

М.В. Таран^{1,a}, М.Е. Утеев¹

¹Казахская академия транспорта и коммуникаций им. М. Тынышпаева, г. Алматы, Казахстан,
^atmv_house@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗНОСА РЕЖУЩЕЙ ЧАСТИ ОТВАЛОВ АВТОГРЕЙДЕРОВ В РАЗЛИЧНЫХ УСЛОВИЯХ

Аннотация. В работе приводятся результаты испытаний режущей части отвалов автогрейдеров в различных грунтовых условиях.

Аңдатпа. Жұмыста әртүрлі топырақ жағдайында автогрейдер отвалдарының кесу бөлімдерін сынау нәтижелері келтірілген.

Abstract. The paper gives the results of tests of the cutting part of the motor graders dumps in various ground conditions.

Ключевые слова: Автогрейдер, режущие элементы, элементы износа, грунт.

Түйінді сөздер: Автогрейдер, кесу элементтері, тозу элементтері, топырақ.

Keywords: Motor grader, cutting elements, wear parts, ground.

В общем объеме строительства земляные работы имеют значительный удельный вес. При этом при производстве земляных работ не последнее место занимают автогрейдеры.

Классификация основных направлений совершенствования рабочих органов автогрейдеров и других землеройных машин и их характеристика достаточно подробно рассмотрена в работах как российских, так и казахстанских ученых. Они отмечают, что повышение эффективности машин может быть достигнуто на этапах проектирования, изготовления и эксплуатации. Эксплуатационные свойства автогрейдеров в значительной мере зависят от состояния системы: рабочее оборудование – грунт.

Режущие элементы (РЭ) автогрейдеров, как детали, непосредственно контактирующие с абразивной средой, подвергаются значительному изнашиванию. Оптимальные геометрические формы и размеры РЭ, установленные многолетними теоретическими и экспериментальными исследованиями, значительно изменяются по причине абразивного изнашивания, приводя к повышению затрат энергетических, материальных и трудовых ресурсов [1].

Исходя из вышесказанного, направление дальнейшего повышения эффективности автогрейдеров на основе совершенствования рабочих элементов с учетом их износостойкости можно считать актуальной задачей.

Эксплуатируемые в настоящее время РЭ автогрейдеров, имеющие в сечении форму клина, могут характеризоваться следующими геометрическими элементами износа [2]: закругленной площадкой износа передней грани клина или угловым износом, измеряемой радиусом закругления r , плоской площадкой затупления, расположенной под отрицательным углом φ к плоскости резания и измеряемой шириной площадки a . Помимо этого износ может характеризоваться потерей высоты лезвия или линейным износом l , а также комплексным параметром износа – приведенным размером S , объединяющим величины r , a и φ (рисунок 1).

