

УДК 622.232.83.054.522(045)(476)

## НЕКОТОРЫЕ ПАРАМЕТРЫ ПЛАНЕТАРНО-ДИСКОВОГО ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО ОРГАНА ПРОХОДЧЕСКОГО КОМБАЙНА

Гавриков А.А. (Унитарное предприятие «Институт горного дела», г. Солигорск, Беларусь), Волчек О.М. (УО «Барановичский государственный университет», г. Барановичи, Беларусь), Казаченко Г.В. (Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Беларусь)

*Рассматривается рабочий орган проходческого комбайна для проходки капитальных и временных горных выработок, а также используемый в выемочных машинах для подземной добычи полезных ископаемых камерной системой разработки пласта месторождения. В предлагаемой работе исследование процесса разрушения породы выполнено с кинематической и динамической точек зрения, а также с учетом законов сохранения.*

### Введение

В настоящее время при расчете нагрузок, действующих на режущие элементы исполнительных органов выемочных и проходческих машин, используется методика института имени Скочинского [1], которая отражена в стандартах и применяется при расчете нагрузок, действующих на резцы исполнительных органов проходческо-добычных машин для разработки каменных углей. Эту методику рекомендуется использовать также и для вычисления нагрузок на исполнительные органы машин для добычи калийных руд [2]. Согласно этой методике исходной величиной является сопротивляемость породы резанию, по значению которой определяется сила сопротивления резанию. При определении этой силы другие факторы, влияющие на ее величину, учитываются рядом коэффициентов, вводимых в расчетные формулы.

### Содержание исследования

Для определения силы резания используется также и несколько других зависимостей. Среди таких зависимостей наиболее общей является степенная, которая для резания древесины была установлена профессором Петербургского горного института Иваном Августовичем Тиме. Известно несколько вариантов этой зависимости. Например, в работе [2] она дается в виде

$$P_p = m \cdot h^n, \quad (1)$$

где  $m$  – некоторый коэффициент, равный силе резания породы со стружкой единичной толщины;

$h$  – глубина резания (толщина снимаемой резцом стружки);

$n$  – показатель, характеризующий влияние толщины стружки на силу резания.

Для резания почвенных грунтов широко используется формула профессора Горячкина

$$P_p = e \cdot b \cdot h, \quad (2)$$

где  $e$  – удельное сопротивление резанию породы;

$b$  – средняя ширина срезаемого слоя породы.

Еще И.А. Тиме обратил внимание на то, что ширина  $b$  и глубина  $h$  резания по-разному влияют на величину силы резания. Позже это было доказано многочисленными экспериментальными исследованиями [2, 3]. Результаты таких исследований и их анализ позволили объединить зависимости (1), (2) и на их основе сформировать энергетическую зависимость для определения силы резания. Действительно, если умножить левую и правую части соотношения (2) на  $v_p$ , то мощность силы резания определится выражением

$$N_p = e \cdot b \cdot h \cdot v_p, \quad (3)$$

где  $v_p$  – скорость резания.

Так как  $b \cdot h \cdot v_p = Q_p$ , где  $Q_p$  – объемная производительность снятия стружки резцом, то

$$e = \frac{N_p}{Q_p}. \quad (4)$$

Это значит [2], что величина  $e$  выступает в виде удельных затрат мощности, необходимой для резания, а также удельных затрат энергии на разрушение некоторого объема породы. Убеждаемся в этом, умножив числитель и знаменатель правой части (4) на время  $t$ . Тогда получим

$$e = \frac{N_p \cdot t}{Q_p \cdot t} = \frac{E}{V}, \quad (5)$$

где  $E$  – энергия, необходимая для разрушения объема  $V$  породы.

Приравняв теперь (1) и (2), находим

$$e = \frac{m \cdot h^n}{b \cdot h} \quad (6)$$

или, обозначив  $\frac{m}{b}$  через  $c_1$ , а  $n-1$  через  $c_2$ , имеем

$$e = c_1 \cdot h^{c_2}, \quad (7)$$

где  $c_1$  – размерный коэффициент, равный удельному сопротивлению резанию породы при  $h = 1$ ;

$c_2$  – показатель степени, определяющий форму зависимости  $e$  от  $h$ ,  $c_2 = n - 1$ .

