

А.В. Бубликов, В.В. Бубликов, В.В. Загорудько
(Украина, Днепрпетровск, Национальный горный университет)

ОСОБЕННОСТИ РЕЖИМА РАБОТЫ ДОБЫЧНОГО КОМБАЙНА КДК 500 ПО КРИТЕРИЮ МИНИМАЛЬНЫХ УДЕЛЬНЫХ ЭНЕРГОЗАТРАТ (часть 1)

Добычной узкозахватный комбайн КДК 500 – комбайн нового поколения для средних и высоких пластов с двумя бесцепными системами подачи, оснащенными частотно-регулируемым электроприводом мощностью 2×45 кВт [1]. КДК 500 относится к добычным комбайнам повышенной энерговооруженности. Каждый блок привода резания снабжен нерегулируемым приводным электродвигателем мощностью 250 кВт при работе в режиме S1. Это позволяет добычному комбайну развивать значительную скорость перемещения вдоль забоя (до 20 м/мин при малой сопротивляемости угля резанию). Однако в большинстве случаев на сегодняшний день добычной комбайн не может работать с максимально нагруженным электродвигателем привода резания. Этому есть несколько причин:

- устаревшее забойное оборудование. Так, в нашем случае скорость крепления забойной механизированной крепи не должна ограничивать скорость подачи комбайна, а транспортирующая способность конвейера должна быть больше максимального количества добываемого угля.
- особенности горно-геологических условий добычи угля. К примеру, содержание в пласте крупных консолидированных включений ограничивает скорость подачи комбайна из-за риска мгновенного опрокидывания электродвигателя привода резания при встрече резца с включением или на пластах с повышенным метановыделением существует ограничение на скорость подачи по критическому содержанию метана в воздухе забойного пространства.

Поскольку во многих случаях управление добычным комбайном не может происходить по критерию максимальной производительности, на который ориентированы все существующие на данный момент автоматические системы (в том числе и установленная на комбайне КДК 500), то проблема создания новых автоматических систем управления, которые поддерживают режим работы добычного комбайна с оптимизацией иных критериев рациональной работы, например, критерия минимальных удельных энергозатрат, является актуальной. Для ее решения необходимо рассмотреть ряд задач, одна из которых – исследование с помощью математического моделирования степени эффективности использования электроэнергии на разрушение угля во всем диапазоне регулирования скорости подачи при влиянии внешних возмущающих воздействий.

Аналитически задача выглядит следующим образом:

$$\begin{aligned}
W(\vec{X}_{вх}, \vec{V}_{возм}, V_{нод}, V_{рез}) &\rightarrow \min; \\
\vec{X}_{вх} &= (x_1, x_2, \dots, x_n) \rightarrow \text{const}; \\
\vec{V}_{возм} &= (v_1, v_2, \dots, v_m) \rightarrow \text{var}; \\
V_{нод} &\rightarrow \text{var}; \\
V_{рез} &\rightarrow \text{const},
\end{aligned}$$

где W – удельные энергозатраты при работе добычного комбайна, кВт·ч/т (это функция нескольких переменных, которую нужно минимизировать); $\vec{X}_{вх}$ – вектор входных данных, представляющих собой горно-геологические параметры горной выработки, технологические и конструктивные параметры добычного комбайна. Все перечисленные параметры в течение моделируемого времени работы добычного комбайна остаются неизменными; $\vec{V}_{возм}$ – вектор внешних воздействий, которые влияют на нагрузку исполнительных органов в процессе работы добычного комбайна. Эти воздействия изменяются во времени и к ним можно отнести сопротивляемость угля резанию A_p , Н/мм; мощность пласта H , м; площадь затупления резцов S_3 , см²; скорость подачи добычного комбайна $V_{нод}$, м/мин. Данной величиной мы управляем по определенному алгоритму с целью минимизировать удельные энергозатраты; $V_{рез}$ – скорость резания добычного комбайна, м/с. У комбайна КДК 500 не регулируется.

