

УДК 622.232

ВЛИЯНИЕ СКОРОСТИ РЕЗАНИЯ КОМБАЙНА НА ЕГО ТЕХНИЧЕСКУЮ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ

М. Д. КОЛОМИЙЦОВ

При работе комбайна с рациональной скоростью резания обеспечивается максимальная производительность при заданных значениях ресурса и показателях безопасности. Эти условия будут соблюдаться, если обеспечивается оптимальная толщина "стружки", которая определяет соотношение динамической составляющей нагрузки и мощности трения. При этом комбайн должен работать с максимально допустимой нагрузкой по нагреву и опрокидыванию двигателя, а также без потери устойчивости, заштыбовки и аварийных простоев.

С ростом скорости резания средние значения усилий подачи и резания уменьшаются, снижается среднеквадратичное отклонение мощности σ_x , а математическое ожидание потребляемой мощности P_1 возрастает. Средняя величина максимальной нагрузки комбайна при оптимальной толщине стружки

$$P_m = P_1 + \sigma_x \rightarrow P_{m \min}, \quad (1)$$

т.е. имеет минимум при рациональной скорости резания. Потери мощности ΔP в приводе резания комбайна определяют его ресурс и производительность по тепловой мощности, поэтому при рациональной скорости резания $\Delta P \rightarrow \Delta P_{\min}$. После исследований и стендовых испытаний комбайнов КП-ИКТ, проведенных в ЛТИ [2], получим

$$\Delta P = P_x (1 + a_c) + (P_x K_V K_A + a_c B') V_{\Pi} + B' K_A K_V V_{\Pi}^2, \quad (2)$$

где P_x - потери холостого хода; a_c - интенсивность роста потерь мощности с увеличением средней мощности; K_A - интенсивность роста потерь мощности в приводе от среднеквадратичного изменения мощности; B' - увеличение мощности на шнеках с ростом скорости подачи V_{Π} ,

$$B' = B_p + \frac{C_B V_p}{1 + a_c}, \quad (3)$$

B_p - удельная средняя мощность, затрачиваемая на разрушение (скол) резами забоя (усилие скола обратно пропорционально скорости резания, поэтому мощность скола не зависит от скорости); C_B - суммарные удельные усилия трения в приводе, исполнительном органе и на резах; K_V - удельное среднеквадратичное отклонение мощности привода резания,

$$K_V = \frac{\sigma_x}{V_{\Pi}} = \frac{C_K}{V_P}, \quad (4)$$

C_K - среднее квадратичное отклонение мощности на единицу скоростей резания и подачи.

Рациональную скорость резания необходимо определять из уравнений (1) и (2), выразив режимные параметры через скорость резания. В настоящее время скорость резания серийных комбайнов в процессе работы не регулируется. Объясняется это двумя взаимосвязанными причинами - нет регулируемых приводов и неизвестны закономерности, определяющие рациональное соотношение между скоростями подачи и резания, с учетом условий эксплуатации, качества и ресурса машины. Комбайны работают с автоматическими регуляторами скорости подачи, обеспечивающими поддержание заданной нагрузки (минимальный вариант регулирования). При совместном регулировании скоростей резания и подачи можно обеспечить максимальный вариант регулирования, т.е. работу с рациональным режимом разрушения горной породы.

При монтаже (изготовлении) комбайна необходимо подбирать рациональную среднюю скорость резания. Тогда при эксплуатации максимальные пределы ее регулирования не превысят 20-30 % от номинала. Поэтому изменение скорости резания не влияет на качество привода (величины P_x , a_c , K_A), а определяет режимные параметры K_V , B' , нагрузку P_m комбайна и потери мощности в приводе резания ΔP . При минимальных потерях мощности в приводе резания будет обеспечено максимальное использование тепловой мощности привода и его ресурса.