Коэффициент  $c_1$  и показатель степени  $c_2$  требуют экспериментального определения для каждой породы.

Коэффициент  $c_1$  в большей степени определяется прочностными свойствами породы, которые наиболее комплексно оцениваются ее сопротивлением сжатию или коэффициентом крепости М.М. Протодяконова. В первом приближении коэффициент  $c_1$  предлагается считать пропорциональным сопротивлению сжатию породы, т.е. принять

$$c_1 = k \cdot \sigma_c, \quad (8)$$

где  $k$  – коэффициент пропорциональности, учитывающий состояние породы;

$\sigma_c$  – временное сопротивление породы сжатию.

Для калийных руд Старобинского месторождения коэффициент  $k$  следует принимать в пределах от 0,03 до 0,05 при значении  $\sigma_c$  в Па. Для руд этого месторождения при разрушении их зубками коэффициент  $c_2$  изменяется от  $-0,25$  до  $-0,40$ . Значения коэффициентов  $c_1$  и  $c_2$  выбраны по результатам анализа небольшого числа данных и нуждаются в уточнении.

**Исследование кинематики планетарно-дискового органа разрушения**

Как следует из (7) для определения силы резания отдельного резца необходимо знать его производительность, коэффициент  $c_1$ , показатель степени  $c_2$ , толщину  $h$  снимаемой резцом стружки, площадь ее сечения. Общая сила резания при этом определяется суммированием сил резания всех резцов, находящихся в забое [1-3]:

Величина скорости резания определяется кинематикой движения резца. Для планетарно-дискового рабочего органа (рисунок) скорость резания представляет сумму трех независимых скоростей

$$\bar{v}_p = \bar{v}_n + \bar{\omega}_o (R_o + R_\partial \cos \alpha) + \bar{\omega}_\partial \cdot R_\partial, \tag{9}$$

где  $v_n$  – скорость подачи рабочего органа на забой;

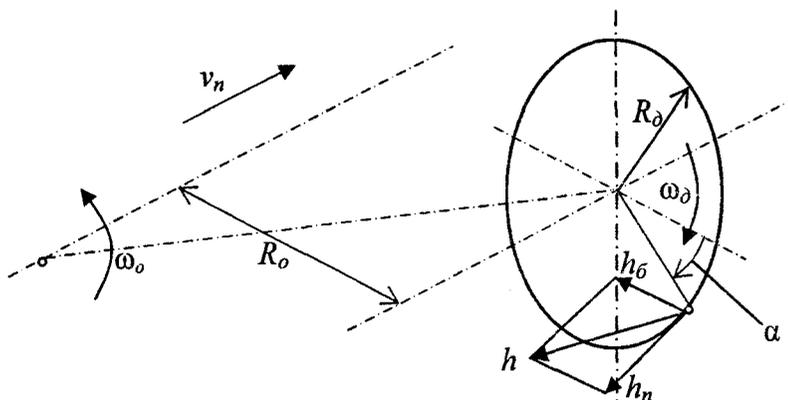
$\omega_o$  – угловая скорость вращения исполнительного органа вокруг собственной оси вращения;

$R_o$  – расстояние от центра диска до оси вращения исполнительного органа;

$R_\partial$  – радиус диска по концам резцов;

$\alpha$  – угол, определяющий положение резца на диске;

$\omega_\partial$  – угловая скорость вращения дисков относительно их осей.



**Рисунок. – К определению скорости резания породы резцами планетарно-дискового исполнительного органа**

Из (9) следует, что  $v_p$  – величина переменная как по модулю, так и по направлению. В связи с этим, считаем целесообразным пользоваться приближенным значением этой скорости

$$v_p = \omega_\partial \cdot R_\partial. \tag{10}$$

Применение формулы (10) оправдано для расчетов реальных машин, у которых  $\omega_\partial \gg \omega_o$ , а  $v_n \ll \omega_\partial \cdot R_\partial$ .

В [4-6] предлагается несколько другой способ вычисления суммарной силы резания, основанный на использовании среднего значения толщины стружки, снимаемой резцами исполнительного органа. В том случае, когда резцы совершают вращательные движения вокруг оси исполнительного органа с постоянным радиусом, затраты мощности на резание можно определить по формуле

$$N_p = P_p \cdot v_p, \tag{11}$$

где  $P_p$  – суммарная сила резания резцов, взаимодействующих с породой;  
 $v_p$  – скорость резания.