На основании методики расчета силовых и энергетических параметров добычного комбайна в условиях горной выработки [2] разработана детерминированная математическая модель для комбайна КДК 500, которая имеет следующий комплекс параметров: 20 входных, 4 выходных и 3 возмущающих.

Входными параметрами модели являются горно-геологические условия горной выработки, технологические и конструктивные параметры добычного комбайна. Необходимые конструктивные и технологические параметры добычного комбайна КДК 500 были получены благодаря сотрудничеству с инженером Донгипроуглемаша В.М. Костюковым. Горно-геологические условия горной выработки взяты для четвертой западной лавы Лидиевского пласта шахты “Трудовская” Донецкого бассейна [3].

Выходные параметры модели: P – потребляемая мощность привода комбайна, кВт; Q – теоретическая производительность комбайна, т/мин; W – удельные энергозатраты, кВт·ч/т; $V_{нод}$ – скорость подачи комбайна, м/мин, которая принята в качестве управляемого параметра. Скорость резания в данном примере – входной параметр. Возмущающими параметрами матмодели являются сопротивляемость угля резанию A_p , Н/мм; мощность пласта H , м; площадь затупления резцов S_3 , см².

Для получения зависимостей выходных параметров от входных и возмущающих разработан алгоритм детерминированной математической модели добычного комбайна КДК 500 (рис. 1).

Алгоритм модели реализует расчет силовых и энергетических параметров, а также теоретической производительности комбайна методом обхода резцов в среде программы Mathcad.2000, что позволило исследовать поведение выходных параметров при ограничениях на нагрузку электродвигателя привода резания, на конструктивный вылет резцов и на транспортирующую способность шнековых исполнительных органов. Нагрузочные показатели комбайна определяются последовательно по каждому отдельному резцу за полный оборот шнека. В начале алгоритма устанавливается первое значение одного из возмущающих воздействий, допустим это будет сопротивляемость угля резанию, (блок 1) и задается счетчик изменения этого параметра (блок 2). В блоках 3, 4 выполняются те же действия относительно скорости подачи комбайна. Затем выполняется подпрограмма определения нагрузки на шнеках комбайна (блок 5). На основании расчетных данных определяется усилие подачи комбайна (блок 6), которое согласно работе [2]

$$Y_n = K_f \cdot [G \cdot (\sin \alpha + f'' \cdot \cos \alpha) + F_b], \text{ Н}\cdot\text{м},$$

где $K_f = 1,3-1,5$ – коэффициент, учитывающий дополнительное сопротивление перемещению комбайна; G – вес комбайна, кг; α – угол падения пласта, град; $f'' = 0,18-0,25$ – коэффициент трения комбайна о став конвейера; F_b – равнодействующая сил резания комбайна вдоль оси b , Н·м.

Далее в блоках 7-9 вычисляются значения мощности резания по каждому шнеку в отдельности и в целом по комбайну:

$$P_{p_1} = \frac{F_{o_1} \cdot V_{p_1}}{1000 \cdot \eta_p}, \text{ кВт};$$

$$P_{p_2} = \frac{F_{o_2} \cdot V_{p_2}}{1000 \cdot \eta_p}, \text{ кВт};$$

$$P_p = P_{p_1} + P_{p_2}, \text{ кВт},$$

где F_{o_1}, F_{o_2} – окружные усилия резания шнеков комбайна, Н·м; η_p – КПД режущей части комбайна.

В блоках 10-12 определяются мощности, затрачиваемые на погрузку угля каждым шнеком в отдельности и комбайном в целом.