На основании проведенных исследований и анализа литературы [1,4,6] зависимость нагрузки комбайна в функции скорости резания можно выразить с помощью энергетической, динамической и силовой характеристик системы "забой - комбайн":

$$P_1 = A + B V_{\Pi} = C_A V_P + [B_P(1+a_c) + C_B V_{\Pi}] V_{\Pi}, \quad (5)$$

$$\sigma_x = K_V V_{\Pi} = C_K V_{\Pi} / V_P, \quad (6)$$

$$F_{\Pi} = A_{\Pi} + B_{\Pi} V_{\Pi} = A_{\Pi} + \frac{B'_{\Pi}}{V_P} V_{\Pi}, \quad (7)$$

где $A = C_A V_P$; $B = B'(1+a_c)$; A_{Π} ; $B_{\Pi} = B'_{\Pi} / V_P$ - коэффициенты энергетической и силовой характеристик; C_A - силы упругого трения резцов, перемещающихся по забой со скоростью V_P , а также определяющие постоянные потери трения в приводе; B'_{Π} - усилие подачи при скорости подачи, равной скорости резания.

Приведенные удельные параметры режима работы комбайна, независимые от скоростей резания и подачи, определяются по отраслевому стандарту [5] или экспериментально, путем замера нагрузок работающего в забое комбайна. Ниже даны минимальные, номинальные и максимальные значения удельных показателей режима работы и качества комбайна КШ-1КТ:

Параметры	C_A , кН	B_P , $\frac{\text{кДж}}{\text{м}}$	C_B , кН/(м/с)	C_K , кВт	B'_Π , кН	A_Π , кН	P_x , кВт	a_c	K_A , кВт ⁻¹
Минимальные	5	700	200	2000	5000	20	6	0,30	0,0026
Номинальные	7	900	350	2700	6000	25	8	0,35	0,0035
Максимальные	9	1100	400	3400	7000	30	10	0,40	0,0050

Показатели качества определяются в процессе стендовых приемо-сдаточных испытаний комбайнов [3]. Показатели для однотипных комбайнов колеблются в широких пределах из-за разного качества приводов машин, условий и режима их работы. Для определения численных значений показателей необходимо в процессе приемо-сдаточных испытаний определить на стенде показатели качества конкретного привода (номинальные значения можно рассчитать). Режимные параметры определяют экспериментально в лапе путем замера $\bar{P}_1$, σ_x , F_Π при разных скоростях подачи, затем находят коэффициенты A , B , A_Π , B_Π , K_V и рассчитывают по приведенным соотношениям удельные показатели. Номинальные значения режимных параметров могут быть найдены расчетом по отраслевому стандарту [5].

Уравнения (1)–(7) справедливы при скоростях резания, превышающих их минимальные значения, обеспечивающие эффективный вынос шнеками угля из забоя. Опыт показывает, что рост мощности P_1 у комбайнов КШ-1КТ при скоростях резания меньших $V_{P2} \approx 1,5$ м/с и $V_{P1} \approx 1,3$ м/с связан с частичной заштыбовкой шнеков.

Снижение σ_x с ростом скорости резания объясняется уменьшением толщины стружки, а значит более равномерной нагрузкой резцов. Поэтому с ростом V_P при прочих равных условиях повышается перегрузочная способность. Однако с ростом V_P увеличивается средняя мощность P_1 , т.е. снижается возможная производительность комбайна из условий нагрева привода резания. Снижение усилия подачи F_Π с ростом скорости резания связано с уменьшением толщины стружки, а значит пропорциональным снижением усилий резания и подачи на резцах. Это повышает возможную производительность комбайна из условий нагрева (допустимой мощности) гидропривода подачи и устойчивости комбайна на решетках.

Подставляя в уравнение (1) вместо P_1 и σ_x их значения из выражений (5) и (6), получим

$$P_m = C_A V_P + B_P (1 + a_c) V_\Pi + C_B V_\Pi V_P + C_K \frac{V_\Pi}{V_P} \quad (8)$$

Проанализируем выражение (8) на минимум функции:

$$P'_m = C_A + C_B V_\Pi - \frac{C_K V_\Pi}{V_P^2} = 0.$$

Тогда рациональная скорость резания, обеспечивающая максимальную перегрузочную способность привода,

$$V_{P1 \text{ оп}} = \sqrt{\frac{C_K}{C_A/V_\Pi + C_B}} \quad (9)$$

Для определения рациональной скорости резания, обеспечивающей минимальные потери мощности в приводе резания, а значит и максимальную производительность по тепловой мощности комбайна и ресурсу, подставим в выражение (2) значения режимных параметров K_V , B' из уравнений (3) и (4):

$$\Delta P = P_x(1+a_c) + P_x C_K K_A \frac{V_{\Pi}}{V_P} + a_c B_P V_{\Pi} + a_c C_B V_{\Pi} V_P + K_A C_K C_B V_{\Pi}^2 + K_A C_K B_P \frac{V_{\Pi}^2}{V_P}$$

