Записки Ленинградского горного института им.Г.В.Плеханова.
Т. 126. Л., 1991

УДК 622.236.72.004

МЕТОД ВЫБОРА РАЦИОНАЛЬНОГО РЕЖИМА РАБОТЫ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ ОРГАНОВ КОМБАЙНОВ

А.М.МЕШКОВ

Основные типы машин, применяемые для проходческих работ при строительстве Ленинградского метрополитена, разрушающие горную породу резанием: комбайн тоннельный КТИ-5,6 с роторным исполнительным органом, агрегат АМШ с шнековым исполнительным органом и проходческий стреловидный комбайн с корончатым исполнительным органом (типов ПК, ПК-3Р, 4ПУ). Данные проходческие машины работают при строительстве метро в устойчивых малоабразивных, плотных, вязких, однородных породах типа протерозойских глин. Комбайны изготавливаются для работы на угольных шахтах, поэтому в специфических условиях шахт Ленметростроя их режим работы недостаточно эффективен, производительность низка, а удельные энергозатраты велики.

Выбор рационального режима работы исполнительных органов комбайнов исследовался для угольных пластов [5]. Известны отдельные работы по взаимодействию исполнительных органов горной машины со сланцем, калийной солью [1,2]. Рациональный режим работы исполнительных органов комбайнов в заданных условиях оценивался по средним нагрузкам машин, характеризуемых силовой и энергетической характеристиками. Динамика процесса разрушения учитывалась в виде коэффициентов вариации в зависимости от определенных факторов [3,5].

Рекомендуемая в отраслевом стандарте МУП СССР [3] оценка мгновенной нагрузки системы забой – резец с помощью коэффициентов вариации не позволяет характеризовать ее динамические свойства, так как нагрузка носит случайный, нестационарный характер, изменяется со временем.

Под рациональным режимом работы исполнительных органов комбайнов подразумевается такой способ разрушения породы, при котором обеспечивается максимальная техническая производительность машины при допустимой степени неравномерности нагрузки. Под режимными параметрами комбайна подразумеваются конструктивные элементы машины, которые можно изменять в процессе эксплуатации: тип режущего инструмента и его расположение на исполнительном органе, скорости подачи и резания.

В данной работе рассматриваются основы метода выбора рационального режима работы исполнительного органа комбайна в заданных условиях с уче-

том оптимального соотношения средних и мгновенных составляющих нагрузки. Метод предполагает выполнение поставленной цели в три этапа: экспериментальное определение механических свойств разрушаемых горных пород (протерозойских глин) и рационального режущего инструмента; сопоставление результатов шахтных испытаний машин в рассматриваемых условиях с расчетными; выбор рационального режима работы исполнительных органов комбайнов.

Первый этап заключается в определении механических свойств протерозойских глин (хрупкость E, сопротивляемость резанию A_p) и выборе оптимального режущего инструмента (резца) для условия минимальных соотношений энергозатрат резания и неравномерности усилий на резце. Неравномерность усилий на резце оценивается по среднеквадратичному отклонению усилия σ_z и виду корреляционной функции усилия на резце. Эта оценка характеризует изменение нагрузки во времени в функции параметров резания: h – толщины стружки; t – ширины резания. Испытания проводятся на разных типах резцов. Эксперименты осуществляются на установках АСР [I] и "Вертушка" (ЛГИ) с регистрацией мгновенных параметров на ленту осциллографа.

Установка "Вертушка" работает следующим образом. На закрепленную в вертикальном забое ось насаживается рычаг. На одном конце рычага размещается испытываемый резец, на другом – подвешивается груз. Резец с рычагом подвигают к забою, устанавливая необходимую толщину стружки. При подвешивании на плечо рычага определенного груза рычаг поворачивается, и резец режет породу. Мгновенная скорость вращения через кривошипно-шатунный механизм, связанный с рычагом, датчик скорости фиксируется на осциллографе.

