прорези) определяется как

$$F_y = lb \sin \delta \sin \gamma \frac{\sigma_B}{2}. \quad (18)$$

Теперь мы должны вычесть часть  $F_y$  вдоль треугольника  $A^I B D^I$  (см. Рис.1), соответствующую падению давления  $\sigma_{cp}$  от величины  $\frac{2\sigma_B}{3}$  до  $\frac{\sigma_B}{3}$  на этом треугольнике и добавить появившуюся составляющую силы трения (поскольку теперь присутствует пирамида, смещающаяся в сторону). Эта первая часть равна

$$\Phi_{y_1} = l \frac{H_{II}}{\cos \gamma} \sin \delta \sin \gamma \frac{\sigma_B}{6}.$$

Здесь вместо значения  $b = A^I C^I$  будет  $A^I D^I = \frac{H_{II}}{\cos \gamma}$ ; появляется  $\frac{1}{2}$ , так как падение давления происходит на треугольнике.

Вторая часть (по трению) равна

$$\Phi_{y_2} = - \left( \frac{1}{2} l \frac{H_{II}}{\cos \gamma} f \right) \left( \frac{2\sigma_B}{3} \right) \text{tg} \mu \cos \gamma.$$

В скобках здесь соответственно площадь  $A^I B D^I$  и среднее напряжение  $\sigma_{cp}$ ; значение  $(-\cos \gamma)$  соответствует направлению силы трения относительно оси  $OY$ .

В результате имеем

$$\Phi_y = F_y - \Phi_{y_1} + \Phi_{y_2} = \frac{1}{6} l \sigma_B \times \left[ \sin \delta \sin \gamma \left( 3b - \frac{H_{II}}{\cos \gamma} \right) - 2 f H_{II} \text{tg} \mu \right]. \quad (19)$$

Находим вертикальную составляющую (направленную вниз)  $\Phi_z$ :

$$\Phi_z = F_z - \Phi_{z_1} - \Phi_{z_2},$$

где (см. работу [10]):

$$F_z = lb \cos \delta \frac{\sigma_B}{2} T$$

– значение составляющей закрытого резания без пирамиды сдвига (здесь  $T = \cos \gamma - f \text{tg} \mu \text{tg} \delta$ ).

Аналогично:

$$\Phi_{z_1} = \frac{l H_{II}}{\cos \gamma} \cos \delta \frac{\sigma_B}{6} \cos \gamma$$

– уменьшение  $\sigma_{cp}$  на  $A^I B D^I$  без учета трения;

$$\Phi_{z_2} = - \left( \frac{l H_{II} f}{\cos \gamma} \right) \left( \frac{2\sigma_B}{3} \right) \text{tg} \mu \sin \delta$$

– часть составляющей трения в  $F_z$ , соответствующая треугольнику  $A^I B D^I$ , которой теперь (для треугольника  $A^I B D^I$ ) не будет. Составляющая по оси  $OZ$  для трения при возникшем боковом сдвиге будет равна нулю.

Итак,

$$\Phi_z = \frac{\sigma_B}{6} l \left[ \cos \delta (3b \cos \gamma - H_{II}) - f \sin \delta \text{tg} \mu \left( 3b - \frac{2H_{II}}{\cos \gamma} \right) \right]. \quad (20)$$

Находим горизонтальную составляющую  $\Phi_x$  (направлена противоположно оси  $OX$ ), равную силе резания:

$$\Phi_x = F_x - \Phi_{x_1} - \Phi_{x_2} + \Phi_{x_3}, \quad (21)$$

где  $F_x = \frac{\sigma_B}{2} lb [f \cos \delta \text{tg} \mu + \sin \delta \cos \gamma]$  – такая же составляющая для закрытого резания (см. работу [10]). Аналогично предыдущим рассуждениям:

$$\Phi_{x_1} = \frac{l H_{II}}{\cos \gamma} \frac{\sigma_B}{6} \sin \delta \cos \gamma$$

– аналог  $\Phi_y$ , только вдоль горизонтали  $OX$ ;

$$\Phi_{x_2} = \frac{\sigma_B}{3} \frac{lH_{\Pi}}{\cos \gamma} \operatorname{tg} \mu \cos \delta$$

– это сила трения грунта вдоль плоскости  $A^I B D^I$ , которая есть в составляющей закрытого резания  $F_x$ , но отсутствует при открытом резании (свободном выходе грунта в боковые прорезы);

$$\Phi_{x_3} = \frac{\sigma_B}{3} \frac{lH_{\Pi}}{\cos \gamma} f \operatorname{tg} \mu \sin \gamma$$

– составляющая по оси  $Ox$  силы трения бокового сдвига на  $A^I B D^I$ , возникшая при открытом резании.

