УДК 622.232

МЕТОД ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ЭКСПЛУАТАЦИИ ГОРНЫХ МАШИН

М.Д.КОЛОМИЙЦОВ

Эксплуатация горных машин на шахтах и разрезах согласно существующей регламентации подразумевает выполнение следующих операций: приемка машины на заводе, транспортировка в забой, монтаж, техническое обслуживание, использование машин в забое по назначению, текущие и капитальные ремонты, демонтаж.

Качественное управление системой забой - комбайн подразумевает регулирование скорости подачи таким образом, чтобы обеспечить максимальную производительность при заданных значениях ресурса и показателях безопасности с учетом переменных горно-геологических условий забоя [2]. Наиболее рациональной формой такого управления горными машинами, учитывая их специфические условия эксплуатации, является автоматизированная система, которая с помощью алгоритма позволяет оперативно учитывать непрерывно меняющиеся условия эксплуатации, нагрузку и состояние машины. Внедрение АСУ позволяет повысить эффективность и безопасность работы мощных комбайнов и комплексов путем сокращения времени технологических простоев и обеспечения соответствия между допустимой и фактической нагрузками машины.

Под системой забой - комбайн подразумевается взаимосвязь показателей, характеризующих свойства разрушаемого забоя и комбайна. Эти свойства могут проявляться только в процессе работы и зависят от характера взаимодействия забоя и комбайна. Крепость, вязкость и другие характеристики забоя являются откликами на режим работы комбайна, а режимные параметры и нагрузочные характеристики машины зависят от свойств забоя.

В настоящее время производительность комбайнов и комплексов на шахтах страны в среднем ниже, чем в США, ФРГ и других развитых странах. Объясняется это более сложными горно-геологическими условиями работы комбайнов на шахтах страны, более высокими допустимыми нагрузками зарубежных комбайнов при более рациональном режиме их эксплуатации, когда с помощью автоматики непрерывно поддерживается заданная нагрузка машины. Мощность комбайнов и других типов горных машин непрерывно растет, а эффективность их работы меняется незначительно. Фактическое использование отечественных комбайнов не превышает 30 % времени из-за недостаточной прочности элементов приводов, неточности сборки, некачественной смазки и несоответствием мел-

ду допустимой и фактической нагрузками, которые у работающего комбайна не определяются и не контролируются. При эксплуатации нагрузки комбайнов устанавливаются по паспортной мощности машины, которая может значительно отличаться от фактически допустимой.

Потеря работоспособности комбайнов наступает в результате комбинированного воздействия усталостных, износных и тепловых нагрузок. Сложность контроля за смазкой и обеспечения своевременной и качественной профилактики в специфических условиях работы дополнительно снижают ресурс и безопасность машин. Более половины комбайнов работают после капитального ремонта. Уровень допустимых для них нагрузок колеблется в широких пределах, но он меньше, чем для новых машин.

Практически комбайны спускаются в забой без приемосдаточных испытаний и, следовательно, без численной оценки показателей, характеризующих их качество. Анализ показывает [3], что потери мощности и допустимые нагрузки однотипных комбайнов значительно отличаются друг от друга. Поэтому повышение эффективности эксплуатации комбайнов возможно с помощью алгоритма, который обеспечивает управление системой забой – комбайн. Алгоритм должен устанавливать взаимосвязь трех физических явлений: ресурса с показателями качества комбайна (потерями энергии в его приводах); потерь энергии (мощности) с нагрузкой машины; нагрузки со скоростью подачи. Это, при изменяющихся параметрах системы, позволит поддерживать допустимые нагрузки комбайна, т.е. максимально использовать возможности конкретной машины в заданных условиях.

В технике широко применяются два инженерных метода оценки ресурса машин и деталей – статистический, основанный на теории надежности, и прочностной, сопоставляющий допустимые напряжения с фактическими их значениями. Получать в забое объективную информацию о нагрузках исполнительного органа комбайна сложно, а определять напряжения в его деталях в процессе эксплуатации практически невозможно. Методы прочностных расчетов не позволяют оценить ресурс деталей и комбайна в целом. Горно-геологические условия, режим работы, состояние машины меняются случайным образом и столь разнообразны для комбайнов одного типа, что установить устойчивые статистические корреляционные связи ресурса с условиями эксплуатации не удается. Поэтому для прогнозирования ресурса горных машин все шире применяется энергетический метод. Он основан на законе сохранения энергии и подразумевает, что каждая машина (привод, деталь) может рассеять в виде потерь определенное количество энергии в своих элементах за период отработки ресурса. Эта энергия – внутренний энергоресурс машины – определяется свойствами материала деталей, кинематикой привода, технологией его изготовления и не зависит от величины и характера нагрузки, если она не превышает допустимого предела. Для однотипных приводов серийно изготавливаемых по одной технологии энергоресурс $K_{\text{к}}$ – величина постоянная [4] и определяется статистическим способом, путем регистрации ресурса и расхода энергии в процессе эксплуатации.

