

**Тема: Основы теории и расчет каналоочистителей с ротационными рабочими органами.**

1. Кинематика и размеры стружки для фрезерных каналоочистителей с осью вращения, параллельной оси канала.
2. Расчет основных параметров фрезерного рабочего органа.
3. Расчет мощности на привод фрезерного рабочего органа.

**1. Кинематика и размеры стружки для фрезерных каналоочистителей с осью вращения, параллельной оси канала.**

Одним из широко применяющихся рабочих органов канало-очистителей является фрезерный рабочий орган с осью вращения фрезы, параллельной оси канала. Иногда такой рабочий орган не совсем точно называют ротором или ротором-метателем. В данном издании он назван фрезерным.

Точки фрезы, участвуя во вращательном и поступательном движении, перемещаются по спиральной траектории. На рис. 1 изображена траектория крайней точки ножа-лопатки фрезы.

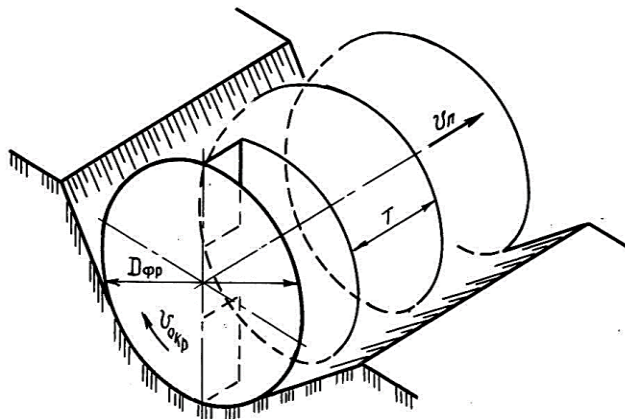


Рис. 1. Траектория крайней точки ножа-лопатки фрезы

Шаг спирали  $T$  (подача на оборот) при рабочей скорости передвижения  $v_{п}$  каналоочистителя вдоль канала и при времени оборота  $t_{об}$  фрезы определяется по формуле

$$T = v_{п} t_{об}. \quad (1)$$

Время оборота через угловую скорость  $\omega$  определяется как

$$t_{об} = 2\pi / \omega, \quad (2)$$

через окружную скорость  $v_{окр}$ —

$$t_{об} = \pi D_{ф} / v_{окр}, \quad (3)$$

где  $D_{ф}$  — диаметр фрезы по концам ножей-лопаток, м.

Учитывая, что частота вращения  $n$  есть величина, обратная  $t_{об}$ , формулу (1) можно записать следующим образом:

$$T = v_{\pi} / n = 2\pi v_{\pi} / \omega = \pi D_{\phi} v_{\pi} / v_{окр}. \quad (4)$$

Подачей на нож  $C$  является путь, который проходит каналочиститель, а значит, и рабочий орган за время поворота фрезы на угол между двумя ножами-лопатками.

С учетом того, что подача на нож меньше подачи на оборот в число раз, равное числу ножей-лопаток  $z_{н}$  на фрезе, на основании уравнения (4) производится следующая запись:

$$C = v_{\pi} / n z_{н} = 2\pi v_{\pi} / z_{н} \omega = \pi D_{\phi} v_{\pi} / z_{н} v_{окр}. \quad (5)$$

Введя понятие частоты выгрузок  $z_{в}$ , из уравнения (5) можно получить:

$$C = v_{\pi} / z_{в}. \quad (6)$$

Значение  $z_{в}$  определяется по формуле

$$z_{в} = z_{н} n = z_{н} \omega / 2\pi = z_{н} v_{окр} / \pi D_{\phi}. \quad (7)$$

Форма срезаемой стружки упрощенно показана на рис. 2.