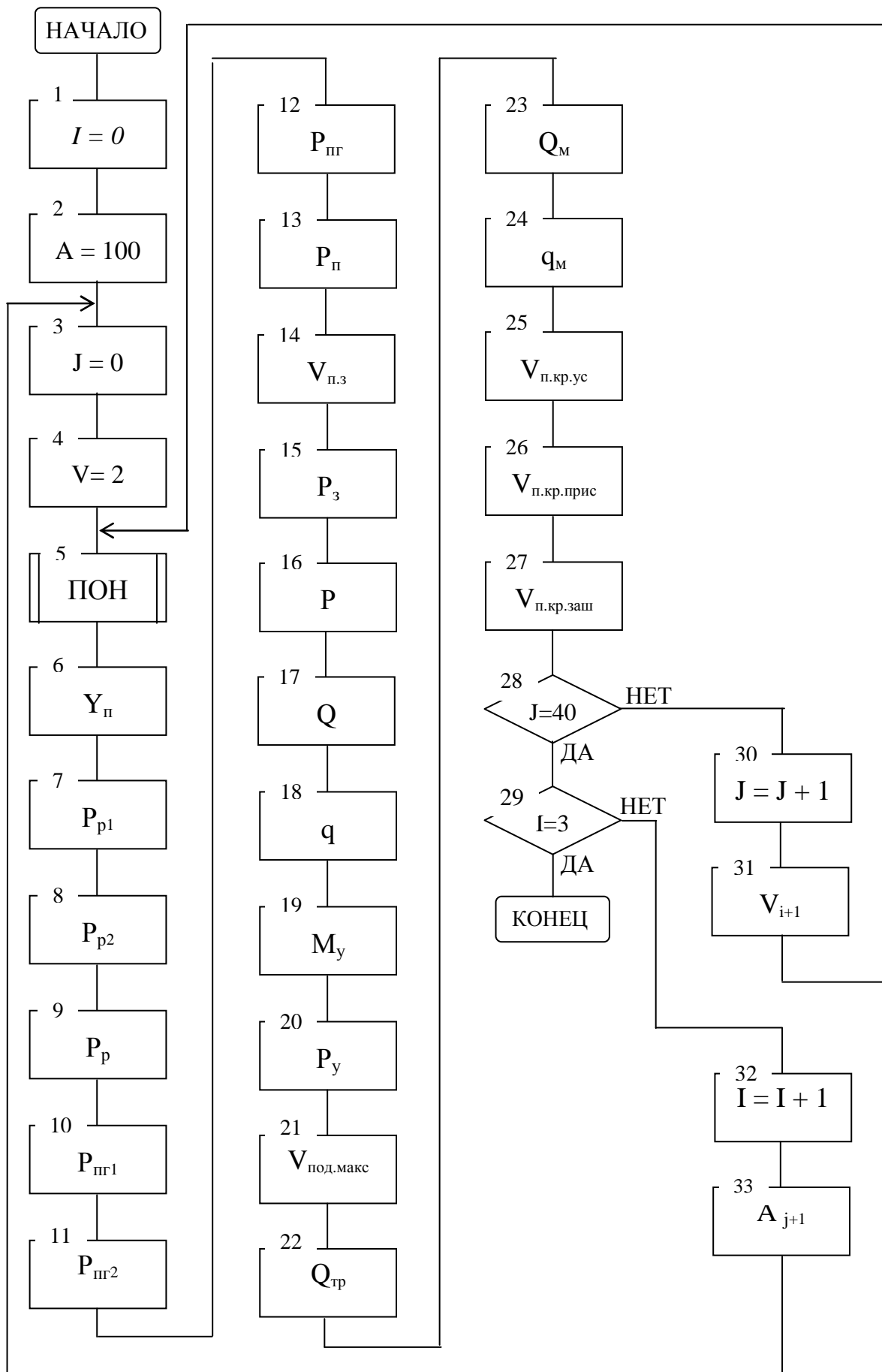


Рис. 1. Схема алгоритма имитационной модели комбайна

$$P_{n.z_1} = \frac{F_{n_1} \cdot V_{p_1}}{1000}, \text{ кВт};$$

$$P_{n.z_2} = \frac{F_{n_2} \cdot V_{p_2}}{1000}, \text{ кВт};$$

$$P_{n.z} = P_{n.z_1} + P_{n.z_2}, \text{ кВт}.$$

Далее в блоке 13 вычисляется значение мощности, которая затрачивается на подачу комбайна:

$$P_n = \frac{Y_n \cdot V_n}{60 \cdot 1000 \cdot \eta_n}, \text{ кВт},$$

где Y_n – суммарное усилие подачи комбайна, Н·м; V_n – скорость подачи комбайна, м/мин; η_n – КПД подающей части комбайна.

