

УДК 626.8

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА УДАЛЕНИЯ ГРУНТА
ФРЕЗЕРНЫМИ РАБОЧИМИ ОРГАНАМИ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ
ЭКСПЛУАТАЦИОННО-РЕМОНТНЫХ РАБОТ НА ОРОСИТЕЛЬНЫХ КАНАЛАХ

Ф.К. Абдразаков, А.В. Поваров

Рассмотрен процесс взаимодействия лопаток торцевых фрез с разработанным грунтом наносов оросительных каналов и получено выражение по определению оптимальной ширины лопаток.

Ключевые слова: оросительный канал; эксплуатационно-ремонтные работы; наносы; грунт; фреза; лопатка; скорость; энергоёмкость.

DETERMINATION OF OPTIMUM PARAMETERS OF SOIL REMOVAL MILLING
WORKING BODIES IN CARRYING OUT OPERATIONAL
AND REPAIR WORK AT IRRIGATION CANALS

F.K. Abdrazakov, A.V. Povarov

The article describes the process of interaction with the blade end mills developed soil sediment of irrigation canals and obtained an expression to determine the optimal blade width.

Keywords: irrigation canal; operational and repair work; deposits; priming; milling machine; shovel; speed; energy consumption.

Введение. Использование систем орошения в России и зарубежных странах показало отрицательное воздействие неэффективной эксплуатации оросительных каналов, приводящее к негативным последствиям для окружающей природной среды [1, с. 282].

Нужно сказать, что для поддержания надёжной работы оросительных каналов Саратовской области применяются современные технологии и машины, которые позволяют своевременно и качественно выполнять эксплуатационные работы в срок [2, с. 49]. Эксплуатационно-ремонтные работы по удалению отложений и наносов из русла оросительных каналов выполняются как одноковшовыми экскаваторами, так и мелиоративными машинами с фрезерными рабочими органами, имеющими большие размеры, значительную энергоёмкость процесса и невозможность применения в труднодоступных местах [3, с. 77; 4, с. 128].

Исследования по созданию фрез с меньшими размерами и большим рабочим диапазоном достаточно актуальны, и требуют детального изучения [5, с. 23; 6, с. 20]. Предварительные результаты показали необходимость создания эффективных ножей и транспортирующих рабочих органов – ло-

паток, имеющих оптимальные геометрические параметры для удаления грунта из зоны разработки с наименьшими затратами энергии и наибольшей производительностью.

Методика исследований. Непременным условием эффективной работы лопаток фрез при очистке каналов от наносов является создание непрерывного транспортного потока разработанного грунта.

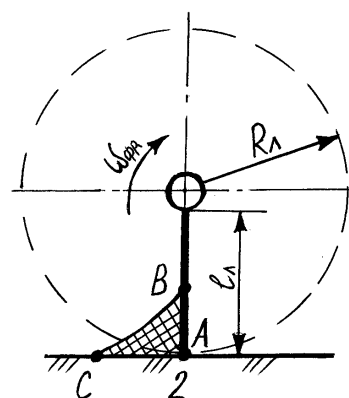


Рисунок 1 – Образование призмы грунта перед лопаткой фрезы

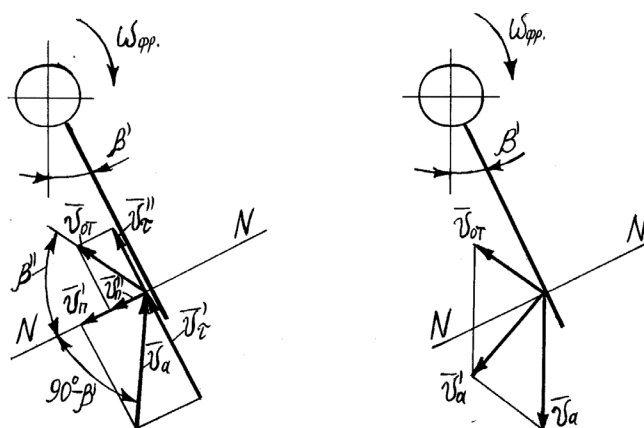


Рисунок 2 – Взаимодействие частицы грунта с лопаткой фрезы

При взаимодействии лопатки торцевой фрезы с разработанным грунтом наносов происходит его перемещение по ее рабочей поверхности с образованием призмы с площадью поперечного сечения ABC (рисунок 1) на всю ширину лопатки b_x [7, с. 37].

