Записки Ленинградского ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции и ордена Трудового Красного Знамени горного института им. Г. В. Плеханова, т. LXVII, вып. 1, 1975 г.

РАЦИОНАЛЬНЫЙ МЕТОД РАБОТЫ ДОБЫЧНОГО КОМБАЙНА

Канд. техн. наук *М. Д. Коломийцов*
(Ленинградский горный ин-т)

Технико-экономические показатели шахт все больше зависят от эффективности и надежности работы добычных комбайнов. Работа механизированных комплексов, а значит и шахты в целом, зависит от производительности комбайна. Мощность узкозахватных комбайнов непрерывно увеличивается, однако их производительность растет недостаточно, а аварийность остается высокой. Несоблюдение гарантированного срока наработки машины до капитального ремонта и аварии комбайнов снижают эффективность работы добычных участков. При простое комбайна в течение суток шахта недодает товарного угля на 10—15 тыс. руб.

Повышение эффективности работы добычных комбайнов сдерживается из-за несовершенства методики определения режима работы данной машины в конкретных горногеологических условиях. Режим работы характеризуется геометрией резцов, их взаимным расположением, скоростями резания и подачи. У серийных добычных комбайнов регулируемым во время работы режимным параметром является только скорость подачи, которая определяет производительность, величину и характер нагрузки комбайна, а также потери мощности в машине. Потери в приводе зависят от амплитуды, частоты и среднего значения нагрузки; величина и динамичность последней линейно зависят от скорости подачи. Скорость подачи комбайна устанавливают экспериментально, исходя из необходимости обеспечения заданной производительности лавы, с учетом нагрева и опрокидывания двигателя и устойчивости комбайна относительно забоя. Влияние скорости подачи на неравномерность нагрузки и надежность работы комбайна практически не учитываются, так как экспериментально в лаве установить допустимую степень неравномерности нагрузки невозможно, а теория по этому вопросу не разработана.

Неравномерность нагрузки определяется механическими свойствами разрушаемого угля и толщиной срезаемой резцом «стружки» h, *см*, которая зависит от расстояния между резцами в одной линии резания l, *см*, а также от значений скоростей подачи $v_п, \frac{м}{мин}$, и резания $v_р, \frac{м}{сек}$. Чем больше толщина стружки, тем выше неравномерность нагрузки, но меньше средняя потребляемая комбайном мощность

и больше возможная скорость подачи, а значит, производительность комбайна:

$$h = l\frac{v_п}{60v_р}\ см. \qquad (1)$$

Величину h целесообразно увеличивать до оптимального значения за счет снижения $v_р$ до значения, допустимого из условий заштыбовки исполнительного органа. С увеличением l снижается частота пульсации нагрузки на резец, изменяется внешняя динамика машины. С уменьшением $v_р$ дополнительно изменяется и внутренняя динамика машины: уменьшаются частота собственных колебаний, нагрев масла, работа трения; снижаются потери в приводе. Следовательно, выбор параметров резания необходимо производить в следующей последовательности: установить из условия заштыбовки минимально допустимое значение скорости резания; из конструктивных размеров исполнительного органа выбрать максимальную величину l; определить скорость подачи, обеспечивающую рациональный режим работы комбайна.

Под рациональным режимом работы комбайна следует понимать обеспечение его максимальной технической производительности при установленной горными условиями наработке Q тонн за межремонтный, безаварийный период. Комбайн должен добыть без аварий заданное количество угля за минимальное количество часов чистой работы T. После заданной наработки комбайн должен быть выдан в капитальный ремонт или списан. При этом стоимость машины или ее ремонта, расходы по эксплуатации (резцы, электроэнергия, смазка) имеют второстепенное значение и должны быть подчинены обеспечению рационального режима работы комбайна. В настоящее время отсутствует объективная оценка состояния комбайна, спускаемого в шахту, нет метода, который позволил бы определять режимные параметры с учетом качества ремонта (изготовления) комбайна.

Состояние машины, ее надежность, согласно ГОСТ 13377—67, определяется количеством часов чистой работы T. Для комбайнов величина T не может служить критерием надежности машины, поскольку комбайны работают с переменной нагрузкой и одна и та же машина в разных горных условиях и при изменении скорости подачи (производительности) может иметь различное значение T. Эффективность добычного комбайна должна определяться производительностью при заданной наработке в тоннах за межремонтный период.

Наработка комбайна в лаве составляет

$$Q = 60K_л v_п T,\ т, \qquad (2)$$

где

$$K_л = B m' \gamma,\ т/м; \qquad (3)$$

B — ширина захвата комбайна, $м$; m' — вынимаемая мощность пласта, $м$; γ — объемный вес угля в целике, $т/м^3$; $v_п$ — средняя скорость подачи комбайна, $м/мин$.

Для конкретных лав $K_л = \text{const}$. С ростом скорости подачи $v_п$ будут расти средняя и динамическая нагрузки на машину, а величина T будет снижаться. Следовательно, для каждого комбайна (в зависимости от его типа и качества), работающего в конкретных условиях, существует оптимальное значение скорости подачи $v_{п.опт}$, обеспечивающей Q_{max}, т. е. максимальную наработку на отказ. Если скорость подачи будет выше $v_{п.опт}$, увеличатся нагрузка и потери в машине, возрастет вероятность ее аварии и отказа, снизятся T и Q. При $v_п < v_{п.опт}$ величина T возрастет, однако низкая производительность машины

в единицу времени уменьшит производительность лавы и приведет к снижению Q. Рассмотрим метод определения этого соотношения.

На основании исследований по накоплению деформаций в приводах машин [1, 2, 4] разработана теория линейного суммирования повреждений. Сущность теории заключается в предположении, что для каждой машины (привода) накопленная за период эксплуатации деформация является величиной постоянной. Поскольку для создания деформации требуется определенная работа, можно считать, что привод каждого комбайна (двигатель и редуктор) может «вместить в себя» определенное количество энергии

$$K_к = T\Delta P, \ квт \cdot ч, \tag{4}$$

где $K_к$ — энергоемкость привода комбайна, являющаяся показателем прочности машины и зависящая от точности изготовления или ремонта и материала привода. Для данной машины $K_к$ является величиной постоянной и не зависит от характера нагрузки; ΔP — потери в приводе исполнительного органа комбайна. Стендовые испытания комбайнов, проведенные в ЛГИ, показали, что в пределах $P_1 = P_х \div 2P_н$

$$\Delta P = P_х + aP_1, \ квт, \tag{5}$$

где P_1 — потребляемая комбайном мощность, *квт*; $P_х$ — потери холостого хода (постоянные потери), *квт*; $P_н$ — номинальная мощность привода, *квт*; a — коэффициент потерь привода, характеризующий рост потерь в машине с увеличением потребляемой мощности. Величина a зависит от качества привода, точности сборки и характера нагрузки (режима работы машины).

При статической нагрузке, как показывают стендовые испытания комбайнов КШ-1КГ, проводимые в ЛГИ, $a_0 = 0{,}1 \div 0{,}2$. При динамической нагрузке величина a возрастает с увеличением коэффициента динамичности и частоты колебания усилий. Коэффициент потерь привода a определяет точность соблюдения конструктивных размеров элементов машины и режим ее работы. Стендовые и шахтные испытания комбайнов, проводимые в ЛГИ, позволяют считать, что

$$a = cv_п, \tag{6}$$

где c — коэффициент, зависящий от качества машины, режима ее работы и механических свойств разрушаемого пласта. Для узкозахватных комбайнов $c \approx 0{,}05 \div 0{,}3$ *мин/м*.

Значения a и $K_к$ должны определяться для обычных комбайнов экспериментально в процессе стендовых испытаний машин. На стенде замеряются потребляемая комбайном мощность P_1, мощность на выводных валах машины P_2 и мощность холостого хода $P_х$.

Многочисленные шахтные исследования комбайнов показывают, что потребляемая машиной мощность

$$P_1 = A + Bv_п, \ квт. \tag{7}$$

Выражение (7) является энергетической характеристикой работы машины [3]. B нем $v_п$ — средняя скорость подачи комбайна, *м/мин*; A — мощность, потребляемая комбайном в момент начала внедрения резцов в разрушаемый забой (в начальный момент подачи комбайна), *квт*. Величина A характеризует постоянные потери $P_х$ привода машины, потери на трение $P_{тр}$ резцов, прижатых к забою с усилием подачи $F_п$, т. е. с усилием, пропорциональным упругой деформации породы под резцом, и соответствующие величине A переменные потери в приводе:

$$A = P_х + aA + P_{тр}, \ квт, \tag{8}$$

или, полагая $P_х \approx P_{тр}$,

$$A \approx \frac{2P_х}{1-a}; \tag{9}$$

B — коэффициент, характеризующий интенсивность роста мощности с увеличением скорости подачи комбайна, *квт·мин/м*; физический смысл коэффициента B определяется следующим выражением

$$B = \frac{P_р + P_{тр} + P_т}{v_п} + aB, \ квт \cdot мин/м, \tag{10}$$

где $P_р$ — мощность, расходуемая на разрушение угля исполнительным органом комбайна; $P_{тр}$ — мощность, расходуемая на трение резцов об уголь, внедряемых в забой со скоростью резания; $P_т$ — мощность, расходуемая на транспортирование отделенных от забоя кусков угля исполнительным органом.

Полагая

$$B' = \frac{P_р + P_{тр} + P_т}{v_п}, \ квт \cdot мин/м, \tag{11}$$

выражение (10) перепишем в виде

$$B = \frac{B'}{1-a}, \ квт \cdot мин/м, \tag{12}$$

где B' учитывает расход мощности на полезную работу исполнительного органа комбайна при скорости подачи 1 *м/мин*.

Практически коэффициенты A и B надо определять экспериментально для каждого комбайна, работающего в данном забое, путем замера потребляемой комбайном мощности при изменении скорости подачи $v_п$ от нуля до максимально возможной для данных условий величины. При этом такие параметры комбайна, как скорость резания, крепость угля, степень затупления резцов, длина тягового органа и нагрев двигателя должны оставаться постоянными. Во многих случаях для данного комбайна существует семейство энергетических характеристик, коэффициенты которых определяют разные режимные и горные условия работы машины.

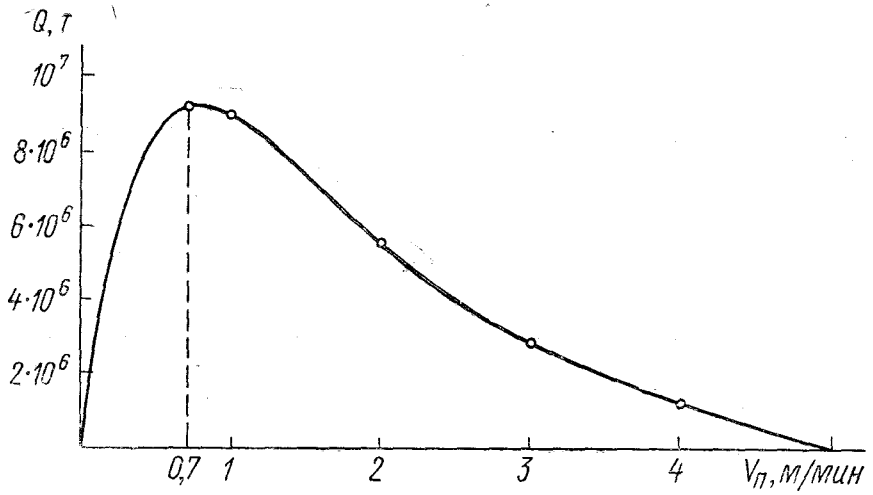
Решая совместно уравнения (2), (4), (5), (6), (7), (9), (12), найдем величину наработки комбайна на отказ до капитального ремонта (до аварии) в функции скорости подачи

$$Q = \frac{60K_л K_к (1 - cv_п) v_п}{P_х (1 + cv_п) + cB' v_п^2}, \ т. \tag{13}$$

