



УДК 624.132.3

А.С. Кадыров, Н.Е. Амангелдиев, Ж.Ж. Жунусбекова

Карагандинский государственный технический университет, г. Караганда

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ ГРУНТА
ФРЕЗЕРНЫМ РАБОЧИМ ОРГАНОМ

В статье приведена математическая модель процесса резания грунта фрезерным рабочим органом большого диаметра. Определены зависимости, учитывающие физико-механические свойства грунтов и геометрические размеры фрезерного рабочего органа.

Бұл мақалада үлкен диаметрлі фрезерлі жұмыс тетігімен грунтты кесу үрдісінің математикалық моделі келтірілген. Грунттардың физикалық-механикалық қасиеттерін және фрезерлі жұмыс тетігінің геометриялық өлшемдерін ескеретін тәуелділіктер анықталды.

The article presents a mathematical model of the process of cutting soil working milling of large-diameter bodies. The dependence, taking into account the physical and mechanical properties of soils and the geometric dimensions of the milling working body.

Ключевые слова: резание грунта, фреза, анализ резания, математическая модель, параметры нагружения.

Как показал анализ машин и оборудования, для проходки узких и глубоких траншей в основном используют баровые машины [1]. Однако эти машины конструктивно не могут обеспечить большую глубину резания и реализацию значительного усилия на резцах. Анализ свойств мерзлых, прочных грунтов и машин для их разработки [2] позволил определить основные принципы, которые необходимо заложить в конструкцию создаваемого оборудования:

1. Инструмент - дисковая фреза - является жестким рабочим органом (далее РО), поэтому у нее отсутствуют потери энергии при передаче усилия резания (в отличие от цепи бара).

2. Передача крутящего момента через цевочное зацепление на реборде диска фрезы. Это позволяет разрушать грунт не только нижней половиной окружности фрезы, но и значительно увеличить глубину щели, так как передача крутящего момента осуществляется в верхней части фрезы, и весь инструмент погружается в грунт.

3. Базовая машина - колесный или гусеничный трактор.

4. Дисковая фреза - навесное оборудование.

Остальные принципы обуславливаются условиями экономической целесообразности.

Разработка такого РО сдерживается отсутствием инженерной методики расчета. Для ее разработки необходимо установление сил сопротивления разрушению грунта и зависимостей, взаимосвязывающих режим работы и конструкцию РО.

Дисковая фреза, представляющая рабочий орган шелереза (рис. 1), находится под действием крутящего момента $M_{кр}$, силы вдавливания $Q_{вд}$, тягового усилия Q_T . Силы сопротивления определяются нормальной и касательной силами резания $Q_{вт}$ и P_{01} . При этом, в связи с тем, что крутящий момент передается через цевочное зацепление, расстояние от точки приложения крутящего момента до i -го резца переменное.

