

МАШИНОСТРОЕНИЕ

УДК 622.271.323.013(045)

**РАСЧЕТ УСИЛИЯ И СКОРОСТИ ПОДАЧИ
ОЧИСТНОГО КОМБАЙНА НА ЗАБОЙ**

Казаченко Г.В., Басалай Г.А., Глинистый С.Л. (УО «Белорусский национальный технический университет», г. Минск, Беларусь)

Предлагается способ расчета усилия подачи на забой очистного комбайна с исполнительным органом в виде шнек-фрезы. Расчет базируется на общепринятых зависимостях сил, действующих на резы, от прочности породы и основных геометрических и кинематических параметров процесса резания. Полученные зависимости иллюстрируются графически.

Введение

В настоящее время основным исполнительным органом очистных комбайнов являются шнек-фрезы с горизонтальной осью вращения. Современные комбайны оснащены системами управления и контроля, позволяющими выбирать скорости подачи, обеспечивающие близкое к оптимальному использование мощности двигателей привода шнек-фрез. Нагрузки этого механизма и механизмов подачи зависят от сопротивления подаче исполнительного органа на забой, которое, в свою очередь, связано с силами сопротивления резанию на исполнительном органе. Расчет этих нагрузок и является целью настоящего исследования. При этом пользуемся балансовыми соотношениями, схема применения которых приведена в [1, 2, 3].

**Моделирование работы очистного комбайна и исследование
сопротивления подаче**

В качестве основных режимных параметров, влияющих на величину сил сопротивления резанию и подаче исполнительного органа, возьмем угловую скорость вращения шнек-фрезы и скорость подачи и запишем уравнения баланса мощности для привода исполнительного органа и механизма подачи в случае раздельного привода этих механизмов (рисунок 1). Дополнительным условием, связывающим эти скорости, будем считать баланс производительности. Таким образом, получим систему уравнений

$$\begin{cases} N_{дш} - N_{ш} = 0; \\ N_{дп} - N_{п} = 0, \end{cases} \quad (1)$$

где $N_{дш}$ – мощность двигателя шнек-фрезы;

$N_{ш}$ – мощность, затрачиваемая на работу шнек-фрезы, включая мощность на погружку породы на забойный конвейер;

$N_{дп}$ – мощность двигателя привода механизма подачи;

$N_{п}$ – мощность, затрачиваемая на преодоление сил сопротивления подаче.

Дополнительное условие запишем в виде $Q - Q_{ш} = 0$,

где Q – объемная производительность комбайна;

$Q_{ш}$ – производительность шнека, как транспортирующего и погрузочного органа.

Выпишем формулы для определения величин, входящих в систему при условии, что $N_{дш}$ и $N_{дп}$ являются заданными. Мощность для привода шнек-фрезы:

$$N_{ш} = \frac{e_p \cdot Q}{\eta} + \frac{P_{oc} \cdot v_{oc}}{\eta \cdot \eta_{ш}} + \frac{\rho \cdot g \cdot Q \cdot h_{п}}{\eta \cdot \eta_{пш}}, \quad (2)$$

где e_p – удельные затраты мощности на разрушение породы шнек-фрезой;

η – КПД привода шнек-фрезы;

P_{oc} – сопротивление перемещению отбитой породы при погрузке на конвейер;

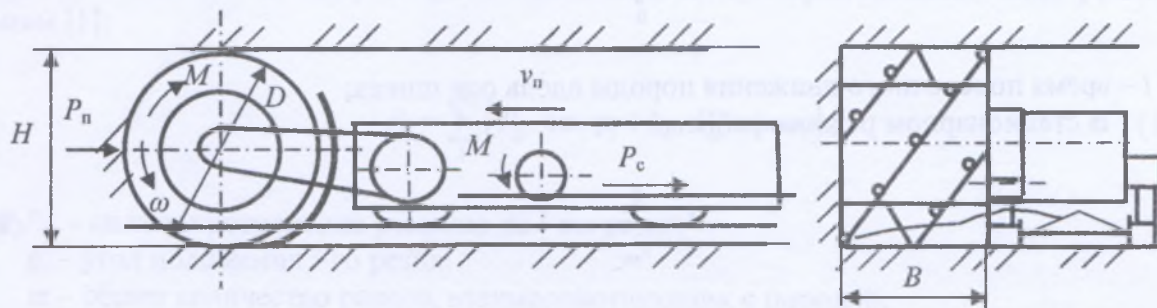
$\eta_{ш}$ – КПД шнек-фрезы как транспортирующего устройства;