В момент соприкосновения лопатки с грунтом происходит удар. Сделаем допущение, что он является абсолютно неупругим и скорость грунта до удара равна нулю. Взаимодействие частицы грунта с лопаткой фрезы, имеющей некоторый угол β' относительно вертикали, и движущейся со скоростью v_a , показано на рисунке 2.

При движении частица грунта ударяется о неподвижную лопатку под углом $90^\circ - \beta'$ к нормали со скоростью u_a . Нормальные составляющие скорости частицы до и после удара связаны соотношением [8, с. 115]:

$$k_y = \frac{v''_n}{v'_n},$$

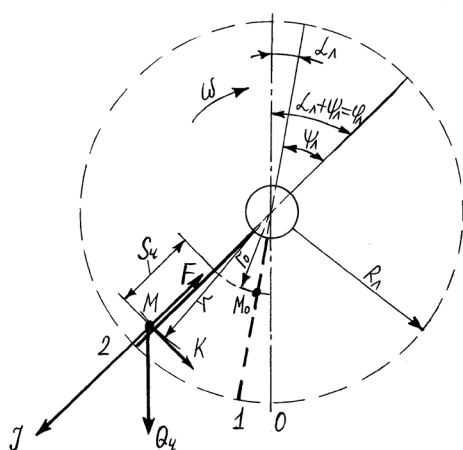


Рисунок 3 – Силы, действующие на частицу грунта на лопатке

где k_y – коэффициент восстановления грунтовой частицы.

Касательные составляющие относительной скорости частицы после удара v''_τ и до удара v'_τ найдём из соотношения:

$$v''_\tau = (1 - f_{m2}) v'_\tau, \quad (1)$$

где f_{m2} – мгновенный коэффициент трения.

Относительную скорость движения частицы грунта после удара определим из выражения:

$$v_{ot} = v_a \sqrt{\cos^2 \beta' (1 - f)^2 + k_y^2 \sin^2 \beta'}. \quad (2)$$

Необходимо найти абсолютную скорость движения частиц грунта после удара v'_a . Данная скорость равна векторной сумме относительной v_{om} и переносной v_a скоростей (рисунок 2):

$$v'_a = \sqrt{v_{ot}^2 + v_a^2 - 2v_{ot}v_a \cos(90^\circ + \beta' - \beta'')}. \quad (3)$$

После преобразования получим:

$$v'_a = v_a \left[1 + \cos^2 \beta' (1 - f)^2 + k_y \sin \beta' \left(1 - 2 \sqrt{\frac{v_{ot} v_a}{v_a^2}} \cos \beta' + k_y^2 \sin^2 \beta' \times \cos(90^\circ + \beta' - \arctg \frac{v_{ot}}{v_a}) \right) \right]^{1/2}. \quad (4)$$

Результаты исследований. Начальное положение, при котором точка M занимает самое дальнее положение от конца лопатки, определяется углом α с вертикальной осью фрезы, а начальное положение рассматриваемой частицы M на лопатке – расстоянием, равным радиусу r_0 (рисунок 3). Рассмотрим ситуацию, при которой лопатка вращается с постоянной угловой скоростью, когда за отрезок времени t лопатка повернётся вокруг оси фрезы на угол $\varphi_n = \omega t$, а частица перейдёт в точку M , определяемую радиусом r , и двигаясь по лопатке со скоростью ωr , пройдёт за это время путь, равный:

$$S_v = \int_0^t v_\tau dt. \quad (5)$$

Уравнение динамического равновесия частицы будет иметь вид [9, с. 147]:

$$m \frac{d^2 S_v}{dt^2} = J + Q_4 \cos \varphi_n - F, \quad (6)$$

где φ_n – угол, соответствующий повороту лопатки из положения 0 в положение 2 (рисунок 1); центробежная сила инерции $J = m\omega^2(r_0 + S)$; сила трения $F = f_1[K - Q \cos(\alpha_s + \psi_s) - J]$; $f_1 = tg\varphi_1$ – коэффициент внешнего трения.

После подстановки значений J, F в выражение (6), замены $t = \frac{\psi}{\omega}$ и сокращения всех членов на массу, получим неоднородное линейное дифференциальное уравнение второго порядка:

$$\frac{d^2 S_n}{d\psi_n^2} + 2 f_1 \frac{dS_n}{d\psi_n} - (r_0 + S_n + f_1 R_n) = -\frac{g}{\omega^2 \cos \varphi_1} \cos(\alpha_1 + \psi_n + \varphi_1), \quad (7)$$

где ω_n – угол, соответствующий повороту лопатки в вертикальное положение.