Ресурс привода комбайна может быть определен из выражения

$$T_р = \frac{K_к}{\Delta P}, \qquad (I)$$

где ΔP – потери мощности в исследуемом приводе, кВт.

Из выражения (I) следует, что чем больше потери мощности в приводе, тем интенсивнее расходуется его энергоресурс и раньше наступает предельное состояние привода.

Потери мощности в функции нагрузки комбайна наиболее информативно характеризуют точность изготовления, сборки, степень износа деталей, качество смазки. Численные показатели этой функции – потери холостого хода $P_х$ и интенсивность роста потерь мощности с увеличением нагрузки a должны определяться для каждого комбайна перед его монтажем в забое на стенде в процессе приемосдаточных испытаний и характеризуют качество привода:

$$\Delta P = P_х + \alpha P_2, \qquad (2)$$

где P_2 – полезная мощность машины, кВт.

На рис.I представлена усредненная экспериментальная зависимость $\Delta P = f(P_2)$ и КПД – $\eta = f(P_2)$ для привода исполнительного органа комбайна КШ-ПКГ. Зависимость (2) справедлива, как показывают стендовые испытания комбайнов [3,4], при $P_2 \leq P_н$. С дальнейшим ростом нагрузки потери мощности начинают возрастать более интенсивно. Следовательно, фактическая номинальная мощность $P_к$ может для конкретной машины отличаться от паспортной. На рис.I кривые I и I' характеризуют изменение потерь мощности и КПД с ростом среднего значения нагрузки P_2 (при ее постоянной мгновенной величине), кри-

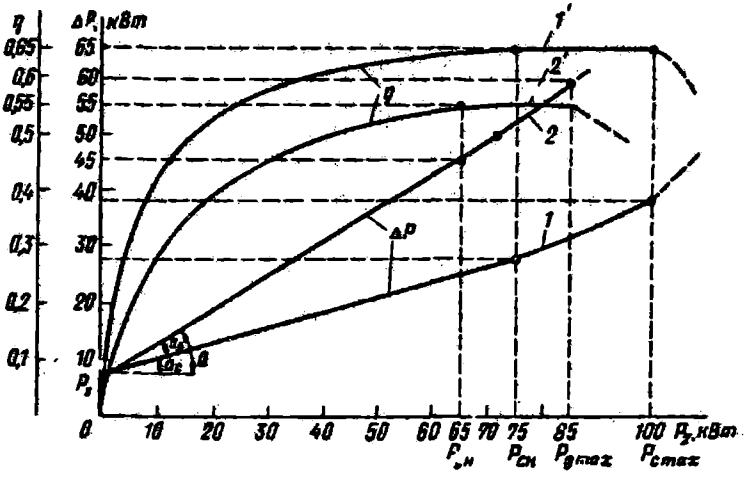


Рис.1. Зависимость потерь мощности и КПД от нагрузки

вке 2 и 2′ – при динамическом характере нагрузки. При росте колебания мгновенной нагрузки, т.е. увеличении среднеквадратичного колебания мощности σ_p, потери энергии в приводе возрастают более интенсивно, а КПД снижается.

Интенсивность роста потерь мощности

$$a = a_c + a_д = a_c + K_A \sigma_p , \qquad (3)$$

где a_c и $a_д$ – интенсивность роста потерь мощности при статической и динамической нагрузках; K_A – удельная интенсивность роста потерь мощности от динамической составляющей нагрузки, кВт$^{-1}$.

С увеличением неравномерности нагрузки приращение потерь мощности в приводе растет пропорционально K_A. Таким образом, качество привода комбайна характеризуется пятью показателями: P_x – потери холостого хода; a_c и $a_д$ – интенсивность роста потерь энергии (мощности) в приводе с ростом математического ожидания P_2 и среднеквадратичного отклонения σ_p полезной нагрузки; $P_{нс}(P_{нд})$ – рационально допустимая мощность привода при статической и динамической нагрузках; $K_к$ – энергоресурс привода.