Установка АСР имеет ряд недостатков: резец режет породу по напластованию, а рассматриваемые горные машины режут породу вкрест напластования; установка недостаточно точно характеризует динамику процесса разрушения, а значит, не позволяет получить достоверную общую картину (модель) резания протерозойских глин. Эти вопросы решаются на установке "Вертушка", где сопротивляемость породы резанию определяется с учетом изменяющейся во времени скорости резания $v_p(t)$,

$$A_p = \frac{Gn \pm m v_p^2(t)}{h},$$

где G – вес подвешенного груза, Н; n и m – конструктивные коэффициенты, зависящие от конструкции и положения рычага установки; h – толщина срезаемой стружки, мм; знак " – " – для ускоряющих процессов, " + " – для замедляющих.

Второй этап выбора режима работы комбайна заключается в экспериментальном определении в забое средних и мгновенных нагрузок, испытываемых комбайном при работе, и оценке в общей нагрузке машины ее доли на исполнительном органе.

В ходе шахтных испытаний агрегата АМШ определены средние и динамические нагрузки в виде силовой $F(v_п)$, энергетической $P(v_п)$ и динамических $\sigma_F(v_п)$ и $\sigma_P(v_п)$ характеристик, а также корреляционная функ-

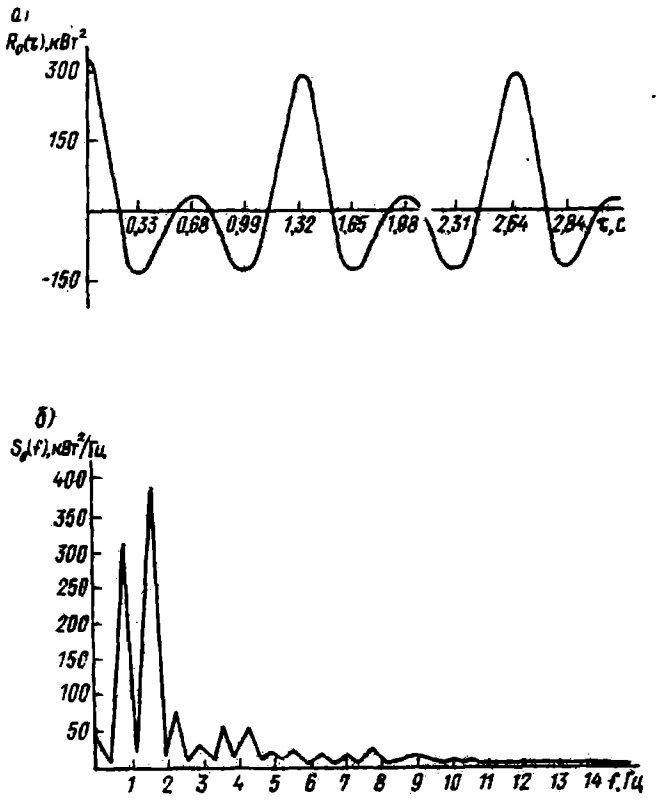


Рис.1. Корреляционная функция (а) и спектральная плотность (б) мощности комбайна

ция $R_C(\tau)$, характеризующая изменение дисперсии нагрузки потребляемой мощности комбайна через промежуток времени τ, и спектральная плотность $S_C(f)$, показывающая вклад каждой частоты f в дисперсию нагрузки (рис.1). Проведенная статистическая обработка данных экспериментов показала, что нагрузка, испытываемая комбайном агрегата АМШ, работающем при проходке верхнего свода, стационарна и эргодична. Корреляционная функция потребляемой мощности может быть представлена в виде:

$$R_C(\tau) = D_C[a\cos\omega_1\tau + b\sin\omega_2\tau],$$

где D_C – дисперсия случайной функции мощности, кВт^2; a и b – относительные значения составляющих; ω_1 и ω_2 – частоты колебания мгновенной мощности, Гц.