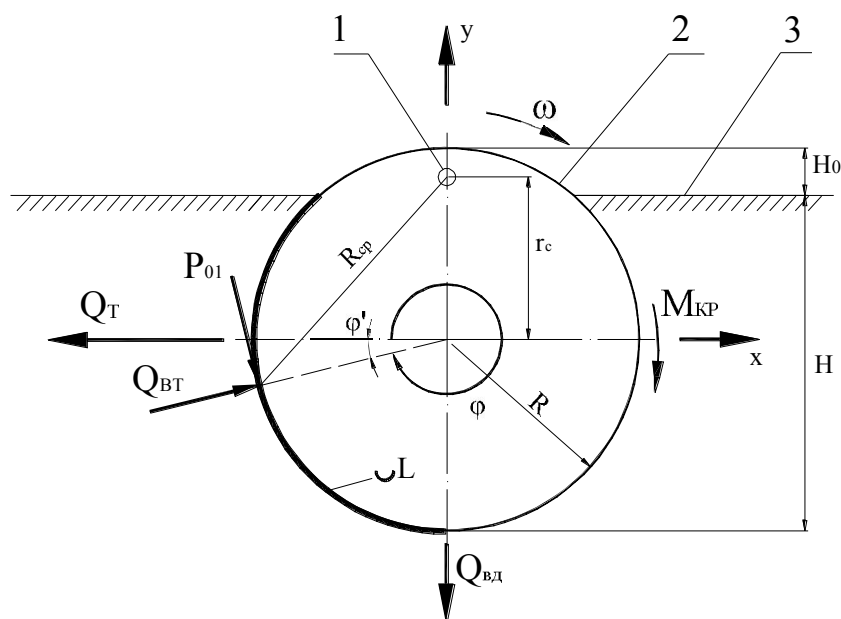


Рисунок 1 – Схема сил, действующих на РО:
1 – точка подвески фрезы; 2 – фреза; 3 – грунт

Резание грунта дисковой фрезой характеризуется следующими особенностями: движение резца по окружности; замкнутый объем призабойной зоны; непостоянство контакта резца с забоем; наличие в призабойной зоне массы волочения грунта, оказывающей дополнительное сопротивление. Исходя из этого и используя закономерности резания грунтов, представим усредненную по силам сопротивления и расстоянию от оси вращения модель резца [3].

В первую очередь рассмотрена работа резцов. При этом учтено, что при резании резцы располагаются так, чтобы первый резал правую стенку щели, шириной $S_{щ}$, второй – левую, а третий – забой (рис. 2). На каждый из резцов действуют силы сопротивления резанию по лобовой грани резца $P_{св}$, силы сопротивления резанию на площадке износа $P_{изн}$, вес срезанной стружки P_T и масса волочения грунта. На крайние резцы по внешним граням действуют силы сопротивления срезу по боковым граням резца $P_{бок}$ и сопротивления срезу за счет расширения прорези $P_{бок.ср}$. Сопротивление массы волочения срезанного грунта определяется силой P_T .

Поскольку каждый из трех резцов, расположенных рядом друг с другом, испытывает разное нагружение, все силы приведены к одному усредненному резцу. Усредненный резец представляет собой обобщенную модель резца. Общая сила резания на РО является произведением усилия на единичном резце и числа резцов, участвующих в разрушении грунта.

Усредненный резец находится на расстоянии $R_{ср}$ от точки передачи нагрузки, его положение определяется углом ϕ (рис. 1), ему соответствует средняя толщина срезанной стружки $h_{ср}$. К резцу приложены активные силы, определяемые воздействием усилия подачи $Q_{вд}$, тягового усилия Q_T и крутящего момента $M_{КР}$. На резец с углом резания δ , задним углом γ , шириной b и площадкой износа с шириной a действуют обобщенная реакция сопротивления грунта резанию, равная утроенной величине $P_{св}$, утроенной величине $P_{изн}$ и удвоенным величинам $P_{бок}$ и $P_{бок.ср}$ (рис. 2).

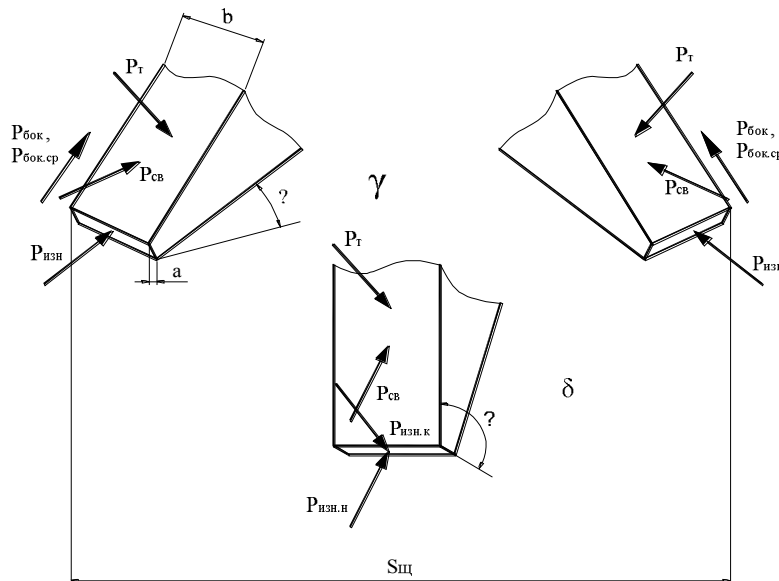


Рисунок 2 – Схема сил, действующих на резцы РО

Резание резцами РО происходит по дуге L (рис.1). Средняя толщина срезаемой стружки равна:

$$h(\varphi) \approx h_1 \left(\cos \varphi + \frac{1}{2\lambda_1 \sin^2 \varphi'} \right), \quad (1)$$