Следует отметить, что величина энергоёмкости транспортирования грунта лопатками зависит от геометрических и кинематических параметров, как лопаток, так и фрезы в целом. Большое влияние на энергоёмкость также оказывают физико-механические свойства разрабатываемого фрезой грунта [8, с. 117; 9, с. 152].

Путь, пройденный частицей по лопатке, будет иметь вид:

$$S_n = C_1 I^{k_1 \psi} + C_2 I^{k_2 \psi} + \frac{g}{2\omega^2} \cos(\alpha_n + 2\varphi_1 + \psi_n) - r_0 - f_1 R_n, \quad (8)$$

где C_1 и C_2 – постоянные: $C_1 = \frac{\cos^2 \varphi_1}{2}$, $C_2 = \frac{\cos \varphi_1 \sin \varphi_1}{2}$.

Относительная скорость частицы грунта примет вид:

$$v_r = k_1 \omega C_1 I^{k_1 \psi} + k_2 \omega C_2 I^{k_2 \psi} + \frac{g}{2\omega^2} \cos(\alpha_n + 2\varphi_1 + \psi_n). \quad (9)$$

В результате подстановки значений C_1 и C_2 в выражения (8) и (9), получим:

$$v_r = \frac{r_0 \omega \cos \varphi_1}{2} \left[-k_1 I^{k_1 \psi} + k_2 I^{k_2 \psi} - (k_1 + k_2) \right], \quad (10)$$

$$v_r = \frac{r_0 \omega \cos \varphi_1}{2} \frac{(I^{k_1 \psi} + I^{k_2 \psi})}{k_1 - k_2} = \frac{r_0 \omega}{k_1 - k_2} (I^{k_1 \psi} + I^{k_2 \psi}). \quad (11)$$

Из выражения (11) конечная относительная скорость частицы v_{rk} при условии $S_n = R_n - r_0$ будет определяться как

$$v_{rk} = \frac{r_0 \omega}{k_1 - k_2} (I^{k_1 \psi_n} + I^{k_2 \psi_n}). \quad (12)$$

Абсолютную скорость частицы v на выходе с лопатки, равную геометрической сумме относительной v_{rk} и переносной скорости v_e , определим из выражения:

$$v = \sqrt{v_{rk}^2 + v_e^2}, \quad (13)$$

где $v_e = \omega R_n$ – окружная скорость лопатки.

Лопатки фрезы одновременно участвуют в двух движениях: относительном с окружной скоростью $v_{окр.}$ и переносом с рабочей скоростью машины v_p (рисунок 4). Сделаем допущение, что лопатка совершает прямолинейное движение со

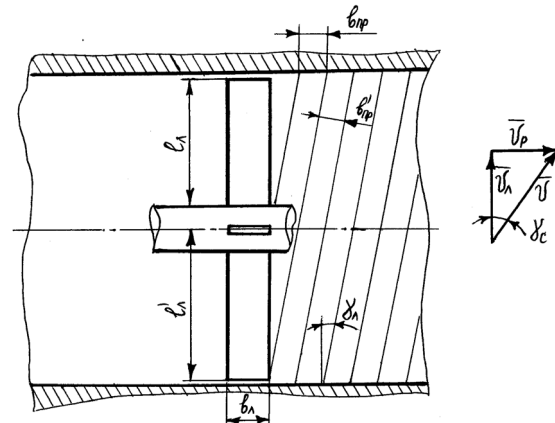


Рисунок 4 – Схема к определению траектории движения лопаток фрезы

скоростью v_p , а не вращательное. Тогда вектор абсолютной скорости расположен на дне и откосе траншеи под углом γ_n к направлению движения лопатки:

$$v = \sqrt{v_n^2 + v_p^2} \text{ и } tg\gamma_n = v_p / v_n. \quad (14)$$

Ширину призмы грунта, перемещаемого одной лопаткой в направлении скорости v_p , найдём из выражения [8, с. 117]:

$$b_{np} = l'_n tg\gamma_n \text{ и } b'_{np} = b_{np} \cos\gamma_n, \quad (15)$$

где l'_n – расстояние между лопатками, м; γ_n – угол между вертикальной плоскостью и траекторией движения лопатки, град.

С учётом вращательного движения и угла контакта лопаток с грунтом получим:

$$b_{np} = l''_n tg\gamma_n, \quad (16)$$

где $l''_n = 2l_n \cos\beta'_n + d_n$; β'_n – угол между лопаткой в её конечном рабочем расположении и горизонтальной плоскостью, проходящей через ось вращения фрезы, град.