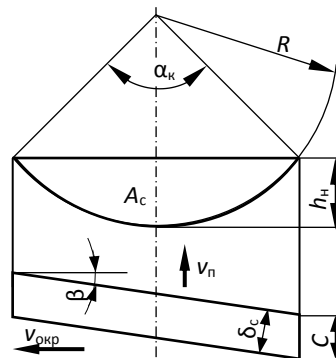


Рис. 2. Форма и размеры стружки, срезаемой фрезерным рабочим органом с осью вращения фрезы, параллельной оси канала

Здесь  $C$  – подача на нож-лопатку, м;  $h_n$  – толщина срезаемых за один проход наносов, м;  $\delta_c$  – толщина стружки, м;  $\alpha_k$  – угол контакта, или угол захвата, рад;  $R$  – радиус фрезы по концам ножей-лопаток, м;  $\beta$  – угол подъема винтовой линии траектории ножей-лопаток, град.

Согласно рис. 2

$$\delta_c = C \cos \beta; \quad (8)$$

$$\beta = \arctg (v_{\pi} / v_{окр}); \quad (9)$$

$$\alpha_k = 2 \arccos [(R - h_n) / R]. \quad (10)$$

Обычно угол  $\beta$  имеет небольшую величину, поэтому часто принимают  $\delta_c \approx C$ . Площадь срезаемых наносов рассчитывают как площадь сегмента  $A_c$ :

$$A_c = \alpha_k R^2 / 2 - R(R - h_n) \sin (\alpha_k / 2), \quad (11)$$

где  $\alpha_k$  – угол контакта, рад.

## 2. Расчет основных параметров фрезерного рабочего органа.

Расчет основных параметров целесообразно начинать с назначения (если не дается в задании на проектирование) *необходимой дальности отбрасывания*  $l_{отб}$  пульпы (рис. 3). Обычно она принимается в пределах от 6 до 15 м. После этого рассчитывают *окружную скорость* по зависимости

$$v_{окр} = (1,5 \dots 2,5) l_{отб}. \quad (12)$$

Полученное значение скорости должно находиться в диапазоне 10...25 м/с.

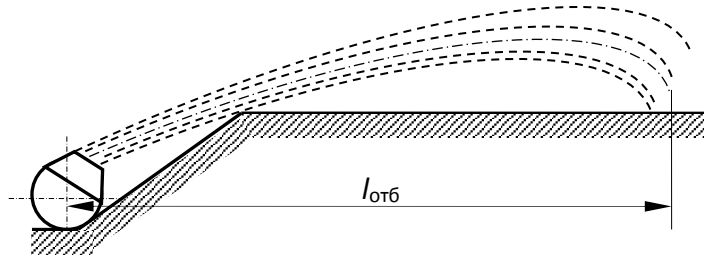


Рис. 3. Схема выброса пульпы

Затем следует определить *диаметр  $D$  кожуха фрезы из условия неподрезания дна и откосов* трапецеидального канала. Графически это означает, что при минимальной ширине канала по дну  $b_d$  и заданном максимальном угле наклона откосов  $\lambda$  проектные линии дна и откоса облицованного канала должны являться касательными к окружности диаметром  $D$  (рис. 4).

Тогда, согласно рис. 4. *a*, угол  $AOB$  и угол наклона откоса равны, как углы со взаимно перпендикулярными сторонами. Треугольники  $OBC$  и  $OAC$  равны по общей стороне и противоположному углу, следовательно,  $OC$  – биссектриса для угла  $AOB$ . Таким образом, с учетом того, что  $OB = D/2$ , можно, рассмотрев треугольник  $OBC$ , записать:

$$D = b_d / \operatorname{tg} (\lambda / 2). \quad (13)$$

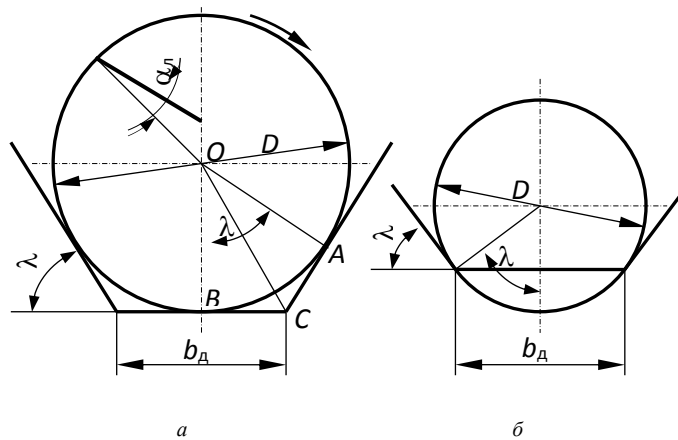


Рис. 4. Схема к определению диаметра кожуха фрезы из условия неподрезания откосов канала: *a* – облицованного; *б* – необлицованного