Тогда из (11) получаем простое выражение для вычисления силы резания

$$P_p = \frac{N_p}{R_0 \cdot \omega_\partial}, \quad (12)$$

где  $R_0$  – радиус, на котором приложена равнодействующая сил резания.

Мощность, необходимая для резания, при этом вычисляется по формуле (4), которая записывается в виде

$$N_p = e \cdot Q_p. \quad (13)$$

Удельные затраты мощности на резание породы зависят от толщины стружки, снимаемой резцами исполнительного органа (7). Для планетарно-дискового рабочего органа толщина стружки, снимаемой резцами (см. рисунок), может быть представлена в виде векторной суммы передней и боковой толщин. В формулу (7) обычно входят средняя толщина стружки. Вычислим среднее значение передней толщины стружки

$$h_n = \frac{2}{3} h_{\max}, \quad (14)$$

где  $h_{\max}$  – максимальное значение передней толщины стружки.

Для резцов, совершающих поступательное, переносное и вращательное относительные движения при угле контакта с породой, равном  $\pi$ , максимальное значение толщины стружки

$$h_{\max} = v_n \frac{2\pi}{\omega_\partial \cdot z_\partial}, \quad (15)$$

а среднее:

$$h_n = v_n \frac{4}{\omega_\partial \cdot z_\partial}, \quad (16)$$

где  $z_\partial$  – среднее число резцов в линиях резания.

Таким же способом определим и среднее значение боковой составляющей толщины стружки

$$h_6 = \omega_o \cdot R_o \frac{2\pi}{\omega_\partial \cdot z_\partial}. \quad (17)$$

Тогда среднее значение толщины стружки

$$h = \sqrt{h_n^2 + h_6^2} = \frac{2}{\omega_\partial \cdot z_\partial} \sqrt{4 v_n^2 + \pi^2 \cdot \omega_o^2 \cdot R_o^2}. \quad (18)$$

Полученная зависимость дает возможность определить (7) удельные затраты мощности, а также мощность, необходимую для разрушения породы резанием и равнодействующую (12) сил резания, действующих на исполнительный орган планетарно-дискового типа.

### Заключение

Предлагаемые в этой работе методические основы определения основных кинематических показателей взаимодействия резцов одного из вариантов планетарно-

дискового исполнительного органа необходимы для его энергетических расчетов, а также для определения нагрузок, действующих на него. Эта методика базируется на зависимостях, предложенных профессорами И.А. Тиме и Ф.А. Опейко. Использование этой методики позволяет сократить объем вычислительных работ, а также повысить точность расчетов.

#### Список использованных источников

1. Морев, А.Б. Горные машины для калийных рудников / А.Б. Морев, А.Д. Смыч-ник, Г.В. Казаченко. – Минск: Интерполиграф, 2009. – 544 с.
2. Солод, В.И. Горные машины и автоматизированные комплексы / В.И. Солод, В.И. Зайков, К.М. Первов. – М.: Недра, 1981. – 503 с.
3. Подерни, Р.Ю. Горные машины и комплексы для открытых работ: в 2-х то-мах / Р.Ю. Подерни. – М.: МГГУ, 2001. – 754 с.
4. Опейко, Ф.А. Торфяные машины / Ф.А. Опейко. – Минск: Вышэйшая школа, 1968. – 408 с.
5. Басалай, Г.А. Повышение эффективности работы спаренного планетарно-дискового исполнительного органа проходческо-очистного комбайна / Г.А. Басалай // Горная механика и машиностроение. – 2014. – № 1. – С. 83-92.
6. Казаченко, Г.В. Основы расчета затрат мощности и производительности очи-стных и проходческих комбайнов / Г.В. Казаченко, Н.В. Кислов, Г.А. Басалай. – Минск: БНТУ, 2015. – 75 с.

---

Gavrikov A.A., Volchek O.M., Kozachenko G.V.

#### Some parameters of planetary-disk executive body of a roadheading machine

*The article considers the working body of a roadheading machine for capital and temporary mine workings tunneling. It can be also used in winning machines for underground chamber mining of mineral deposits. The rock breaking has been studied in the paper from kinematic and dynamic points of view, as well as considering the conservation laws.*

Поступила в редакцию 03.02.2017 г.