v_{oc} – скорость перемещения породы вдоль оси шнека;

ρ – плотность породы;

$h_{п}$ – высота подъема породы на конвейер;

$\eta_{пш}$ – КПД шнека как механизма погрузки.



P_c – сила сопротивления перемещению комбайна;

P_n – сила сопротивления подаче шнек-фрезы на забой; M – момент сопротивления резанию;

v_n – скорость подачи комбайна; D – диаметр шнек-фрезы по концам режущих кромок зубков;

B – ширина захвата шнек-фрезы; H – толщина фрезеруемого слоя

Рисунок 1 – Схема нагрузок, действующих на очистной комбайн

Для вычисления удельного сопротивления резанию будем пользоваться формулой [1]:

$$e_p = c_1 \cdot h^{c_2}, \quad (3)$$

где c_1 и c_2 – параметры, определяемые экспериментально;

h – средняя толщина слоя породы, снимаемого резцами.

Величину P_{oc} в первом приближении примем равной силе трения перемещаемой породы о подошву выработки:

$$P_{oc} = f \cdot m \cdot g, \quad (4)$$

где f – коэффициент трения отбитой породы о подошву выработки;

m – масса перемещаемой шнеком породы;

g – ускорение силы тяжести.

Осевая скорость перемещения определяется выражением:

$$v_{oc} = \psi \frac{h_n \cdot \omega}{2 \cdot \pi}, \quad (5)$$

где h_n – шаг шнека по винтовой линии;

ω – угловая скорость вращения шнека;

ψ – коэффициент циркуляции породы в шнеке.

Массу передвигаемой шнеком породы определим из условия, вытекающего из баланса производительности:

$$\rho \cdot Q = \rho_n \cdot Q_{oc}, \quad (6)$$

где Q_{oc} – осевая объемная производительность шнека;

ρ_n – плотность передвигаемой массы;

Так как $\rho_n \cdot Q_{oc} = \frac{dm}{dt}$, то

$$m = \int_0^t \rho \cdot Q \cdot dt, \quad (7)$$

где t – время поперечного движения породы вдоль оси шнека;

В стационарном режиме работы:

$$t = \frac{l}{v_{oc}}, \quad (8)$$

где l – среднее расстояние поперечного перемещения вынимаемой породы.

Таким образом, масса перемещаемого шнеком материала:

$$m = \rho \cdot Q \frac{l}{v_{oc}}, \quad (9)$$

При работе шнек-фрезы полным захватом средняя глубина резания:

$$h = 4 \frac{v_n}{\omega \cdot z}, \quad (10)$$

где z – число резцов в линии резания.

Подставив (4), (5), (9) и (10) в (2) и учитывая, что $Q = \rho \cdot D \cdot B \cdot v_n$, получим:

$$N_{ш} = \frac{c_1 \left(\frac{4 \cdot v_n}{\omega \cdot z} \right)^2 \cdot D \cdot B \cdot v_n}{\eta} + \frac{f \cdot \rho \cdot g \cdot D \cdot B \cdot v_n}{\eta \cdot \eta_{ш}} + \frac{\rho \cdot g \cdot D \cdot B \cdot v_n \cdot h_n}{\eta \cdot \eta_{мм}}. \quad (11)$$

Мощность, необходимая для перемещения очистного комбайна:

$$N_n = P_c \cdot v_n \frac{1}{\eta_n}, \quad (12)$$

где P_c – сила сопротивления перемещению комбайна;

η_n – КПД привода механизма подачи.