Очистку необлицованных каналов целесообразно выполнять с некоторым их переаглоблением по сравнению с исходной проектной глубиной. Для этого случая расчетная схема показана на рис. 4. б. Тогда расчет  $D$  следует выполнять по формуле

$$D = b_d / \sin \lambda. \quad (14)$$

Диаметр фрезы по концам ножей-лопаток  $D_\phi$  можно рассчитать конструктивно:

$$D_\phi = D - 2(C_1 + C_2), \quad (15)$$

где  $C_1$  – толщина стенки кожуха фрезы. Ориентировочно ее можно принять равной 4...6 мм или близкой к  $0,007D$ ;

$C_2$  – зазор между внешними концами ножей-лопаток и внутренней поверхностью кожуха. Обычно  $C_2 = 8...12$  мм.

Для навесного рабочего органа, не охватываемого кожухом снизу и не опирающегося им о дно,  $D_\phi$  принимается равным  $D$ , рассчитанным по формуле (13) или (14).

Определение номинальной (расчетной) скорости рабочего передвижения выполняется по формуле

$$v_\Pi = \Pi_T / A_c. \quad (16)$$

При отсутствии на рабочем органе уширителей, лемехов, открылков или отвалов расчет  $A_c$  выполняется по формуле (11), в иных случаях необходимо рассчитать  $A_c$  в соответствии со схемой рабочего органа.

Число ножей-лопаток рассчитывается из условия обеспечения необходимой подачи по формуле

$$z_H = \pi D_\phi v_\Pi / C v_{\text{окр}}. \quad (17)$$

Для расчета  $z_H$  значение  $C$  принимается при удалении торфяных наносов равным 7...15, минеральных – 5...7 мм.

При этом для снижения динамичности нагрузок желательно выполнение условия:  $z_H \geq 2\pi/\alpha_k$ . Значение  $z_H$  принимается равным 3...5. После принятия числа  $z_H$  уточняется  $C$ .

Для уменьшения рассеивания струи и снижения энергоемкости процесса нож-лопатка отклоняется от радиального направления под углом  $\alpha_\Pi$ . Увеличение значения  $\alpha_\Pi$  может привести к явлению защемления грунта между кожухом и лопаткой. Произойдет это, если составляющая силы трения грунта о кожух  $F_1$  превысит значение противоположно направленной ей силы трения грунта о лопатку  $F_2$  (рис. 5). При равенстве коэффициентов трения  $f_1$  грунта о кожух и грунта о лопатку и, учитывая то, что в данном случае  $F_2 = f_1 F_1$ , а  $F_H$  обусловлена силой  $F_1$  ( $F_H = F_1 \cos \alpha_\Pi$ ), можно записать условие незащемления:

$$F_2 \geq F_1 \sin \alpha_\Pi, \quad (18)$$

или

$$f_1 F_1 \cos \alpha_\Pi \geq F_1 \sin \alpha_\Pi. \quad (19)$$

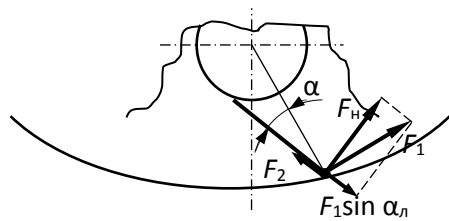


Рис. 5. Схема сил, действующих на частицу

Отсюда

$$\alpha_{л} \leq \arctg f_1. \quad (20)$$

Рекомендуется принимать  $\alpha_{л} = 5 \dots 10^\circ$ .