С учетом преобразований получим:

$$b_{np} = (2l_n \cos\beta'_n + d_n) \times tg\gamma_n. \quad (17)$$

За одно вращение лопаткой будет перемещено количество грунта, равное объёму стружки срезаемой фрезой. Объём стружки, срезанной основным и дополнительными ножами фрезы, м³:

$$V_{стр} = V_{стр.осн.} + V_{стр.доп.}$$

Учитывая, что для основных ножей толщина стружки $\delta_{стр.осн.} = v_p (60n_{фр} Z_n)^{-1}$, а для дополнительного ножа $\delta_{стр.н} = v_p (60n_{фр} Z_{np})^{-1}$, получим:

$$V_{стр} = 2v_p 60^{-1} n^{-1} Z_n^{-1} (l_{фр} l_n + d_n l_{np}). \quad (18)$$

После преобразования, с учетом числа ножей Z_n фрезы, получим окончательное выражение по определению необходимой ширины лопатки:

$$b_n = \frac{v_p (2D_{фр} I_n + 2d_n I_{гп} + R_{фр}^2 \cdot 0,43) k_{ор.кр.} \cdot k_p}{24n_{фр} Z_n I_n (2I_n \cos \beta'_n + d_b)} \quad (19)$$

Выводы. Анализ полученной зависимости показал, что при увеличении рабочей скорости мелиоративной машины v_p (на примере МР-16) происходит увеличение потребной ширины лопатки b_n вследствие возрастания перемещаемой массы грунта, а при увеличении частоты вращения фрезы $n_{фр}$, при обеспечении постоянной скорости машины – снижение b_n , поскольку уменьшается подача на ножи, а значит, и объем разработанного фрезой грунта наносов. Так, при v_p в диапазоне 40–45 м/ч необходимая ширина лопаток b_n будет составлять 0,13–0,15 м.

Создание торцевых фрез с высокоэффективными транспортирующими рабочими органами и их применение на мелиоративных машинах будет способствовать быстрому и качественному проведению эксплуатационно-ремонтных работ, увеличению транспортирующей способности каналов и улучшению качества воды, подаваемой для орошения полей.

Литература

1. Абдразаков Ф.К. Организационные мероприятия по устранению неблагоприятных факторов воздействия оросительных систем на орошаемые земли / Ф.К. Абдразаков, А.В. Поваров, А.А. Лазарева // Научное обозрение. М.: ЗАО “АЛКОР”. 2012. № 2. С. 281–288.
2. Абдразаков Ф.К. Проблемы управления мелиоративным комплексом на региональном уровне / Ф.К. Абдразаков, А.Ю. Сметанин // Аграрный научный журнал. Саратов: СГАУ. 2011. № 3. С. 47–50.
3. Абдразаков Ф.К. Состояние мелиоративного комплекса Саратовской области и перспективы его развития / Ф.К. Абдразаков, В.С. Егоров // Аграрный научный журнал. Саратов: СГАУ. 2003. № 3. С. 74–79.
4. Абдразаков Ф.К. Технологии и технические средства для проведения эксплуатационно-ремонтных работ на оросительных каналах / Ф.К. Абдразаков, В.С. Егоров, Р.Н. Бахтиев. Саратов, 2009. 152 с.
5. Абдразаков Ф.К. Исследование процесса взаимодействия фрезерных ножей криволинейной формы с грунтом при очистке каналов от наносов / Ф.К. Абдразаков, А.В. Поваров // Механизация строительства. М., 2015. № 9. С. 22–25.
6. Абдразаков Ф.К. Как повысить эффективность оросительных каналов / Ф.К. Абдразаков, А.В. Поваров // Мелиорация и водное хозяйство. М., 2014. № 4. С. 19–22.
7. Абдразаков Ф.К. Взаимодействие с грунтом рабочих органов мелиоративных машин при очистке оросительных каналов / Ф.К. Абдразаков, А.В. Поваров // Научная жизнь. М.: ЗАО “АЛКОР”. 2015. № 1. С. 34–41.
8. Абдразаков Ф.К. Процесс взаимодействия фрезерных рабочих органов, оборудованных ножами криволинейной формы, с грунтом оросительных каналов при проведении эксплуатационно-ремонтных работ / Ф.К. Абдразаков, А.В. Поваров // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе: Научно-информационный журнал. Пенза: Изд-во ПГУ. 2015. № 4 (16). С. 111–119.
9. Шестопалов К.К. Машины для земляных работ: учеб. пособие / К.К. Шестопалов М.: МАДИ-М., 2011. 284 с.