Стационарность и эргодичность случайной функции мощности, вид корреляционной функции (рис.1,а) свидетельствуют об однородности разрушаемой протерозойской глины. Корреляционная функция (рис.1,а) показывает, что если в какой-то момент времени мгновенная мощность значительно превышала среднее значение, весьма вероятно, что примерно через 0,33 с она спадет и будет значительно превышать среднее значение только через 1,32 с. Характер изменения мгновенной мощности будет повторяться. Спектральная плотность (рис.1,б), полученная по корреляционной функции преобразованием Фурье, позволяет оценить вклад каждой частоты в дисперсию нагрузки. Два пика на частотах 0,75 и 1,5 Гц свидетельствуют о двух основных гармониках, которые присутствуют и на корреляционной функции (рис.1,а). Частота 0,75 Гц соответствует одному обороту исполнительного органа агрегата. Причиной боль-

той дисперсии нагрузки на этой частоте являются два резца в двух кутковых линиях, угол наклона которых к направлению подачи 65 и 90°. Дисперсия нагрузки на частоте I,5 Гц соответствует остальным резцам на исполнительном органе, расположенным по два резца в линии резания.

При принятой гипотезе о нормальном распределении случайной нагрузки [I,5] оценка степени неравномерности нагрузки комбайнов проводится по устойчивой мощности:

$$P_{уст} = P_{max\phi} - k\sqrt{R_0(\tau)}\Big|_{\tau=0},$$

где $P_{max\phi}$ – мощность, соответствующая максимальному моменту в условиях шахтной сети, кВт; k – коэффициент, характеризующий относительное отклонение мощности.

Для используемого на исполнительном органе агрегата АМШ режущего инструмента и схемы расстановки резцов расчетным путем [4] определяем средние нагрузки, испытываемые агрегатом при работе, $P(v_{\text{п}})$ и $F(v_{\text{п}})$ и сопоставляем их с экспериментальными. Отклонение нагрузок, полученных расчетным путем, от экспериментальных составляет не более I0 %.

Используя данные, полученные при испытаниях одиночных резцов (первый этап) в виде корреляционной функции одного резца $k_i(\tau)$, взаимно корреляционной функции резцов $k_{ij}(\tau)$ при разных шагах резания t и спектральной плотности $S_i(f)$, которые характеризуют изменение мгновенной нагрузки на резцах РКС и РТП (на агрегате АМШ), определяют нагрузку, формирующуюся на исполнительном органе,

$$k_P(\tau) = \sum_{i=1}^{n_p} k_i(\tau) + \sum_{\substack{i,j=1 \\ i\neq j}}^{n_p} k_{ij}(\tau).$$

Если случайные функции нагрузок на резцах взаимно не коррелированы, выражение упрощается:

$$k_R(\tau) = \sum_{i=1}^{n_p} k_i(\tau).$$

Спектральная плотность для того же исполнительного органа

$$S_R(f) = \sum_{i=1}^{n_p} S_i(f),$$

где n_p – число резцов, находящихся в контакте с породой.

При анализе функций $k_R(\tau)$, $S_R(f)$, $R_0(\tau)$, $S_0(f)$ оценивается вклад в общую нагрузку агрегата нагрузки, возникающей на резцах, определяется амплитудно-частотная характеристика привода

$$|H(f)|^2 = S_0(f)/S_R(f).$$

Второй этап позволяет разработать методику и оценить режимные параметры ($v_п$ - скорость подачи, м/с; H - толщина срезаемой полосы, см; $n_р$ - число резцов, тип резцов), которые помогут выбрать рациональный режим работы исполнительного органа комбайна. После сопоставления расчетных и экспериментальных результатов переходят к третьему этапу, т.е. выбору рационального режима работы комбайна.

Для определенного на первом этапе оптимального режущего инструмента (резца) разрабатывается схема расстановки резцов на исполнительном органе комбайна. Схема расстановки резцов рассчитывается по отношению $t/h = 2–4$, которое обеспечивает минимальные энергозатраты резания $H_W = min$ [5]. Толщина стружки h принимается для максимальной скорости подачи $v_{п\,max}$, которую может обеспечить комбайн. Для полученной схемы расстановки резцов определяют средние нагрузки в виде энергетической характеристики $P\,(v_п)$, корреляционную функцию $k_R(\tau)$ и спектральную плотность $S_R(\tau)$ нагрузки на исполнительном органе. По установленной на втором этапе амплитудно-частотной характеристике привода комбайна определяют спектральную плотность и корреляционную функцию потребляемой мощности комбайна при новой схеме расстановки резцов:

$$S_0(f) = |H(f)|^2 S_R(f);$$

$$R_0(\tau) = \int_0^\infty S_0(f)\cos 2\pi f\tau\, df.$$

Определив необходимые характеристики нагрузки, которую будет испытывать комбайн при рассчитанной схеме расстановки резцов, оценивают ее из условия допустимой неравномерности по устойчивой мощности. Оценка исполнительного органа комбайна с новой схемой расстановки резцов показана на рис.2.