Общая сила P_c сопротивления перемещению представляет собой сумму сил сопротивления движению собственно комбайна вдоль вынимаемого столба породы и подачи исполнительного органа на забой, т. е.:

$$P_c = P_n + P_d, \quad (13)$$

где P_n – сила сопротивления подаче шнек-фрезы на забой;

P_d – сила сопротивления движению собственно комбайна.

Определяя P_n , рассмотрим взаимодействие шнек-фрезы с породой (рисунок 2).

Общую силу сопротивления подаче можно представить, как сумму сил сопротивления подаче отдельных резцов. Проектируя силу воздействия породы на направление подачи, и, считая силу сопротивления подаче пропорциональной силе резания, имеем [1]:

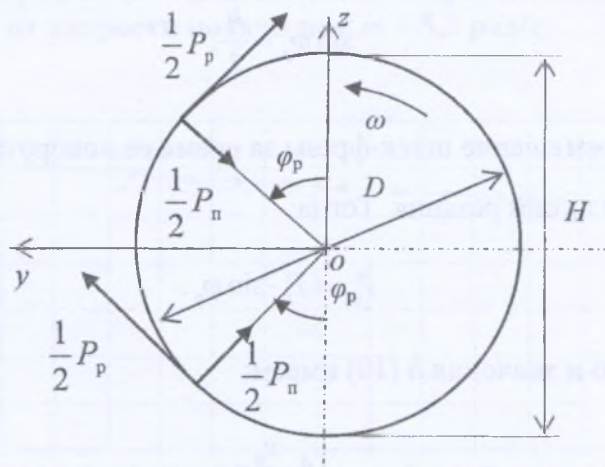
$$P_n = \sum_1^m (P_{ip} \cdot \cos \varphi_i + k_n \cdot P_{ip} \cdot \sin \varphi_i), \quad (14)$$

где P_{ip} – сила сопротивления резанию на i -ом резце;

φ_i – угол положения i -го резца;

m – общее количество резцов, взаимодействующих с породой;

k_n – коэффициент пропорциональности сопротивления подаче относительно силы резания.



φ_p – угол приложения равнодействующих сил сопротивления резанию и подачи;

D – диаметр шнек-фрезы по концам режущих кромок зубков;

H – толщина фрезеруемого слоя; ω – угловая скорость вращения шнек-фрезы;

P_n – сила сопротивления подаче шнек-фрезы на забой;

P_p – приведенная сила сопротивления резанию

Рисунок 2 – К определению равнодействующей сил сопротивления резанию и подачи

Формула (14) определяет текущее значение силы сопротивления подаче, которое зависит от значения m , меняющегося в процессе работы и вызывающего колебания P_n относительно некоторого среднего значения. При симметричном расположении резцов и работе шнек-фрезы полным захватом:

$$P_n = k_n \cdot \sum_1^m P_p \cdot \sin \varphi_i, \quad (15)$$

так как в этом случае (рисунок 2):

$$\sum_1^m P_p \cdot \cos \varphi_i = 0.$$

Обозначим:

$$\sum_1^m P_p \cdot \sin \varphi_i = P_{pz}, \quad (16)$$

где P_{pz} – суммарная вертикальная составляющая сил резания отдельных резцов.

Среднее значение этой силы удобнее вычислить, исходя из среднего значения суммарной силы резания:

$$P_p = \frac{2 \cdot N_p}{\omega \cdot D}, \quad (17)$$

где $N_p = e_p \cdot D \cdot B \cdot v_n$.