или

$$\Delta P = C_1 + C_2 V_P + C_3 / V_P, \quad (10)$$

где

$$C_1 = P_x(1+a_c) + a_c B_P V_{\Pi} + K_A C_K C_B V_{\Pi}^2,$$

$$C_2 = a_c C_B V_{\Pi},$$

$$C_3 = P_x C_K K_A V_{\Pi} + K_A C_K B_P V_{\Pi}^2.$$

Первая производная уравнения (10) $\Delta P' = C_2 - C_3 / V_P^2$. Рациональная скорость резания, обеспечивающая минимальные потери мощности,

$$V_{P2 \text{ оп}} = \sqrt{\frac{C_3}{C_2}} = \sqrt{\frac{C_K K_A (P_x + B_P V_{\Pi})}{a_c C_B}}. \quad (11)$$

На рис. I представлена графическая интерпретация уравнений (8) и (10) при средних значениях показателей качества и режима работы комбайна. Кривые I и I' получены при $V_{\Pi 2} = 0,045$ м/с; кривые 2 и 2' - при $V_{\Pi 1} = 0,033$ м/с, V_{P1} и V_{P2} характеризуют минимальные скорости резания, при которых комбайн работает без заштыбовки. С ростом скорости подачи возрастают $V_{P1 \text{ оп}}$ и $V_{P2 \text{ оп}}$. Рациональные скорости резания, обеспечивающие минимальные значения потерь мощности ΔP и перегрузки P_m должны увеличиваться с ростом неравномерности нагрузки C_K и K_A . С ростом усилий трения C_A , C_B снижаются $V_{P1 \text{ оп}}$ и $V_{P2 \text{ оп}}$. Рациональные ско-

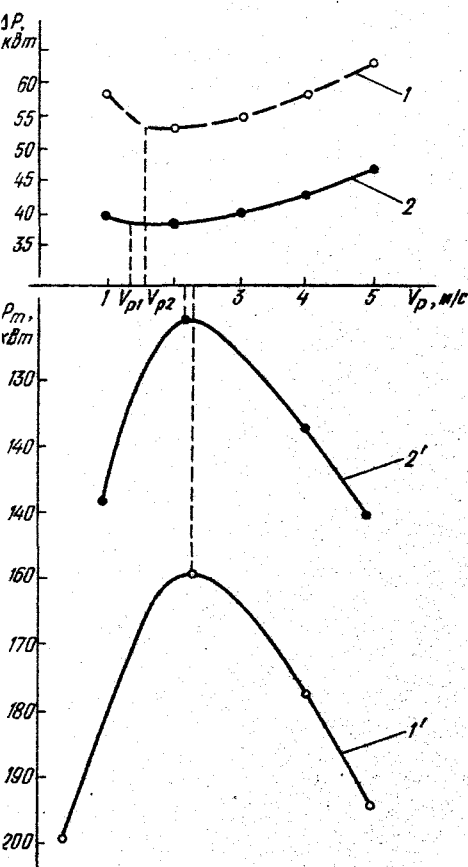


Рис. 1. Зависимость максимальной нагрузки комбайна КШ-1КГ и потерь мощности в приводе резания от скорости резания