Подставляя все эти слагаемые в равенство (21), получим горизонтальную составляющую (силу резания грунта):

$$\Phi_x = \frac{\sigma_B l}{6} \left[ H_{\Pi} \left( 2f \operatorname{tg} \mu \left( \operatorname{tg} \gamma - \frac{\cos \delta}{\cos \gamma} \right) - \sin \delta \right) + 3b(\sin \delta \cos \gamma + f \operatorname{tg} \mu \cos \delta) \right] \quad (22)$$

где  $f = \sqrt{1 - \sin^2 \gamma \cos^2 \delta}$ ;

$$H_{\Pi} = \frac{l \cos \delta}{0,9 \operatorname{ctg} \delta \left[ \frac{3c}{\sigma_B} + \operatorname{tg} \Theta \right] + \frac{3c}{\sigma_B} + \operatorname{tg} \Theta + \frac{f \operatorname{tg} \mu}{\sin \delta}}$$

– из формул (16) и (13);

$$\sigma_B = \frac{1,8 \operatorname{tg} \delta \operatorname{tg} \Theta (1 + \omega_0) \cos \gamma}{aT} + \sqrt{\frac{3,2 \operatorname{tg} \delta (1 + \omega_0) c}{aT}}$$

– из формулы (26) работы [10];

$$T = \cos \gamma - f \operatorname{tg} \mu \operatorname{tg} \delta.$$

## ВЫВОДЫ

1. Разработана математическая модель процесса косоугольного резания в глубине массива широким острым ножом при дви-

жении грунта по лобовой грани при открытой боковой поверхности (возможности выхода грунта в технологические прорезы по сторонам ножа).

2. Модель позволяет определить сопротивление резанию и тяговое усилие на рабочем органе в зависимости от геометрических параметров процесса, угла трения грунта по ножу и прочностных характеристик грунта.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Баладинский В.Л., Сукач М.К., 1999. Подводные строительные работы. Учеб. пособ. Киев, ИСМО, 224.
2. Баловнев В.И., 1981. Моделирование процессов взаимодействия со средой рабочих органов дорожно-строительных машин. Учеб. пособ., Высшая школа, 335.
3. Ветров Ю.А., 1971. Резание грунтов землеройными машинами. Москва, Машиностроение, 360.
4. Вялов С.С., 1978. Реологические основы механики грунтов. Москва, Высшая школа, 447.
5. Кравець С.В., 1999. Грунтозахисні та енергозберігаючі машини для прокладки підземних комунікацій. Рівне, Видавництво РДТУ, 277.
6. Кравець С.В., 2008. Теорія руйнування робочих середовищ. Навч. посіб. Рівне, НУВГП, 124.
7. Кравець С.В., Ткачук В.Ф., Маланчук З.Р., 2007. Многоярусное разрушение массива горных пород. Монография, Ровно, НУВГП, 272.
8. Смирнов В.Н., 1993. Повышение эффективности рабочих органов землеройных машин. Киев, Полиэкс, 144.
9. Сукач М.К., 2004. Рабочие процессы глубоководных машин. Київ, Наукова думка, 364.
10. Сукач М.К., 2019. Модель щелевого резания грунта под геостатическим давлением. Підводні технології, Вип.09, 13-25.
11. Сукач М.К., Комоцька С.Ю., 2017. Прогнозування зусиль різання ґрунтів по геологічним кернам. Матеріали III міжнар. наук.-практ. конф. Underwater Technologies 2017, 28.
12. Сукач М.К., Лисак С.І., 2010. Дослідження кінематичних параметрів процесу роботи траншейної машини. Матеріали 2 міжнар. наук.-практ. конф. Сучасні інформаційні та інноваційні