Эксплуатационная производительность комбайна определяется из выражения:

$$Q_э = \frac{T K_л}{\frac{1}{v_п} + M} , \qquad (4)$$

где $K_л$ – производительность метра лавы, характеризует горно-геологические условия эксплуатации, т/м; T – время работы комбайна по добыче, мин/сутки; M – время на выполнение неизбежных вспомогательных операций (простоев комбайна), отнесенное к метру лавы, мин/м; $v_п$ – средняя скорость подачи комбайна, определяемая с учетом качества машины $P_н$ по разработанной в ЛГИ методике [6], м/мин.

С ростом $v_п$ значение M увеличивается, так как растут нагрузки и время на текущий осмотр и ремонт.

Режим работы комбайна характеризуется зависимостями средней и мгновенной нагрузки в функции скорости подачи (технической производительности) машины:

$$P_1 = A + B v_п ; \qquad (5)$$

$$\sigma_p = K_v v_п , \qquad (6)$$

где P_1 – потребляемая комбайном средняя мощность, кВт, $P_1 = P_2 + \Delta P$; K_v – удельная динамическая нагрузка, кВт·м; A, B – коэффициенты энергетической характеристики системы забой – комбайн, кВт, кВт/(м/мин).

Величина A характеризует условную мощность, которую потребляет комбайн в момент начала внедрения резцов в разрушаемый забой, когда резцы движутся по забою со скоростью резания. Приближенно, полагая мощность трения резцов о породу $A_{тр} \approx P_x$, получим:

$$A = A_{тр} + aA_{тр} + P_{х} \approx P_{х} + aP_{х} + P_{х} = P_{х}(2+a), \qquad (7)$$

$$B = B' + aB' = B'(1+a), \qquad (8)$$

где B' – удельная средняя полезная нагрузка, кДж/м.

С учетом уравнений (I)–(8) и того, что ресурс комбайна логичнее определять в тоннах разрушенной горной массы, его величина может быть найдена из выражения:

$$Q = T_{р} v_{п} K_{л} = \frac{K_{л} K_{к} v_{п}}{P_{х}(1+a_{с}) + (P_{х} K_{А} K_{v} + a_{с} B') v_{п} + K_{А} K_{v} B' v_{п}^{2}} \qquad (9)$$

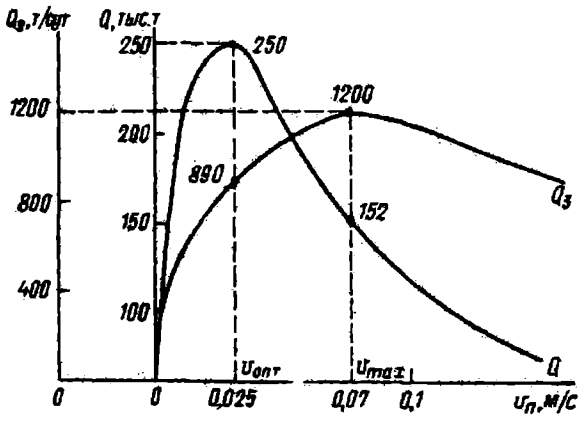


Рис.2. Зависимость производительности $Q_э$ и ресурса Q комбайна от скорости подачи $v_п$

На рис.2 представлен в качестве примера график оценки эффективности эксплуатации комбайна КШ-ПКГ для условий пласта "Бреевский" (Кузбасс) шахты им.С.М.Кирова. Как видно из графика, при скорости подачи $v_п$ = 0,025 м/с комбайн обеспечивает ресурс 250 тыс.т и производительность 890 т/сутки, т.е. будет работать до капитального ремонта II,2 мес. Примерно в таком режиме комбайн практически работал на шахте. Если увеличить скорость подачи до $v_{п\,max}$ = 0,07 м/с, то производительность возрастает до I200 т/сут., а ресурс снизится до I52 тыс.т, т.е. комбайн придется менять через 5 месяцев. При дальнейшем увеличении скорости подачи значение $Q_э$ будет снижаться, так как растут простои, связанные с ликвидацией отказов (увеличивается M). Имея подобные графики для каждого комплекса, можно технически обоснованно планировать замену комбайнов и управлять их производительностью и ресурсом с учетом: качества приводов (определяемых на стенде значений $P_{х}$, $P_{н}$, $a_{с}$, $K_{А}$), условий $K_{л}$ и режима эксплуатации K_{v}, B', а также организации работы комплекса T, M.