Для учета момента заштыбовки исполнительных органов комбайна в блоке 14 определяется ограничение скорости подачи по условию заштыбовки [2]. Затем определяются дополнительные затраты мощности комбайна при его работе в условиях заштыбовки (блок 15).

$$P_3 = \frac{D_3 \cdot V_p \cdot E_{cp}}{3} \cdot \frac{(V_n - V_{n.3})}{V_{n.3}}, \text{ кВт},$$

где D_3 – поверхность сопротивления шнека движению угля, м²; $E_{cp} = 0,9-1,0$ – показатель приращения нагрузки; V_n – скорость подачи комбайна, м/мин; $V_{n.3}$ – критическая скорость подачи комбайна по условию заштыбовки, м/мин.

В блоке 16 определяется суммарная мощность, потребляемая комбайном.

$$P = P_{xx} + P_p + P_{n2} + P_n + P_3, \text{ кВт}.$$

Затем вычисляется теоретическая производительность комбайна (блок 17).

$$Q = bb \cdot m \cdot \gamma \cdot V_n, \text{ т/мин},$$

где bb – ширина захвата исполнительного органа комбайна, м; m – мощность пласта, м; γ – объемный вес угля, т/м³.

Тогда удельные энергозатраты комбайна (блок 18)

$$q = \frac{P}{60 \cdot Q}, \text{ кВт·ч/т}.$$

В блоке 19 вычисляется устойчивый момент двигателя комбайна [2].

$$M_y = \frac{M_k}{(1+k_y \cdot n_y) \cdot (1+k_m \cdot n_m)}, \text{ Н}\cdot\text{м},$$

где M_k – фактический в условиях шахтной сети максимальный момент двигателя комбайна, Н·м.

$$M_k = \frac{74130 \cdot M_{cm}}{(0,1 \cdot M_{cm})^{1,83} + 74130}, \text{ Н}\cdot\text{м},$$

где M_{cm} – максимальный стендовый момент двигателя, Н·м; v_y – коэффициент вариации среднего электромагнитного момента, обусловленный неточностью управления; v_m – коэффициент вариации потребляемой мощности, обусловленный колеблемостью сопротивляемости пласта резанию. Для вязких углей

$$v_m = (0,18 - 0,00034 \cdot A_p) \cdot B,$$

где A_p – сопротивляемость угля резанию пласта, Н/мм; B – хрупкость угля пласта.

Устойчивая мощность двигателя комбайна (блок 20)

$$P_y = \frac{n_{об} \cdot M_y}{9750}, \text{ кВт}$$

В блоке 21 вычисляется максимально допустимая скорость подачи по условию устойчивой работы электродвигателя привода резания.

$$V_{под.макс} = \begin{cases} V_{под.тек} & \text{при } P_{тек} < P_y; \\ V_{под.кр} = V_{под.тек} & \text{при } P_{тек} = P_y; \\ V_{под.кр} & \text{при } P_{тек} > P_y. \end{cases}$$

Список литературы

1. Костюков В.М., Сошенко И.Н. Высокопроизводительные очистные комбайны нового поколения КДК 500 и КДК 700 для пластов мощностью 1,35-4,3 м. // Уголь Украины. – 2003. – № 9. – С. 13-16.
2. Позин Е.З, Меламед В.З., Тон В.В. Разрушение углей выемочными машинами/ Под ред. Е.З. Позина. – М.: Недра, 1984. – 288 с.
3. Классификация по сопротивляемости резанию углей и угольных пластов основных бассейнов СССР // Отчет ИГД им. А.А. Скочинского. – М.: 1970.