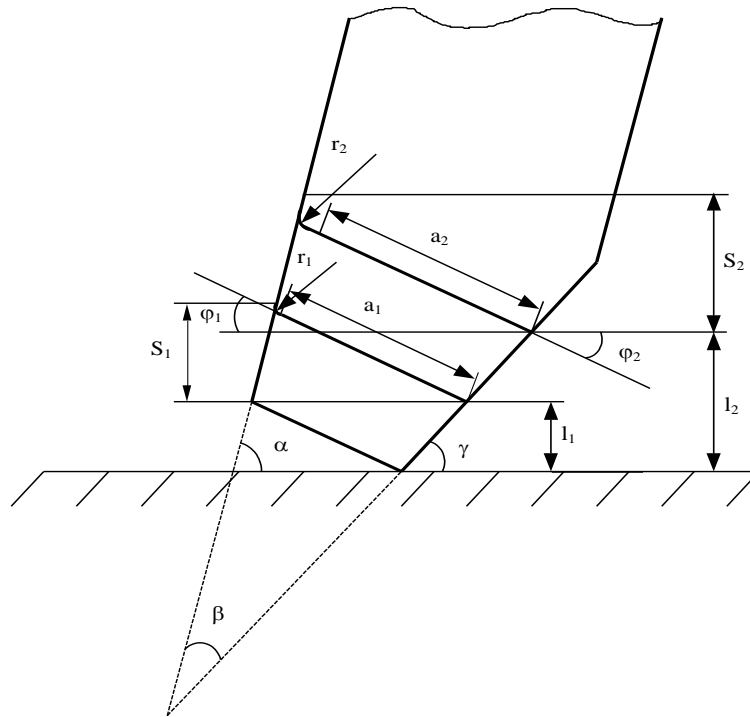


Рисунок 1 - Геометрические элементы износа ножа отвала автогрейдера

r – радиус закругления лезвия; a – площадка износа; φ – угол наклона площадки износа; S – приведенный размер износа; l – линейный износ ножа; α – угол резания; β – угол заострения лезвия; γ – задний угол.

Однако выяснилось, что в разных грунтовых условиях определяющую роль играют разные элементы износа. А для того, чтобы учитывать все эти случаи единой формулой необходимо использовать комплексный приведенный размер износа – S .

Для того чтобы увязать приведенный размер износа S с радиусом закругления r , площадкой износа a и углом наклона площадки φ , рассмотрим схему изношенного лезвия на рисунке 2.