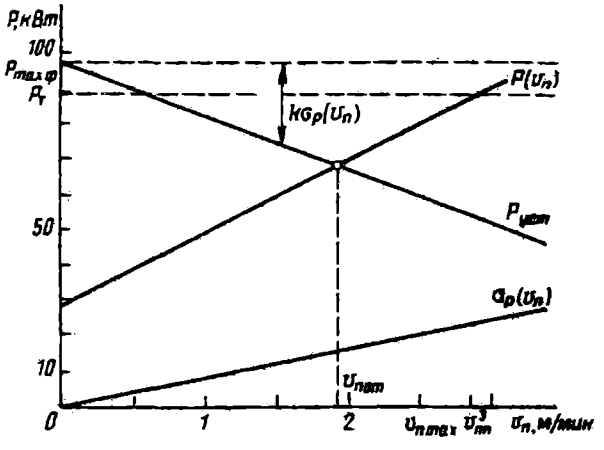


Рис. 2. Графическая интерпретация метода определения оптимальной скорости подачи

Уточняется максимальная скорость подачи комбайна $v_{п\,max}$, которая может быть ограничена по допустимой мощности из условия нагрева $P_т$ или скоростью подачи $v_{пп}$, являющейся допустимой по усилию подачи, определяемой на основе силовой $F(v_п)$ и динамической $\sigma_F(v_п)$ характеристик привода подачи. Если

максимальная скорость подачи ограничивается одним из условий, схему расстановки резцов перестраивают, и максимальной скоростью подачи будет являться одна из ограничивающих скоростей. При прохождении указанных проверок определяют оптимальную скорость подачи $v_{п опт}$ из условия допустимой неравномерности нагрузки. Она будет находится на пересечении энергетической характеристики $P(v_п)$ с графиком устойчивой мощности $P_{уст}$. При $v_{п опт} < v_{п max}$ режим работы исполнительного органа комбайна нерационален. Для обеспечения в этом случае рационального режима необходимо увеличить число резцов в линии и уменьшить шаг резания. Это позволит уменьшить толщину стружки h и оставить прежним соотношение t/h. Если и теперь условие допустимой неравномерности не выполняется при $v_{п max}$, то, последовательно уменьшая скорость подачи и изменяя схему расстановки резцов, добиваются обеспечения допустимой неравномерности нагрузки. Оптимальная скорость подачи $v_{п опт}$ будет максимальной в данных условиях.

По установленной максимальной скорости подачи при допустимой неравномерности нагрузки и минимальных энергозатратах рассчитывается максимально возможная техническая производительность комбайна.

Приведенный метод, связывающий экспериментальное определение нагрузок с расчетными, позволяет находить оптимум между средней и мгновенной нагрузками по устойчивой мощности комбайна и определять рациональный режим работы машины. Использование при разработке протерозойских глин угольных комбайнов позволяет говорить о распространении данного метода выбора рационального режима работы комбайнов для всех горных пород.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бреннер В.А., Зильберт И.С., Зыков В.А. Режимы работы комбайнов для добычи калийных руд. М.: Недра, 1978.

2. Бобров И.Ф., Коломийцов М.Д., Лукашов Я.Г. Сопротивляемость слоев сланца механическому разрушению // Зап. ЛГИ, 1967. Т. 54, вып. 1.

3. ОСТ 12.44.109-79 Комбайны очистные. Выбор спектров эксплуатационной нагруженности трансмиссий. / Министерство угольной промышленности СССР. М., 1979.

4. ОСТ 12.47.001-73 Комбайны очистные. Выбор параметров и расчет сил резания и подачи на исполнительных органах / Министерство угольной промышленности СССР. М., 1973.

5. Позин Е.З., Меламед В.З., Тон В.В. Разрушение углей выемочными машинами. М.: Недра, 1984.