Учитывая симметрию распределения сил резания относительно оси ou , разделим окружную распределенную силу резания на две равные по величине части (рисунок 2) и, приложив эти силы в точках, соответствующих средней толщине стружки, можно определить точку приложения половины приведенной равнодействующей сил резания из условия:

$$\sin \varphi_p = \frac{h}{\lambda},$$

где $\lambda = \frac{2 \cdot \pi \cdot v_n}{\omega \cdot z}$ – перемещение шнек-фрезы за время ее поворота на угол между двумя смежными резцами в линии резания. Тогда:

$$P_{pz} = P_p \cdot \sin \varphi_p. \quad (18)$$

С учетом этого и значения h (10) имеем:

$$P_{pz} = \frac{2 \cdot e_p \cdot B \cdot v_n}{\omega} \cdot \frac{4 \cdot \frac{v_n}{\omega \cdot z}}{2 \cdot \pi \cdot \frac{v_n}{\omega \cdot z}} = \frac{4 \cdot e_p \cdot B \cdot v_n}{\pi \cdot \omega}. \quad (19)$$

В результате получаем формулу для вычисления силы сопротивления подаче шнек-фрезы:

$$P_n = k_n \frac{4 \cdot e_p \cdot v_n \cdot B}{\pi \cdot \omega} \quad (20)$$

Эта формула дает усредненное значение этой силы и иллюстрируется графиками, приведенными на рисунках 3 и 4. Эти графики построены с учетом зависимости e_p от среднего значения толщины стружки, т. е. по формуле:

$$P_n = 4 \frac{c_1 \cdot \left(4 \frac{v_n}{\omega \cdot z}\right)^{c_2} \cdot v_n \cdot B}{\pi \cdot \omega} \quad (21)$$

При построении графиков значения коэффициентов c_1 и c_2 , а также параметров B, D, z взяты из [1].

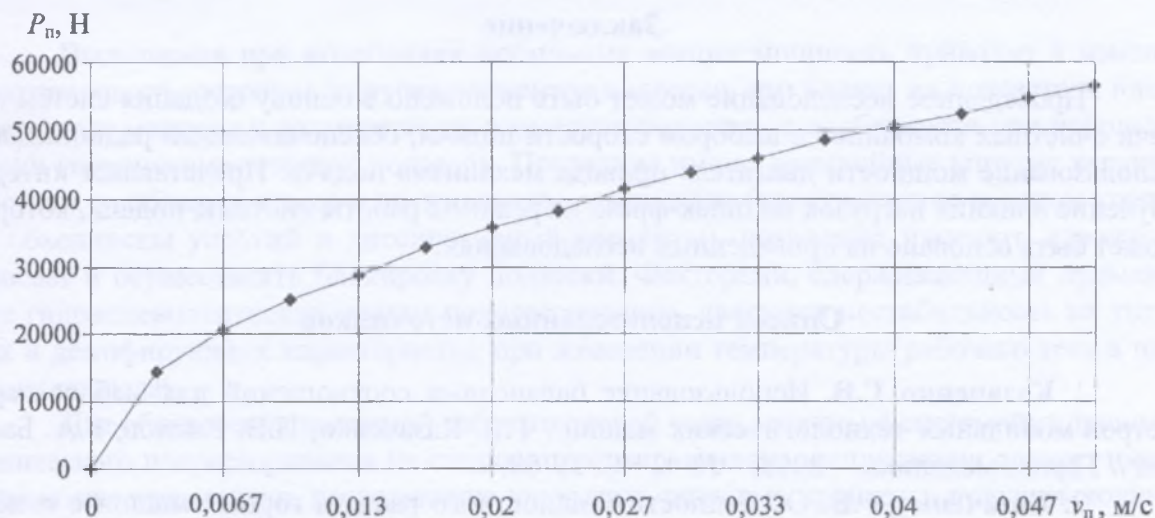


Рисунок 3 – График зависимости силы сопротивления подаче от скорости подачи при $\omega = 5,2$ рад/с