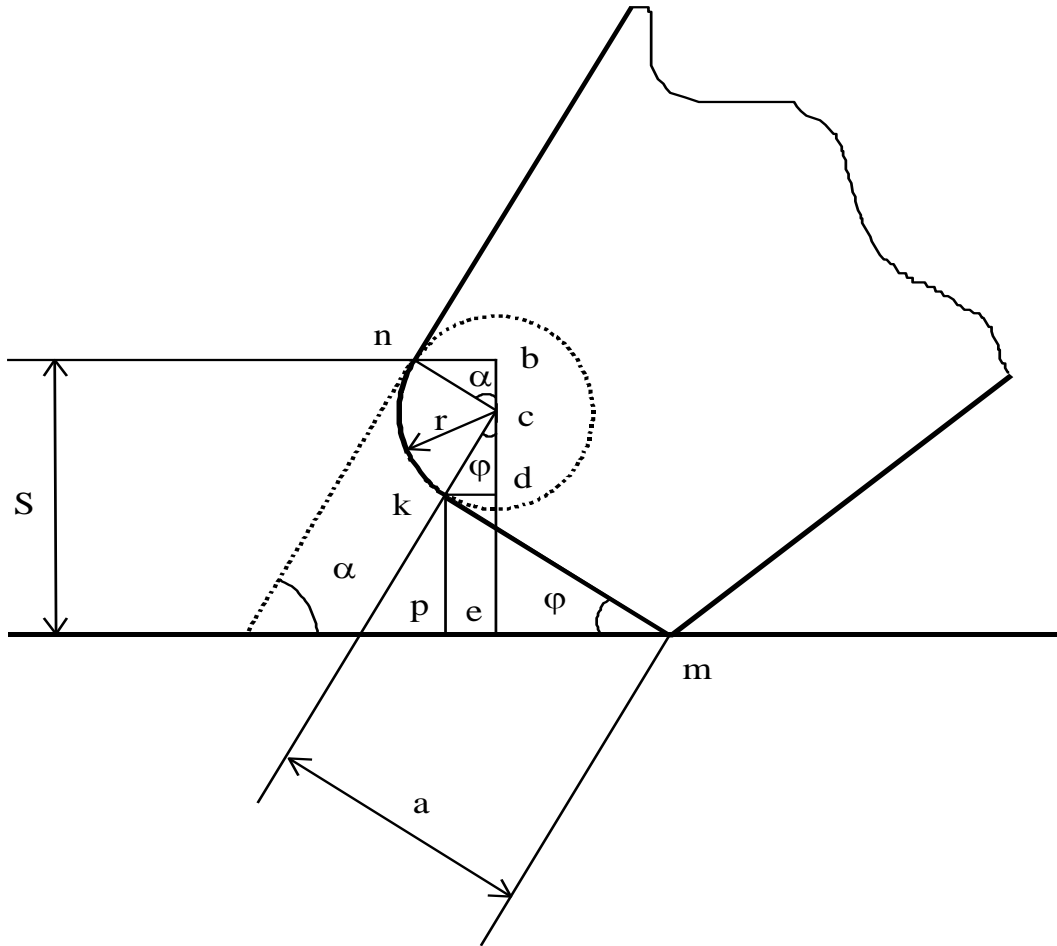


Рисунок 2 - Схема для определения приведенного размера износа

Как видно из схемы, размер S складывается из отрезков $bc + cd + de$, где $bc = nc \cdot \cos \alpha = r \cdot \cos \alpha$; $cd = ck \cdot \cos \varphi = r \cdot \cos \varphi$; $de = kp = km \cdot \sin \varphi = a \cdot \sin \varphi$.

Тогда

$$S = bc + cd + de = r \cdot \cos \alpha + r \cdot \cos \varphi + a \cdot \sin \varphi,$$

откуда

$$S = r \cdot (\cos \alpha + \cos \varphi) + a \cdot \sin \varphi. \quad (1)$$

Формулу (1) можно упростить, если установить взаимосвязь величин изменения r , a и φ . А это возможно сделать, если будут известны закономерности их изменения в зависимости от объема выполненной работы в разных категориях грунтов. Эти закономерности можно также использовать для прогнозирования характера износа ножей в процессе их эксплуатации и контроля за этим процессом. Поэтому на основе данных таблицы 1 были построены графики и выведены уравнения вышеупомянутых зависимостей.

Таблица 1 - Изменение геометрических параметров ножей автогрейдеров при работе в различных грунтах

№ пп	Грунтовые условия и вид работ	Категории грунта, С	Средний объем разраб. грунта, V, тыс.м ³	Радиус затупления, r, мм	Площадка износа, a, мм	Угол наклона площадки износа, φ , град.	Приведенный размер износа, S, мм
------	-------------------------------	---------------------	---	--------------------------	------------------------	---	----------------------------------

1.	Разработка и перемещение песчаных грунтов	3 – 5	1,5	0	17	22	
		– «» –	3,0	0	20	16	
		– «» –	9,9	0	27	6	
2.	Разработка и перемещение супесчаных грунтов	10 – 15	1,5	3,0	14	20	9,0
		– «» –	3,0	3,5	18	13	10,2
		– «» –	7,2	4,5	21	9	13,3
3.	Разработка и перемещение суглинков	14 – 16	1,5	3,5	10	14	8,0
		– «» –	3,0	4,0	12	17	9,5
		– «» –	8,5	6,0	17	20	14,5
4.	Разработка и перемещение тяжелых суглинков и глин	18 – 20	1,5	3,0	9	10	8,0
		– «» –	3,0	4,0	10	16	9,5
		– «» –	14,4	8,0	16	18	20,0
5.	Разработка глин, суглинков с включениями	20 – 30	1,5	6,0	9	19	
		– «» –	3,0	8,0	12	22	
		– «» –	3,8	10,0	11	30	
Примечание: Элементы износа r , a , φ измерялись на крайних ножах; материал ножей – сталь 65Г2							

Полученные уравнения регрессии зависимости радиуса закругления лезвия r и площадки износа a от объема выработанного грунта V сведены в таблицу 2.

Из уравнений регрессии можно сделать следующие выводы:

- глиносодержащие породы (суглинки и глины) без включений имеют близкие друг другу зависимости $r = f(V)$ и $a = f(V)$;
- суглинки и глины с включениями характеризуются более интенсивным ростом радиуса закругления лезвия r с увеличением объема выработанного грунта V и существенным разбросом данных, что обусловлено, по-видимому, хаотичным характером включений, снижающим достоверность результатов вычислений по полученным формулам;
- износ по радиусу закругления r лезвий ножей при работе в песчаных грунтах не проявляется, а в супесях проявляется с меньшей интенсивностью, чем в глиносодержащих грунтах. Изменение площадки износа в песках и супесях также отличается интенсивностью от глиносодержащих грунтов.