где φ' – фиксированный угол, определяющий положение усредненного резца; h_1 – шаг выдвигания сферы; λ_1 – отношение шага выдвигания фрезы к радиусу фрезы.

Спроектировав все силы на ось Y , перпендикулярную поверхности забоя, и определив момент относительно центра вращения, составляется следующая система уравнений:

$$\begin{cases} Q_{ВД} = A \cdot h_{СР} \\ M_{КР} = B \cdot R_{нр} \cdot h_{СР} \end{cases}, \quad (2)$$

где A , B – удельные силы сопротивления грунта разрушению, соответственно при заглублении и вращении фрезы определяющие усилие подачи и крутящий момент, необходимые для разрушения слоя грунта по дуге L толщиной h , зависящие от физико-механических свойств грунта и конструкции инструмента; $R_{нр}$ – приведенный радиус передачи окружного усилия резания через цевочное зацепление, зависящий от геометрических и кинематических параметров цевочного зацепления и фрезы.

Значения удельных сил линейно возрастают при увеличении ширины резца и ширины площадки износа.

Для более точного анализа влияния угла резания на процесс разрушения грунта введен параметр c , равный отношению усилия подачи к касательной силе резания:

$$c = \frac{Q_{ВД} \cdot R_{нр}}{M_{КР}} = \frac{A}{B}, \text{ причем справедливо } c < \operatorname{tg} \delta_{\min}. \quad (3)$$

Величина c является тангенсом угла наклона, под которым к лобовой грани резца приложена суммарная сила резания. Параметр c при установившемся режиме не должен пре-

вышать угол резания, так как в противном случае сила будет направлена на площадку износа.

Масса волочения грунта, образуемая в призабойной зоне, препятствует разрушению грунта, увеличивая момент сопротивления резанию. Определяется нагружение со стороны массы волочения на рабочий орган:

$$P_{MB} = p_{m\phi} \cdot h_{cp}; \quad p_{m\phi} = S_{ц} \cdot \gamma \cdot (\pi R - L_{св}), \quad (4)$$

$$F_T = j \cdot h_{cp}; \quad j = p_{m\phi} \cdot k_{нд} \cdot f_1, \quad (5)$$

где P_{MB} – сила веса массы волочения; F_T – сила трения массы волочения о забой; $k_{нд}$ – коэффициент передачи давления от массы волочения на забой; f_1 – коэффициент внешнего трения грунта о сталь.

Профессором Ветровым Ю.А. установлено, что при увеличении скорости резания возникает дополнительная сила резания ΔP , пропорциональная ее квадрату. С другой стороны, при увеличении угловой скорости уменьшается толщина стружки и, следовательно, сила резания. Значение $M_{кр}$ выражается через удельную силу B и учитывая ΔP , примет вид:

$$M_{кр} = \frac{2\pi \cdot B \cdot V \cdot R_{np}}{\omega} + U \cdot \omega^2 \cdot R_{np}. \quad (6)$$

Две противоречивые тенденции влияния угловой скорости на крутящий момент определяют наличие экстремума, что позволяет определить значение угловой скорости ω , при котором для разрушения грунта необходим наименьший крутящий момент:

$$\omega = \sqrt{\frac{B \cdot h_{cp}}{2U}}. \quad (7)$$

Физический смысл коэффициента U заключается в том, что он учитывает изменение сопротивления резанию в зависимости от геометрии площадки среза и плотности среды. Аналогичный метод определения сопротивления движению применяется в аэродинамике и гидродинамике для определения сопротивления движению тел в жидкой или газообразной среде.