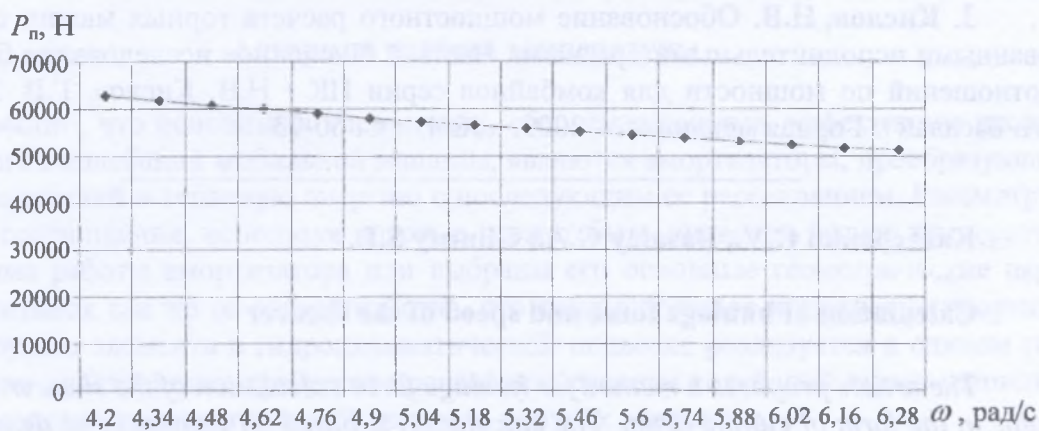


Рисунок 4 – График влияния угловой скорости на сопротивление подаче при $v_n = 0,05$ м/с

Анализируя эти графики и формулу (21), можно сделать вывод о возможности выбора рациональных значений v_n и ω , обеспечивающих минимизацию мощности при-

ГОРНАЯ МЕХАНИКА И МАШИНОСТРОЕНИЕ №9 1. 2011

вода подачи комбайна. Эта мощность зависит и от величины силы P_{pz} , так как сила сопротивления перемещению:

$$P_c = f(m \cdot g \cdot \cos \alpha \pm P_{pz}) \pm m \cdot g \cdot \sin \alpha, \quad (22)$$

где α – угол подъема выработки.

Знаки \pm учитывают направление вращения шнек-фрезы и возможность работы машины по падению пласта.

Полученные зависимости позволяют записать балансовые соотношения (1) в явном виде и рассматривать их как систему двух уравнений для определения угловой скорости шнек-фрезы и скорости подачи комбайна при заданных мощностях двигателей привода исполнительного органа и механизма подачи, т. е. выбирать их оптимальными для конкретных условий работы.

Заключение

Проведенное исследование может быть положено в основу создания систем подачи очистных комбайнов с выбором скорости подачи, обеспечивающей рациональное использование мощности двигателя привода механизма подачи. Представляет интерес изучение влияния нагрузок на шнек-фрезу на режимы работы системы подачи, которое может быть основано на проведенных исследованиях.

Список использованных источников

1. **Казаченко, Г.В.** Использование балансовых соотношений для выбора параметров мобильных технологических машин / Г.В. Казаченко, Н.В. Кислов, Г.А. Басалай // Горная механика. – 2008. – № 4. – С. 59-68.
2. **Казаченко, Г.В.** Особенности мощностного расчета горных машин с комбинированными исполнительными органами. Часть 1. Баланс мощности проходческого комбайна с соосными роторами / Г.В. Казаченко, Н.В. Кислов, Г.А. Басалай // Горная механика. – 2009. – № 2. – С. 77-88.
3. **Кислов, Н.В.** Обоснование мощностного расчета горных машин с комбинированными исполнительными органами. Часть 2. Численное исследование балансовых соотношений по мощности для комбайнов серии ПК / Н.В. Кислов, Г.В. Казаченко, Г.А. Басалай // Горная механика. – 2009. – № 4. – С. 60-73.

Kazachenko G.V., Basalay G.A., Glinisty S.L.

Calculation of haulage force and speed of the shearer

The article proposes a method for haulage force calculation of the shearer with an actuator in the form of cutting drum. The calculation is based on conventional dependences of forces acting on picks: rock strength and main geometric and kinematic parameters of the cutting process. The obtained dependences are graphically illustrated in the article.

Поступила в редакцию 08.02.2011 г.