Таблица 2 - Уравнения регрессии для определения геометрических параметров износа ножей автогрейдеров

№№ пп.	Грунтовые условия	Радиус затупления, r	Площадка износа, a	Угол наклона площадки износа, φ
1.	Песок	$r = 0$	$a = 16 + 1,20 \cdot V$	$\varphi = 23 - 1,90 \cdot V$
2.	Супесь	$r = 2,7 + 0,26 \cdot V$	$a = 12 + 1,20 \cdot V$	$\varphi = 20 - 1,20 \cdot V$
3.	Суглинки	$r = 2,7 + 0,36 \cdot V$	$a = 8 + 0,99 \cdot V$	$\varphi = 12 + 0,90 \cdot V$
4.	Тяжелые суглинки и глины	$r = 2,7 + 0,38 \cdot V$	$a = 8 + 0,80 \cdot V$	$\varphi = 11 + 0,80 \cdot V$
5.	Суглинки и глины с включениями	$r = 3,2 + 1,80 \cdot V$	$a = 8 + 0,85 \cdot V$	$\varphi = 11 + 4,70 \cdot V$

Приведенные уравнения подтверждают ранее сделанные выводы о том, что изменение элементов износа в глиносодержащих грунтах может быть выражено обобщенными формулами. Кроме того, видно, что в песчаных и супесчаных грунтах величина φ с увеличением V уменьшается, а в глиносодержащих грунтах – увеличивается.

Итак, истинное значение угла наклона φ заключено в доверительном интервале $14,6^\circ \leq \varphi_{ист} \leq 15,6^\circ$. Следовательно, допустимо принять для всех грунтов, за исключением грунтов с включениями, среднюю величину угла $\varphi = 15^\circ$.

Подставив среднюю величину угла φ в формулы для определения сопротивления резанию грунта на площадке, заменяющей закругленную зону износа r P'_2 и сопротивления резанию грунта на площадке износа a P'_3 получим:

$$P'_2 = N_2 \cdot \sin(\varphi + 45^\circ) \cdot \left(1 + f \cdot \sqrt{\frac{1}{\sin^2(\varphi + 45^\circ)} - 1} \right) = N_2 \cdot \sin 60^\circ \cdot (1 + f \times \sqrt{\frac{1}{\sin^2 60^\circ} - 1}) = N_2 \cdot \sin 60^\circ \cdot (1 + 0,574f) = \sigma_x \cdot B_n \cdot \frac{r}{\cos 45^\circ} \cdot (1 + 0,574 \times f) = B_n \cdot \frac{r}{\cos 45^\circ} \cdot (1 + 0,574f) \cdot \frac{1 - \sin \rho \cdot \cos 2\varphi_n}{1 + \sin \rho \cdot \cos 2\varphi_n} \cdot (C_o \cdot \cos \rho + \gamma_n \times \frac{r \cdot \sin 60^\circ}{2 \cdot \cos 45^\circ}) = B_n \cdot 1,43r \cdot (1 + 0,574f) \cdot \frac{1 - \sin \rho \cdot \cos 2\varphi_n}{1 + \sin \rho \cdot \cos 2\varphi_n} \cdot (C_o \cdot \cos \rho + \gamma_n \cdot 0,62r). \quad (2)$$

$$P'_3 = N_3 \cdot \sin \varphi \cdot \left(1 + f \cdot \sqrt{\frac{1}{\sin^2 \varphi} - 1} \right) = N_2 \cdot \sin 15^\circ \cdot (1 + f \times \sqrt{\frac{1}{\sin^2 15^\circ} - 1}) = N_2 \cdot \sin 15^\circ \cdot (1 + 3,73f) = \sigma_x \cdot B_n \cdot a \cdot (1 + 3,73 \times f) = B_n \cdot a \cdot (1 + 3,73f) \cdot \frac{1 - \sin \rho \cdot \cos 2\varphi_n}{1 + \sin \rho \cdot \cos 2\varphi_n} \cdot (C_o \cdot \cos \rho + \gamma_n \times \frac{a \cdot \sin 60^\circ}{2}) = B_n \cdot a \cdot (1 + 3,73f) \cdot \frac{1 - \sin \rho \cdot \cos 2\varphi_n}{1 + \sin \rho \cdot \cos 2\varphi_n} \cdot (C_o \cdot \cos \rho + \gamma_n \cdot 0,13a). \quad (3)$$