В результате разработана математическая модель движения рабочего органа (рис. 3).

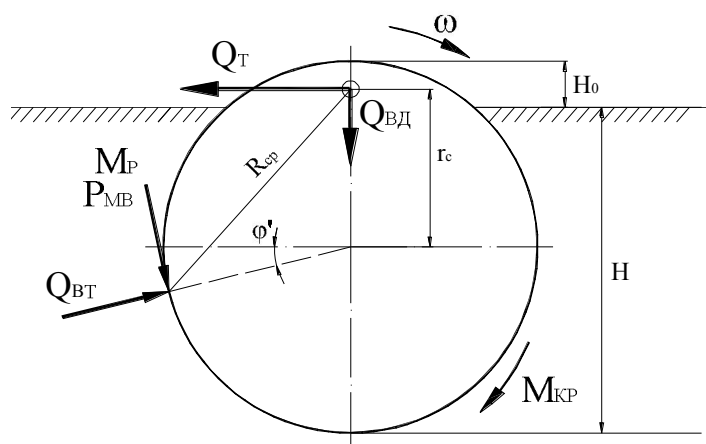


Рисунок 3 – Расчетная схема для установившегося движения РО

$$\left\{ \begin{array}{l} Q_{ВД} = A \cdot h_{cp} - h_{cp} \cdot (p_{мв} + j_{мв}) \cdot \cos \varphi' - mg, \\ Q_T = A \cdot h_{cp} \cdot \sin \varphi' + B \cdot h_{cp} \cdot \sin \varphi' - j_{мв} \cdot h_{cp} \cdot \sin \varphi', \\ M_{кр} = B \cdot h_{cp} \cdot R_{np} + p_{мв} \cdot h_{cp} \cdot R_{np} + j_{мв} \cdot h_{cp} \cdot R_{np}, \\ V_T = \frac{h_{cp} \cdot \sin \varphi' \cdot \omega}{2\pi}, \\ V_{II} = 0, \\ \omega = \omega_{онт}. \end{array} \right. \quad (8)$$

Аналитическими методами установлена зависимость:

$$h_{онт} = \sqrt{\frac{\alpha_2}{\alpha_1}}, \quad \alpha_1 = \frac{(A + B - j_{мв}) \cdot \sin \varphi'}{S_{щ} \cdot H}, \quad \alpha_2 = \frac{4R \cdot (B + p_{мв} + j_{мв}) \cdot V_T \cdot \pi^2}{S_{щ} \cdot H \cdot \omega}, \quad (9)$$

где α_1 – коэффициент, характеризующий затраты мощности на поступательное движение рабочего органа; α_2 – коэффициент, характеризующий затраты мощности на вращательное движения рабочего органа; $S_{щ}$ – ширина щели в грунте.

Экспериментальные исследования проводились на полноразмерном стенде СР-1 и опытном образце щелереза. В результате эксперимента были подтверждены зависимости удельных сил от угла резания, ширины площадки износа и ширины резца.

Список литературы

1. Кадыров А.С. Анализ свойств мерзлых и прочных грунтов и оборудования для их резания / А.С. Кадыров, Е.С. Бестембек // Тр. ун-та. - Караганда: Изд-во КарГТУ. – 2006. – № 1. – С. 47-49.
2. Кадыров А.С. Определение сил сопротивления разрушения грунта фрезерованием / А.С. Кадыров, З.А. Мулдагалиев, Е.С. Бестембек // Тр. ун-та. - Караганда: Изд-во КарГТУ. – 2007. – № 1. – С. 61–63.
3. Кадыров А.С. Конструкция и расчет дискового щелереза для разработки мерзлых и прочных грунтов / А.С. Кадыров, Е.С. Бестембек. – Караганда: Изд-во «Санат», 2006. – 132 с.
4. Глотов Б.Н. Тенденции развития показателей гидравлических ручных молотков // Тр. ун-та. - Караганда: Изд-во КарГТУ. – 2007. – № 2. – С. 51–54.

Получено 15.11.2017