Длина режущей части ножа-лопатки  $l_{л}$  должна быть такой, чтобы верхняя кромка режущей части его не опускалась ниже расчетного уровня наносов при наибольшем ее погружении в грунт.

При  $\alpha_{л} \leq 20^\circ$  расчет  $l_{л}$  допускается выполнять упрощенно по формуле

$$l_{л} \geq h_{н} / \cos \alpha_{л}. \quad (21)$$

Ширину ножа-лопатки  $b_{л}$  (рис. 6) принимают в пределах 150...200 мм. Большие значения принимаются при рабочей скорости передвижения, превышающей 0,2 м/с.

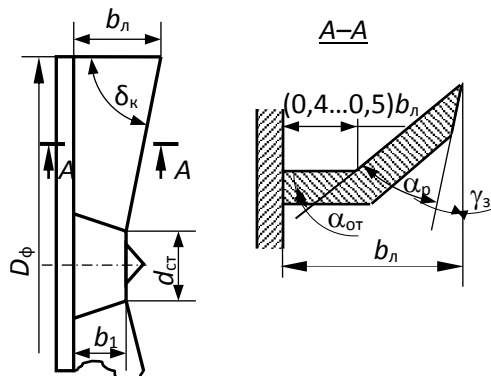


Рис. 6. Размеры фрезерного рабочего органа

Принятое значение согласовывается с условием

$$b_{л} \geq 2,35\Pi_{т} + 40, \quad (22)$$

где  $\Pi_{т}$  – техническая производительность фрезы по грунту, м<sup>3</sup>/ч.

Для улучшения транспортирующей способности ножа-лопатки его отгибают вперед на угол  $\alpha_{от} = 50 \dots 55^\circ$  на расстоянии  $(0,4 \dots 0,5)b_{л}$  от диска, тогда угол резания  $\alpha_{р}$  получается равным  $35 \dots 40^\circ$ . Задний угол  $\gamma_{з}$  во избежание трения тыльной поверхности ножа по срезаемому грунту должен удовлетворять условию  $\gamma_{з} > \beta$ . Значение  $\beta$  вычисляется по уравнению (9) с подстановкой значения  $v_{окр1}$ , рассчитанного по выражению

$$v_{окр1} = v_{окр}(R_{ф} - h_{н}) / R_{ф}. \quad (23)$$

Рекомендуется принимать  $\gamma_{з} = 10 \dots 15^\circ$ ,  $\delta_{к} = 60 \dots 65^\circ$ .

Величина дуги разгрузочного окна кожуха должна соответствовать углу разгрузки грунта  $\varphi_p$ , который принимается равным  $(0,5 \dots 0,7) \pi$ .

Наклон струи пульпы к горизонту обычно регулируется заслонками или поворотом кожуха.

Толщину диска фрезы предварительно можно принять равной  $8 \dots 10$  мм, толщину ножа-лопатки – на  $1 \dots 2$  мм больше.

Диаметр ступицы  $d_{ст}$  должен соответствовать условию

$$D - 2h_n > d_{ст} > 0,2D. \quad (24)$$

Остальные размеры принимаются исходя из конструкторских соображений и на основании прочностных расчетов.

### 3. Расчет мощности на привод фрезерного рабочего органа.

Расчет мощности  $P_{p.o}$  на привод фрезерного рабочего органа с осью вращения фрезы, параллельной оси канала, можно выполнить по следующему уравнению:

$$P_{p.o} = (P_k + P_n + P_p + P_{тр}) / \eta_p, \quad (25)$$

где  $P_k$ ,  $P_n$ ,  $P_p$ ,  $P_{тр}$  – соответственно мощность на копание наносов, мощность на их подъем к месту выброса из кожуха, мощность на разгон наносов, мощность на преодоление сил трения наносов, перемещаемых внутри рабочего органа;

$\eta_p$  – КПД рабочего органа,  $\eta_p \approx 0,7$ .