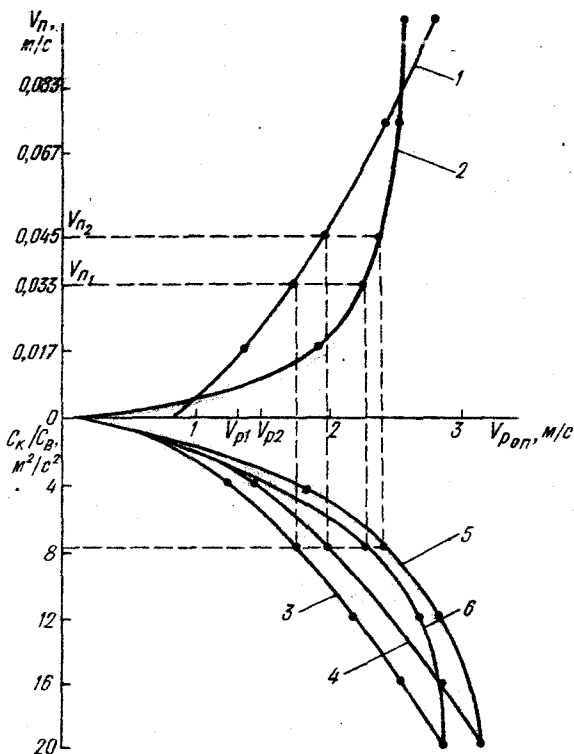


Рис.2. Зависимость рациональной скорости резания от скорости подачи и относительной динамичности нагрузки

ности резания зависят от режимных параметров C_k и C_b .

На рис.2 представлена зависимость рациональной скорости резания комбайна КП-ІК от основных режимных параметров при номинальных (средних) значениях показателей качества и режима работы. Кривые 1, 3, 4 характеризуют изменения $V_{p2оп}$, кривые 2, 5, 6 — $V_{p1оп}$. Кривые 3 и 6 получены при $V_{п1}$, кривые 4 и 5 — при $V_{п2}$. Значения $V_{p1оп}$ асимптотически приближаются к величине $\sqrt{C_k/C_b}$ при увеличении скорости подачи (см. уравнение (9) и кривую 2).

При росте относительной динамической нагрузки C_k/C_b , получаемой за счет снижения C_b и роста C_k , $V_{p1оп}$ стремится к $\sqrt{V_{п}/C_A}$. Значения $V_{p2оп}$ монотонно возрастают с ростом скорости подачи, суммарной нагрузки комбайна и ее динамичности. Рациональная скорость резания изменяется от 1,7 до 2,3 м/с при номинальных режимных параметрах $C_k/C_b =$

$= 7,7 \text{ м}^2/\text{с}^2$ и скоростях подачи, равных 0,033-0,045 м/с.

При увеличении динамической нагрузки или скорости подачи рациональное значение скорости резания возрастает до 3,0 м/с. Для комбайнов типа КП-ІК ее дальнейшее увеличение нецелесообразно. Следовательно, применяемые в настоящее время у машин типа КП-ІК скорости $V_p = 1,85-2,7$ м/с превышают на 10-15 % их рациональные значения. Аналогичное положение у более мощных комбайнов — КП-3М и ГШ-68. У комбайнов для тонких пластов 2К-ІОІ и 2К-52 скорости резания составляют 3-4 м/с, что в 1,5-2 раза выше их рационального значения. Снижая динамическую нагрузку и усилия подачи, применяемые скорости резания приводят к тепловой и максимальной перегрузке режущую часть, снижая в 1,5-2 раза возможные значения производительности и ресурса комбайнов.

Таким образом, получена закономерность, устанавливающая рациональное соотношение между скоростями подачи и резания. Под рациональной скоростью резания следует понимать такую скорость вращения исполнительного органа,

при которой обеспечивается минимальная перегрузка комбайна и наименьшие потери мощности в приводе, при максимальной производительности (скорости подачи) и заданном ресурсе комбайна. Практическое осуществление такого регулирования требует раздельных приводов резания и подачи с возможностью изменения оборотов исполнительного органа комбайна на 15 % от номинала. Приведенные формулы позволяют определять номинальные обороты и пределы их регулирования с учетом текущего состояния машины, условий ее эксплуатации и заданного ресурса. С помощью ЭЕМ можно по приведенной методике непрерывно поддерживать рациональное соотношение скоростей резания и подачи при эксплуатации. Это позволит внедрить АСУ ТП в забоях шахт.

ЛИТЕРАТУРА

1. Берман В.М., Верескунов В.Н., Рылов Г.С. Исследование формирования нагрузок в приводах режущих систем горных машин в зависимости от их характеристик. — Научные труды ИГД им.А.А.Скочинского, 1979, вып. 172.
2. