Записки Ленинградского ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции
и ордена Трудового Красного Знамени горного института им. Г.В.Плеханова, 1983, т. 97

УДК 622.236.232

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКИ ОБОСНОВАННОЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ КОМБАЙНОВ

М.Д.КОЛОМИЙЦОВ

Добыча угля во всех бассейнах страны обеспечивается в основном механизированными комплексами с узкозахватными комбайнами. Во многих лавах производительность их достигает 1000 т и более угля в сутки. Однако часто комбайны добывают менее 500 т угля в сутки, так как велики аварийные простои из-за работы с перегрузками. Поэтому большое значение имеет научно обоснованное определение рациональной скорости подачи и производительности узкозахватных комбайнов.

Производительность комбайна и скорость подачи определяются двумя принципиально различными методами:

1) по среднестатистическим данным (математическая статистика) по результатам хронометражных наблюдений за работой большого числа комбайнов одного типа, добывающих уголь (сланец) в определенных горно-геологических условиях. Так планируется в настоящее время добыча лав в Министерстве угольной промышленности СССР;

2) расчетом допустимой скорости подачи и технически обоснованной эксплуатационной производительности конкретного комбайна в определенных горно-геологических условиях. Скорость подачи определяет допустимую нагрузку комбайна, которая зависит от восьми основных параметров: мощности и качества изготовления двигателя, редуктора и гидропривода подачи, перегрузочной способности двигателя, устойчивости комбайна на рештаках, заданной наработки (ресурса) приводов и затрат времени на выполнение вспомогательных операций.

Достоинством среднестатистического метода является его простота и достоверность получаемых средних значений производительности для большой группы комбайнов одного типа. Однако метод не учитывает конкретных особенностей комбайна, у которого могут быть разные резцы, тип и мощность двигателя, качество изготовления (новая машина и после третьего капитального ремонта), режим работы (диаметр шнеков, скорость резания, расположение резцов и т.д.). Недостаточно учитывается в этом методе и сопротивляемость пласта резанию, существенно зависящая от интенсивности отжима (скорости продвигания лавы, способа управления кровлей). Примеры перекрытия комбайном среднестатистической производительности или невозможность ее выполнения позволяют утверждать, что пользоваться статистическими данными целесообразно при определении производительности большой группы однотипных комбайнов (например, для бассейна в целом).

Расчету технически обоснованной производительности горных машин (комбайнов, буровых машин, экскаваторов) посвящено большое количество исследований. Максимально возможную скорость подачи рекомендуется определять по паспортной мощности комбайна, с учетом режимных параметров (скорости резания, схемы расположения резцов и их типа). Дополнительным ограничением скорости подачи предлагается принимать максимальное усилие резания, которое допустимо для резцов данного типа [7]; устойчивую мощность, с которой может работать комбайн без частых опрокидываний двигателя, [8]; удельные энергозатраты на разрушение [9]. В работе [10] отмечается, что устойчивая мощность двигателя не отражает возможностей двигателя по нагреву и предлагается определять допустимую по нагреву мощность комбайна по степенной функции, учитывая время, за которое комбайн может выполнить фиксированный объем работы. Построена номограмма, позволяющая рассчитывать эффективность использования мощности двигателя комбайном и оценивать его производительность. Однако эти и другие исследования не касаются зависимости производительности от качества (надежности) изготовления комбайнов и необходимой его наработки в межремонтный период (ресурса машины), что существенно влияет на допустим. скорость подачи [3].

Предлагаемый метод определения производительности основан на установлении функциональной связи производительности со скоростью подачи и скорости подачи с нагрузкой комбайна, допустимый уровень которой регламентируется перечисленными параметрами и требует знания потребляемой комбайном средней и мгновенной мощности в функции скорости подачи. Определить мгновенные значения усилий подачи и мощности (тока, напряжения, момента) на зажимах двигателя комбайна в функции скорости подачи можно только непосредственным измерением (регистрацией на ленту осциллографа) в забое на работающем комбайне. В статье Э.Л.Кантора, помещенной в данном томе, дан метод анализа этих нагрузок. Существующие расчетные методы позволяют с достаточной точностью определять только средние нагрузки [5]. Результаты сопоставления фактических значений мгновенной мощности и расчетных, полученных по методике [6], дают большое расхождение.

Экспериментальное определение нагрузок комбайна сложное и трудоемкое дело. Существует четыре понятия производительности: теоретическая, техническая, эксплуатационная комбайна и эксплуатационная комплекса (забоя, лавы).

Теоретическая производительность есть та максимальная производительность, которая может быть обеспечена при непрерывной работе, согласно техническим возможностям машины без учета условий ее эксплуатации:

$$Q = m_{max} B_{max} v_{max} \gamma, \qquad (I)$$

где m_{max} – максимальная мощность пласта, вынимаемая комбайном, исходя из его конструктивных особенностей, м; B_{max} – максимальная (конструктивная) ширина захвата, ширина разрушаемой комбайном полосы угля в лаве, м; v_{max} – максимальная конструктивная скорость подачи; γ – плотность угля в целике, т/м^3.

Знание теоретической производительности позволяет достаточно просто и достоверно сравнивать различные типы серийных и вновь проектируемых горных машин.

Техническая производительность - это максимальная производительность комбайна в данных конкретных условиях при непрерывной его работе без учета простоев:

$$Q_т = m_д B_д v_д \gamma, \qquad (2)$$

где $m_д$ - фактическая вынимаемая мощность пласта, м; $B_д$ - фактическая ширина захвата, м; $v_д$ - максимально возможная скорость подачи при непрерывной работе машины в данных конкретных условиях.

Знание технической производительности позволяет оценить возможности комбайна в данной лаве, определить необходимую максимальную производительность конвейера и других звеньев технологической цепочки участка, обеспечивающих комплексную механизацию добычи.

Эксплуатационная производительность комбайна - максимальная производительность с учетом неизбежных простоев, связанных с технологией работы машины:

$$Q_э = T m_д B_д \gamma \Big/ \left(\frac{1}{v_э} + M\right), \qquad (3)$$

где $v_э$ - эксплуатационная скорость подачи[x]; T - расчетное время работы комбайна, мин/сутки, мин/ч, мин/смена, мин/год; M - затраты времени на выполнение вспомогательных операций, неизбежных для данного комбайна в данной лаве и связанных с его конструктивными особенностями, мин/м.

Эксплуатационная производительность комбайна характеризует соответствие данного типа машины горно-геологическим условиям лавы и комплекса, т.е. рассматриваемой системе забой - комбайн. Если вспомогательные операции отсутствуют $M \to 0$ и $Q_э \to Q_т$. В этом случае комбайн используется наиболее рационально.

Эксплуатационная производительность комплекса (лавы)

$$Q_к = K_в Q_э, \qquad (4)$$

где $K_в$ - коэффициент использования комплекса во времени, $K_в = T - \Sigma t_к / T$; $\Sigma t_к$ - затраты времени на выполнение вспомогательных операций за сутки (смену, год) при работе комплекса, не совмещаемых с работой комбайна или временем его неизбежных простоев.

При определении недельной, месячной, годовой эксплуатационной производительности комплекса (комбайна) необходимо учитывать затраты времени на текущий осмотр и ремонт машин. Затраты времени на вспомогательные

---

[x] $v_э > v_д$, так как $v_э$ определяется с учетом неизбежных простоев комбайна во время выполнения вспомогательных операций: смены резцов, выемки ниш по концам лавы, спуска машины по лаве, смазки и профилактического осмотра, разбивки крупных глыб, которые не проходят под днищем комбайна. Если все эти операции отсутствуют во время работы комбайна (выполняются в ремонтную смену и необязательны при работе), то $v_э = v_д$.

операции в течение года зависят кроме того от времени монтажа и демонтажа комплекса, его узлов, вызванные авариями (вероятностная величина, зависящая от качества машины, срока ее эксплуатации и скорости подачи в данной лаве) и плановыми заменами машин.

Методика определения скорости подачи из условий нагрева двигателя изложена в работе [I]. Дополнительно необходимо отметить следующее.

При работе комплекса (лавы) часто среднее время включения комбайна $t_р$ оказывается небольшим, а время пауз $t_п$ значительным. Поэтому рациональный режим работы (скорость подачи) комбайна, обеспечивающий допустимый нагрев двигателя, должен выбираться из условий повторно-кратковременного режима, когда продолжительность включения

$$\varepsilon = t_р/(t_р + t_п) < 1. \qquad (5)$$

Найти оптимальное соотношение ε и v подбором, как это сделано в работе [I], в этом случае затруднительно.

Поэтому исследуем зависимость производительности от продолжительности включения аналитически. С учетом зависимостей (3)-(5) и полагая в выражении (3) производительность лавы $K_д = m_д B_д = \text{const}$, получим, что эксплуатационная производительность комплекса

$$Q_к = K_в K_л v \varepsilon T. \qquad (6)$$

Найдем оптимальное соотношение v и ε, обеспечивающее максимальную производительность. Из энергетической характеристики комбайна [I] скорость подачи

$$v = (P_1 - A)/B, \qquad (7)$$

где P_1 – потребляемая (средняя) мощность, кВт; A и B – коэффициенты, определяемые расчетом [5] или экспериментально.

Положим, что $P_1 = P_2 + \Delta P$ (здесь P_2 – допустимая мощность на валу комбайнового двигателя; ΔP – потери мощности в приводе комбайна). Исследования [2] показывают, что $\Delta P = P_х + \alpha P_2$, где $P_х$ – потери холостого хода привода, кВт; α – интенсивность роста потерь мощности с увеличением нагрузки.

Принимаем, что

$$A \approx P_х(2 - \alpha). \qquad (8)$$

Удельная мощность, потребляемая двигателем комбайна, B в уравнении (7) может быть представлена в виде $B = B' + \alpha B' = B'(1 + \alpha)$, где B' – мощность исполнительного органа комбайна, отнесенная к единице скорости подачи (не зависящая от скорости подачи), кВт·мин/м.

Подставляя в выражение (7) значения P_1, A и B, получим $v = (P_2 - P_х)/B'$. Тогда, с учетом уравнения (6)

$$Q_к = K_в K_л T \frac{P_2 - P_х}{B'} \varepsilon. \qquad (9)$$

Допустимая мощность на валу комбайнового двигателя, исходя из его нагрева, при повторно-кратковременном режиме работы

$$P_2 = P_н \frac{1 - e^{-\frac{t_р}{T_н \varepsilon}}}{1 - e^{-\frac{t_р}{T_н}}},$$

где $P_н$ – номинальная длительная мощность двигателя, кВт; $T_н$ – постоянная времени нагрева комбайнового двигателя, по данным завода-изготовителя $T \simeq 180$ мин.

Полагая $t_р / T_н = a_р$, получим

$$Q_к = K_в K_д T \left[\frac{P_н}{B'} \frac{1 - e^{-\frac{a_р}{\varepsilon}}}{1 - e^{-a_р}} \varepsilon - \frac{P_х}{B'} \varepsilon \right]. \qquad (10)$$

Разложив выражения $e^{-\frac{a_р}{\varepsilon}}$ и $e^{-a_р}$ в ряды

$$e^{-\frac{a_р}{\varepsilon}} = 1 - \frac{a_р}{\varepsilon} + \frac{a_р^2}{2\varepsilon^2} - \frac{a_р^3}{6\varepsilon^3} + \ldots;$$
$$e^{-a_р} = 1 - a_р + \frac{a_р^2}{2} - \frac{a_р^3}{6} + \ldots, \qquad (11)$$

увидим, что при $a_р \leq 0{,}2$ (что соответствует работе комбайнов) четвертым членом рядов (11) можно пренебречь. Тогда

$$Q_к = K_в K_д T \left[\frac{P_н}{B'} \frac{2}{2 - a_р} - \frac{P_н}{B'} \frac{a_р}{(2 - a_р)\varepsilon} - \frac{P_х}{B'} \varepsilon \right], \qquad (12)$$

а экстремальное значение

$$Q'_к(\varepsilon) = K_в K_д T \left[\frac{P_н}{B'} \frac{t_р}{T_н} \frac{1}{\left(2 - \frac{t_р}{T_н}\right)\varepsilon^2} - \frac{P_х}{B'} \right] = 0,$$

следовательно,

$$\varepsilon_{опт} = \sqrt{\frac{P_н}{P_х} \frac{t_р}{T_н \left(2 - \frac{t_р}{T_н}\right)}}. \qquad (13)$$

Подставив выражение (13) в формулу (12), получим максимальное значение производительности комплекса

$$Q_{к\,max} = K_в K_д T \frac{2\sqrt{P_н}}{B' \sqrt{2T_н - t_р}} \left(\frac{T_н \sqrt{P_н}}{\sqrt{2T_н - t_р}} - \sqrt{T_р P_х} \right). \qquad (14)$$

Анализ выражений (12)–(14) позволяет получить условия, при которых оптимальное значение ε будет меньше единицы, т.е. условия рациональной работы комбайна в повторно-кратковременном режиме:

$$t_р < 2P_х T_н / (P_н + P_х); \quad t_р / 2P_х < T_н / P_н, \qquad (15)$$

так как обычно $P_н$ на порядок больше $P_х$ или $a_р < 2P_х / (P_н + P_х)$.

Неравенства (I5) позволяют составить график организации работы комплекса ($t_р$, ε), исходя из свойств и качества изготовления (ремонта) привода комбайна ($P_х$, $T_н$, $P_н$). Для современных комбайновых двигателей при их качественном изготовлении, $T_н / P_н \approx 2$ мин/кВт. Значит, если среднее время включения комбайна из условий организации работ в лаве $t_р > 4P_х$, то комбайн должен работать в длительном режиме и допустимая скорость подачи должна выбираться при условии $P_1 = P_н$ (длительное).

Следует иметь в виду, что в рассматриваемом случае $P_х$ определяет не только качество привода комбайна (его постоянные потери), но, согласно выражению (8), и нагрузку машины в момент внедрения резцов в разрушаемый забой A. Например, при тупых резцах в старом комбайне, когда $P_х$ = 20÷30 кВт, комбайн рационально эксплуатировать с $\varepsilon < 1$, если среднее время включения $t_р < 80 \div 120$ мин.

Методика расчета скорости подачи от заданной наработки привода резания комбайна известна [2,3].

Устойчивость комбайна на решетках вычисляется по методу, предложенному в отраслевом стандарте Министерства угольной промышленности СССР.

Нагрев гидропривода подачи ограничивает возможную производительность комбайна, когда мощные тяжелые комбайны работают на наклонных пластах (например, КШ-3М), резко увеличивается скорость подачи комбайна на тонких и маломощных пластах и т.д.

Определим скорость подачи из условий нагрева рабочей жидкости гидропривода подачи. Нагрев рабочей жидкости зависит от потерь энергии в приводе подачи $\Delta P_п$ и интенсивности теплоотдачи $\Delta P_т$:

$$\Delta P_п = P_{х.п} + a_п P_{2п}; \quad \Delta P_т = \xi S(t_д - t_с)/860, \qquad (I6)$$

где $P_{х.п}$ – потери холостого хода подачи, кВт; $a_п$ – интенсивность роста потерь в приводе, определяется экспериментально на стендах [3]; $P_{2п}$ – полезная мощность привода подачи, кВт, $P_{2п} = F_п v / 60$; $F_п$ – усилие подачи, кН, $F_п = A_п + B_п v_п$; $A_п$ и $B_п$ – коэффициенты, определяемые экспериментально в процессе шахтных испытаний комбайнов или расчетным способом, исходя из усилий на резец и веса машины; ξ – коэффициент теплоотдачи подающей части, ккал/(м^2·ч·°С); S – поверхность теплоотдачи, м^2; $t_д$ и $t_с$ – температура рабочей жидкости и окружающей среды, °С.

При нормальной эксплуатации $\Delta P_т = \Delta P_п$. Решая уравнение (I6) относительно скорости подачи v, найдем ее допустимое значение при $t_д \leq 60$ °С:

$$v_д = -\frac{A_п}{2B_п} + \sqrt{\left(\frac{A_п}{2B_п}\right)^2 + \frac{60(\Delta P_т - P_{х.п})}{a_п B_п}}. \qquad (I7)$$

Допустимая из условий нагрева скорость подачи $v_д$ может иметь положительное значение, если дискриминант уравнения будет больше нуля, т.е. $\Delta P_т > P_{х.п}$. Так как $P_{х.п} = Q_п p_х$ (здесь $Q_п$ – производительность насоса гидропривода подачи, л/мин, $Q_п = K_Q v$; K_Q – коэффициент про-

порциональности; л·мин/(мин·м), K_Q = 18 для подающих частей типа Г-404, p_x – давление холостого хода, МПа), то из условий нагрева подающей части

$$v_{д\,max} \leq \xi S(t_д - t_с)/K_Q p_x . \qquad (18)$$

Для гидропривода подачи типа Г-404 ξS = 85÷420 кДж/(ч·°С), и поскольку $t_д - t_с \approx 40$ °С, то для Г-404 $v_{д\,max}$ = 2,56÷12,8 м/мин.

Физический смысл уравнения (18) заключается в том, что найденная из этого уравнения величина скорости подачи является максимально допустимой при любых режимах нагрузки и мощности привода.

Уравнение (17) позволяет анализировать факторы, определяющие допустимую из условий нагрева привода скорость подачи:

1) свойства привода (его качество) характеризуются величинами $P_{х.п}$ и $a_п$, которые определяются из технической характеристики механизма или по данным стендовых испытаний привода подачи;

2) величина $\Delta P_т$ определяется интенсивностью работы холодильника и степенью очистки корпуса машины от штыба;

3) коэффициенты $A_п$ и $B_п$ определяются массой комбайна, горными условиями (мощностью, крепостью, углом падения пласта) и режимом эксплуатации.

Приняв $A_п/B_п$ = 5 и $B_п$ = 1000÷5000 кН·мин/м (тяжелые и легкие условия эксплуатации комбайнов на пологих и наклонных пластах средней мощности), получим следующее соотношение между $v_д$ и $P_{2п} = (\Delta P_т - P_{х.п})/a_п$ по уравнению (17):

$P_{2п}$, кВт	1	5	10	15	20	30	40	50	100
$v_д$, м/мин	1,4/0,25	4,7/1,4	6,5/2,3	7,0/3,0	9,5/3,8	11,8/4,7	14/5,6	16/6,5	23/10

Примечание. В числителе при B = 1000 кН·мин/м, в знаменателе B = 5000 кН·мин/м.

Итак, для обеспечения скорости подачи 6,0 м/мин в тяжелых условиях эксплуатации полезная мощность привода подачи должна составлять 50 кВт (против 10–15 кВт в настоящее время). Данные практики подтверждают эти расчеты. Только в легких условиях на пологих пластах средней мощности приводы подачи типа «Горловка» обеспечивают возможность работы с максимальной скоростью подачи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Коломийцов М.Д. Метод определения производительности добычных комбайнов. – Изв. вузов. Горный журнал, 1973, № 8.

2. Коломийцов М.Д. Метод определения наработки угольного комбайна в межремонтный период. – Уголь, 1973, № 10.

3. Коломийцов М.Д. Метод прогнозирования наработки комбайнов. – Зап. ЛГИ, 1981, т. 87.

4. ОСТ Министерства тяжелого, энергетического и транспортного машиностроения 24.010.24. Машины очистные. Комбайны. Расчет на устойчивость. М., изд. Минтяжмаша, 19

5. ОСТ 12.47.001-73. Комбайны очистные. Выбор параметров и расчет сил резания и подачи на исполнительных органах. М., изд. Минуглепрома СССР, 1973.

6. ОСТ 12.44.109-78. Комбайны очистные. Выбор спектров эксплуатационной нагруженности трансмиссий. Методика. М., изд. Минуглепрома СССР, 1978.

7. Позин Е.З. Моделирование разрушения углей режущими инструментами. М., Наука, 1981.

8. Солод В.И., Зайков В.И., Первов К.М. Горные машины и автоматизированные комплексы. М., Недра, 1981.

9. Фролов А.Г., Позин Е.З. Выбор параметров выемочных машин. М., Наука, 19

10. Хорин В.Н., Верклов Б.А., Ирклиевский В.Д. К вопросу определения производительности выемочных машин и комплексов оборудования очистных забоев. - Уголь, 1973, № 2.