Оптимальное значение скорости подачи комбайна $v_{п.\,опт}$, обеспечивающее максимальную наработку на отказ Q_{max}, найдем, приравняв нулю первую производную уравнения (13),

$$v_{п.\,опт} = \frac{-P_х + \sqrt{P_х \frac{B'}{c}}}{cP_х + B'}, \ м/мин. \tag{14}$$

На рисунке показана графическая интерпретация уравнений (13), (14). Кривая построена для следующих условий: $K_л = 70$ *т/м*; $K_к = \Delta T \ \Delta P = 30 \cdot 3000 = 90000$ *квт·ч*; $c = 0{,}2$ *мин/м*; $P_х = 10$ *квт*; $B' = 75$ *квт·мин/м*.



Зависимость наработки комбайна от скорости подачи

Подставляя значение $v_{\text{п. опт}}$ в уравнение (13), получим максимальное значение наработки комбайна до капитального ремонта

$$Q_{\max} \approx \frac{30 K_{\text{л}} K_{\text{к}}}{\sqrt{c B' P_{\text{х}}}}, \ т. \tag{15}$$

Уравнение (15) получено из приближенного выражения

$$v_{\text{п. опт}} \approx \sqrt{\frac{P_{\text{х}}}{cB'}}, \ м/мин, \tag{16}$$

при условии, что величина $P_{\text{х}}$ примерно в 10 раз меньше $\sqrt{\frac{P_{\text{х}} B'}{c}}$, а $cP_{\text{х}}$ в 50 раз меньше B'.

Уравнение (15) позволяет определять (прогнозировать) количество тонн добычи комбайном из конкретной лавы до капитального ремонта (отказа) машины при ее правильной эксплуатации.

Выводы

1. Рациональный режим работы комбайна должен определяться с учетом качества изготовления (ремонта машины) и конкретных условий ее работы. Качество изготовления, ремонта комбайна и условия его эксплуатации колеблются в широких пределах. Существующая теория работы добычных машин не позволяет рассчитать их режимные параметры с учетом указанных условий. Предложенный метод позволяет экспериментально (на стенде и в шахте) определять основные показатели комбайна, позволяющие выбирать основной режимный параметр — скорость подачи — и прогнозировать наработку комбайна до капитального ремонта.

2. Качество (надежность) комбайна, а также любого привода и редуктора целесообразно оценивать величиной энергоемкости машины $K_{\text{к}}$. В отличие от всех известных характеристик машин, эта величина определяет качество привода и не зависит от условий эксплуатации.

3. Предложенные зависимости (13)—(16) позволяют определять наработку на отказ и производительность комбайна. График (см. рисунок) позволяет прогнозировать максимальную производительность

в межремонтный период и допустимую скорость подачи. Предлагаемый метод определения наработки комбайна позволит технологам более обоснованно выбирать размеры добычного участка, а экономистам — прогнозировать эффективность механизации горных работ.

4. Предлагаемый метод определения рационального режима работы добычных машин может быть использован также при анализе работы буровых установок, экскаваторов и других машин, нагрузка которых при эксплуатации колеблется в широких пределах.

5. Для осуществления предложенных мероприятий необходимо организовать: а) на рудоремонтных заводах и заводах-изготовителях проверочные стендовые испытания комбайнов с регистрацией величин a, P_x при различном характере нагрузки; б) после спуска машины в шахту замеры потребляемой мощности и скорости подачи, что позволит построить энергетическую характеристику комбайна.

ЛИТЕРАТУРА

1. Банатов П. С. Износ и повышение долговечности горных машин. Недра, 1970.

2. Давыдов Б. Л. и др. Статика и динамика машин. Машиностроение, 1967.

3. Киклевич Н. А. Об использовании показателя сопротивляемости резанию в расчетах производительности угледобывающих машин. Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых, 1971, № 3.

4. Серенсен С. В. и др. Критерии разрушения при цикличном нагружении в упруго-пластической области. Машгиз, 1966.