- технології на транспорті (MINTT-2010), Херсон, ХДМІ, 22.
13. **Сукач М.К., Литвиненко І.М., 2013.** Вимірювання параметрів косокутного різання масиву ґрунту. Матеріали 7-ї наук. конф. молодих вчених КНУБА, 14.
  14. **Сукач М.К., Новіков Р.Ю., 2012.** Технологія утворення щілин під техногенними об'єктами. Матеріали 73-ї наук.-практ. конф. КНУБА, Київ, 24.
  15. **Сукач М.К., Пузаков Д.В., 2009.** Опір робочого середовища просторово орієнтованому ножу. Київ, КНУБА, Матеріали 3-ї наук.-практ. конф. молодих вчених КНУБА, 46.
  16. **Уродов В.И., 1972.** Физические основы глубокого резания грунтов. Минск, Наука и техника, 232.
  17. **Хмара Л.А., Кравець С.В., Нічке В.В. та ін., 2010.** Машини для земляних робіт. Навч. посіб. Рівне–Дніпропетровськ–Харків, 557.
  10. **Sukach M.K., 2019.** Model' shhelevogo rezanija grunta pod geostaticeskim davleniem. Underwater Technologies, Iss.09, 13-25 (in Russian).
  11. **Sukach M.K., Komoc'ka S.Ju., 2017.** Prognozuvannja zusil' rizannja rruntiv po geologichnim kernam. Materiali III mizhnar. nauk.-prakt. konf. Underwater Technologies 2017, 28 (in Ukrainian).
  12. **Sukach M.K., Lisak S.I., 2010.** Doslidzhen-nja kinematichnih parametriv procesu roboti transhejnoї mashini. Materialy 2 mizhnar. nauk.-prakt. konf. Suchasni informacijni ta innovacijni tehnologії na transporti (MINTT-2010), Kherson, HDMI, 22 (in Ukrainian).
  13. **Sukach M.K., Litvinenko I.M., 2013.** Vimirjuvannja parametriv kosokutnogo rizannja masivu rruntu. Materialy 7 nauk. konf. molodyh vchenih KNUBA, 14 (in Ukrainian).
  14. **Sukach M.K., Novikov R.Ju., 2012.** Tehnologija utvorennya shhilin pid tehnogennymy ob'ektamy. Materiali 73 nauk.-prakt. konf. KNUBA, Kiiv, 24 (in Ukrainian).
  15. **Sukach M.K., Puzakov D.V., 2009.** Opir robochogo seredovishha prostorovo orієntovanomu nozhu. Kyiv, KNUBA, Materialy 3 nauk.-prakt. konf. molodih vchenih KNUBA, 46 (in Ukrainian).
  16. **Urodov V.I., 1972.** Fizicheskie osnovy glubokogo rezanija gruntov. Minsk, Nauka i tehnika, 232 (in Russian).
  17. **Khmara L.A., Kravec' S.V., Nichke V.V. ta in., 2010.** Mashini dlja zemljanih robit. Navch. Posib. Rivne–Dnipropetrovs'k–Harkiv, 557 (in Ukrainian).

REFERENCES

1. **Baladinskij V.L., Sukach M.K., 1999.** Podvodnye stroitel'nye raboty. Ucheb. posob. Kyiv, ISMO, 224 (in Russian).
2. **Balovnev V.I., 1981.** Modelirovanie processov vzaimodejstvija so sredoj rabochih organov dorozhno-stroitel'nyh mashin, Ucheb. posob. Vysshaja shkola, 335 (in Russian).
3. **Vetrov Ju.A., 1971.** Rezanie gruntov zemlerojnymi mashinami. Moskva, Mashinostroenie, 360 (in Russian).
4. **Vjalov S.S., 1978.** Reologicheskie osnovy mehaniki gruntov. Moskva, Vysshaja shkola, 447 (in Russian).
5. **Kravec' S.V., 1999.** Gruntozahisni ta energozberigajuchi mashini dlja prokladki pidzemnih komunikacij. Rivne, Vidavnictvo RDTU, 277 (in Ukrainian).
6. **Kravec' S.V., 2008.** Teorija rujnuvannja robochih seredovishh. Navch. posib. Rivne, NUVGP, 124 (in Ukrainian).
7. **Kravec' S.V., Tkachuk V.F., Malanchuk Z.R., 2007.** Mnogojarusnoe razrushenie massiva gornyh porod. Monografija, Rovno, NUVGP, 272 (in Russian).
8. **Smirnov V.N., 1993.** Povyshenie jeffektivnosti rabochih organov zemlerojnyh mashin. Kiev, Polijeks, 144 (in Russian).
9. **Sukach M.K., 2004.** Rabochie processy glubokovodnyh mashin. Kyiv, Naukova dumka, 364 (in Russian).

**Crevice cutting soil with free lateral outflow**

*Mykhailo Sukach*

**Abstract.** Under conditions of cutting the soil in the depths of the array, with limited soil outflow on the sides of the wide knife, the pressure plot on its front face has an approximately triangular shape. At small cutting angles, deformation and extrusion of soil occurs mainly in the crevices of the slit in the vertical direction. Earlier, the author obtained analytical dependencies of the grant pressure on the upper edge of a straight flat knife have been established. With the formation of a slit with a wide sharp knife installed at a certain angle in the plane relative to the direction of its movement (in the absence of lateral outflow), dependences of the

cutting forces of the soil on the magnitude of its porosity and deformation zone were obtained.

The aim of the study is to establish the force dependences of slotted soil cutting with a wide oblique knife with the possibility of free exit of soil into the side technological slots.

In this work, as in the model, it is assumed that the process of cutting the soil is quasistatic. It is carried out by an oblique wide flat knife with a sufficiently small cutting angle, usually not exceeding 20. We assume that the entire volume of soil is spent on its movement along the surface of the knife without forming a compaction core or a plastic zone on the frontal face.

The difference of this model is that the soil, moving along the knife, can freely move into the side slots (at least equal to its height), formed by the technological equipment of pre-drilled wells along which the knife moves. That is, the sides of the knife are free to pass excess soil moving along its surface.

**Key words:** slot cutting, dozer blade, geostatic pressure, soil deformation, free lateral outburst.