Для расчета мощности на копание  $P_k$  используется известное выражение

$$P_k = k_1 \Pi_T. \quad (26)$$

По рекомендациям ВНИИЗемМаш, при характеристиках наносов, соответствующих характеристикам грунтов первой, второй и третьей категорий,  $k_1$  принимается равным соответственно 100, 200 и 300 кПа. Для облицованных каналов, занесенных илом, суглинками, песком и заросших травой,  $k_1 = 35 \dots 270$  кПа; по рекомендациям, даваемым Э. А. Сухаревым, для наносов каналов  $k_1 = 120 \dots 170$  кПа.

Расчет мощности на подъем грунта  $P_n$  выполняется по формуле

$$P_n = \Pi_T \rho g H_n, \quad (27)$$

в которой  $H_n$  можно приблизительно определить следующим образом:

$$H_n = (0,75 \dots 0,85)D. \quad (28)$$

Мощность на разгон грунта вычисляется по формуле

$$P_p = \Pi_T \rho v_{окр1}^2 / 2, \quad (29)$$

где  $v_{окр1}$  – окружная скорость, соответствующая центру тяжести вращающегося грунта, принимается равной  $(0,85 \dots 0,9)v_{окр}$ .

При наличии значительного слоя воды над наносами потребная мощность на привод рабочего органа возрастает. Основной составляющей дополни-

тельной потребной мощности будет мощность на разгон воды. Тогда формула для расчета *мощности на разгон воды и грунта* примет следующий вид:

$$P_p = (A_c \rho + A_B \rho_B) v_{п} v_{окр1}^2 / 2, \quad (30)$$

где  $A_B$  – площадь поперечного сечения слоя воды над наносами,  $m^2$ ;

$\rho_B$  – плотность воды,  $kg/m^3$ .

Для определения значения  $A_B$  можно воспользоваться схемой, приведенной на рис. 7.

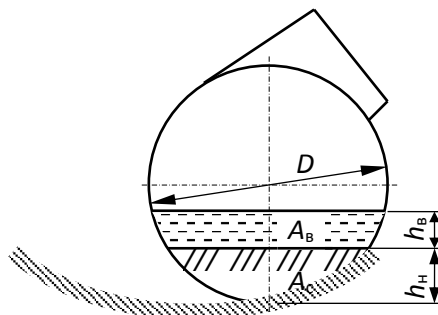


Рис. 7. Схема к расчету площади поперечного сечения слоя воды над наносами

Кроме того, при наличии значительного слоя воды целесообразно скорректировать формулу (27) расчета мощности на подъем. Ее можно записать в следующем виде:

$$P_{п} = (A_c \rho + A_B \rho_B) v_{п} g H_{п}. \quad (31)$$

Значение  $H_{п}$  зависит от размеров слоев воды и наносов. Ориентировочно его можно принять по соотношению

$$H_{п} = (0,6 \dots 0,7) D. \quad (32)$$

Расчет значения *мощности на преодоление сил трения* наносов в рабочем органе  $P_{тр}$  ведется исходя из того, что основными видами работ на преодоление сил трения являются работа на перемещение грунта по ножу-лопатке от центра фрезы к ее периферии и работа на преодоление силы трения наносов о внутреннюю поверхность кожуха.

При рассмотрении движения наносов вдоль ножа-лопатки учитываются сила тяжести, сила Кориолиса, центробежная сила, сила трения и сила инерции. Расчеты показывают, что при реальных режимах работы фрезы на пути от внедрения ножа-лопатки в наносы и прохождении ее до вертикального положения и даже несколько большем сила тяжести и центробежная сила превышают силы, препятствующие движению наносов в радиальном направлении, т. е. работа оказывается отрицательной.

При дальнейшем повороте фрезы силы, препятствующие радиальному перемещению наносов, могли бы превысить силы, способствующие этому процессу, но из-за заполнения периферийной части ножа-лопатки движение в радиальном направлении замедляется. Поэтому мощность, требуемая на перемещение грунта вдоль ножа-лопатки, оказывается незначительной и учитывается КПД рабочего органа. В связи с этим основной составляющей явля-

ется работа на преодоление сил трения наносов о внутреннюю поверхность кожуха.