Практическое использование данного метода возможно, если обслуживание и управление машиной будет соответствовать допустимой мощности $P_{н}$, а показатели качества приводов, режима эксплуатации и организации работ будут поддерживаться эксплуатационниками на установленном уровне. Поэтому необ-

ходим контроль за соблюдением эффективной эксплуатации. Его предлагается осуществлять с помощью приборов типа регистратор-хронометражист (РХ), разработанных в ЛГИ [7]. Принцип действия приборов основан на включении счетчиков времени при заданном уровне тока (нагрузки). Приборы получили разрешение ВостНИИ на эксплуатацию в шахтах, опасных по газу и пыли. Они предназначены для длительной непрерывной регистрации времени работы комбайнов с различными уровнями нагрузки, а также для регистрации общего расхода энергии. С помощью подобных приборов можно оценивать эффективность эксплуатации комбайнов и определять количество энергии (энергоресурса $K_к$), рассеянной в приводе за любой отрезок времени $t_1 < t_i < T_р$. Остаточный (полный) энергоресурс комбайна:

$$K_{к_i} = \frac{t_i P_х}{1+a} + \frac{a}{1+a} W_i , \qquad (10)$$

где W_i – энергия, потребляемая комбайном за время t_i, кДж.

Приборы аналогичного назначения разработаны в МГИ и ИГД им.А.А.Скочинского.

Если при эксплуатации машины одна из деталей начинает изнашиваться или накапливать усталостные повреждения значительно интенсивнее остальных, т.е. ΔP_i детали начинают возрастать значительно быстрее, то общие потери мощности ΔP изменяются незначительно и прогнозировать отказ элемента (детали) по предложенной модели будет невозможно. Эта задача может быть решена путем осуществления трех мероприятий: поэлементной оценки приводов в процессе их изготовления и стендовых приемосдаточных испытаний; периодического определения в забое формы петли гистерезиса редуктора комбайна по разработанной в ЛГИ методике [1], что позволяет найти его элементы с повышенными упруговязкими потерями; снятия в забое осциллограмм нагрузки комбайна, по которым определяются выбросы тока (мощности) с частотой вращения дефектного узла (элемента).

По мере накопления статистических данных об энергоресурсе деталей, узлов и приводов машин у конструкторов, технологов и эксплуатационников появится возможность прогнозировать с достаточной точностью ресурс новой детали или привода, зная его энергоресурс. Таким образом, для решения поставленной проблемы – обеспечить эффективную эксплуатацию конкретного комбайна с учетом условий работы $K_д$, качества машины $K_к, P_х, a_с, K_А, P_н$, режима $B, K_г$ и организации ее работы T, M – необходимо обеспечить комплекс приведенных технических мероприятий для решения алгоритма и контроля указанных десяти параметров системы забой – комбайн. Такое управление может эффективно использоваться в режиме АСУ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Иванов И.Л., Коломийцов М.Д., Кузнецов Е.С. и др. Стенд для испытания приводов исполнительных органов проходческих комбайнов // Угольное машиностроение / ЦНИЭИуголь. М., 1980, № 5.

2. Коломийцов М.Д. Эксплуатация горных машин и автоматизированных комплексов / Ленинградский горный ин-т. Л., 1986.

3. Коломийцов М.Д., Нгуен-Фам-Тхык. Численные показатели качества комбайнов // Угольное машиностроение / ЦНИЭИуголь. М., 1979, № 8 (32).

4. Коломийцов М.Д. Метод прогнозирования наработки комбайнов // Зап.ЛГИ, 1981. Т. 87.

5. Коломийцов М.Д. Энергетический метод прогнозирования ресурса горных машин // Зап. ЛГИ, 1988, Т. 117.

6. Коломийцов М.Д. Метод определения производительности добычных комбайнов // Изв. вузов. Горный журнал, 1973, № 9.

7. Маховиков Б.С., Коломийцов М.Д., Андреев Л.Г. Прибор для контроля режимов эксплуатации и определения времени наработки очистного комбайна // Горные машины и автоматика, 1977, № 6.