В целом величина полного сопротивления резанию P_{PK} будет:

$$P_{PK} = B_n \cdot \left[(h - S) \cdot \left(1 + f \cdot \sqrt{\frac{1}{\sin^2 \alpha} - 1} \right) + 1,43r \cdot (1 + 0,574f) + a \cdot (1 + 3,73f) \right] \cdot \frac{1 - \sin \rho \cdot \cos 2\varphi_n}{1 + \sin \rho \cdot \cos 2\varphi_n} \cdot \left[3 \cdot C_o \cdot \cos \rho + \gamma_n \cdot \left(\frac{h - S}{2} + 0,62r + 0,13a \right) \right] + 2 \cdot (K_c \cdot B_k \cdot h \cdot \mu + \varepsilon \cdot B_k \cdot h \cdot \mu \cdot v^2). \quad (4)$$

А формулу (1) можно представить в виде:

$$S = r \cdot (\cos \alpha + \cos 15^\circ) + a \cdot \sin 15^\circ;$$

отсюда

$$S = r \cdot (0,97 + \cos \alpha) + 0,26 \cdot a. \quad (5)$$

Подставим в формулу (5) найденные уравнения $r = f(V)$ и $a = f(V)$. Для супесчаных грунтов получим:

$$\begin{aligned} S &= (2,7 + 0,26 \cdot V) \cdot (0,97 + \cos \alpha) + 0,26 \cdot (12 + 1,2 \cdot V) = \\ &= 2,7 \cdot 0,97 + 2,7 \cdot \cos \alpha + 0,26 \cdot V \cdot 0,97 + 0,26 \cdot V \cdot \cos \alpha + 0,26 \cdot 12 + \\ &+ 0,26 \cdot 1,2 \cdot V = 2,61 + 2,7 \cdot \cos \alpha + 0,25 \cdot V + 0,26 \cdot V \cdot \cos \alpha + 3,12 + 0,31 \cdot V = \\ &= 5,73 + 0,56 \cdot V + 0,26 \cdot V \cdot \cos \alpha + 2,7 \cdot \cos \alpha = (5,73 + 2,7 \cdot \cos \alpha) + \\ &+ (0,26 \cdot V \cdot \cos \alpha + 0,56 \cdot V) = 2,7 \cdot (2,13 + \cos \alpha) + 0,26 \cdot V \cdot (2,16 + \cos \alpha). \end{aligned}$$

Считаем, что $2,16 \approx 2,13$. Тогда

$$S = (2,7 + 0,26 \cdot V) \cdot (2,13 + \cos \alpha). \quad (6)$$

Аналогично для глиносодержащих грунтов после преобразований получаем:

$$S = (2,7 + 0,38 \cdot V) \cdot (1,70 + \cos \alpha). \quad (7)$$

По проделанной работе можно сделать следующие выводы:

1. Проведены производственные эксперименты, в результате которых установлены закономерности изменения геометрических параметров износа отвалов автогрейдеров в различных грунтах. Получены соответствующие уравнения.

2. Предложена формула для определения приведенного размера износа «S» в зависимости от «V», дающая возможность планировать и контролировать процесс отработки РЭ отвала.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Кабашев Р.А. Дорожные и строительные машины: абразивный износ рабочих органов землеройных машин. – Алматы: Галым, 1997. – 434 с.

[2] Таран М.В. Обоснование параметров и разработка конструкций ножей многолезвенового использования автогрейдера. / Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. – Алматы, 1999. – 22 с.