Расчетная схема к определению составляющей  $P_{\text{тр}}$  приведена на рис. 8. Если из-за относительной малости пренебречь составляющей силы тяжести, прижимающей грунт к кожуху, то работу  $W_{\text{тр}}$  по преодолению силы трения для частицы массой  $m$ , перемещающейся внутри кожуха, можно рассчитать по уравнению

$$W_{\text{тр}} = F_{\text{тр}} R \alpha, \quad (33)$$

где  $F_{\text{тр}}$  – сила трения перемещаемой массы наносов о внутреннюю поверхность кожуха;

$\alpha$  – угол, соответствующий дуге кожуха, по которой перемещаются наносы. Он находится в пределах  $(1 \dots 1,2)\pi$ .

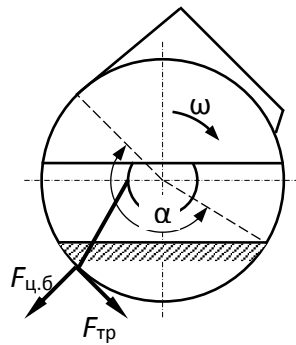


Рис. 8. Расчетная схема к определению мощности на трение

При необходимости более точное значение  $\alpha$  можно найти по формуле

$$\alpha = \alpha_{\text{к}} / 2 + \pi / 2 + \pi / 4 = 0,5(\alpha_{\text{к}} + 3\pi / 2). \quad (34)$$

Значение  $F_{\text{тр}}$  найдем как произведение силы нормального давления (центробежной силы) на коэффициент трения грунта о сталь, т. е.

$$F_{\text{тр}} = F_{\text{ц}f_1} = m v_{\text{окр}}^2 f_1 / R. \quad (35)$$

С учетом того, что процесс перемещения осуществляется за какое-то время  $t$ , можно записать уравнение для расчета мощности на трение:

$$P_{\text{тр}} = W_{\text{тр}} / t = m v_{\text{окр}}^2 f_1 R \alpha / R t. \quad (36)$$

Принимая во внимание, что  $m = V\rho$ , а  $V / t = \Pi$ , можно записать:

$$P_{\text{тр}} = \Pi_{\text{т}} \rho v_{\text{окр}}^2 \alpha f_1. \quad (37)$$

Формула (37) не учитывает реального расположения грунта в кожухе и на ноже-лопатке, поэтому расчет мощности на преодоление сил трения следует вести по следующей формуле:

$$P_{\text{тр}} = k_{\text{р.г}} k_{\text{к}} \Pi_{\text{т}} \rho v_{\text{окр}}^2 \alpha f_1, \quad (38)$$

где  $k_{\text{р.г}}$  – коэффициент расположения грунта на ноже-лопатке, учитывающий, что центр масс перемещаемого грунта находится от оси вращения на расстоянии, меньшем радиуса, и принимаемый равным  $0,75 \dots 0,85$ ;

$k_k$  – коэффициент, учитывающий концентрацию грунта в кожухе, т. е. то, что на дуге с углом  $\alpha$  работа идет неравномерно с нарастанием от нуля до максимума ( $k_k = 0,3 \dots 0,5$ ).

Значение  $f_1$  рекомендуется принимать 0,3 для грунтов 1-й категории и 0,45 – для 2-й, хотя Э. А. Сухарев приводит значение угла трения наносов о сталь, равное  $30 \dots 35^\circ$ , что соответствует величине  $f_1$ , равной 0,58...0,70, которую можно использовать при расчете рабочего органа для очистки каналов без воды.

Особенности расчета шнекороторного рабочего органа с коническим шнеком. Кинематические соотношения и расчет параметров шнекового рабочего органа с цилиндрическим шнеком. Расчет действующих сил и мощности на привод шнекового рабочего органа с цилиндрическим шнеком. Рассмотреть самостоятельно.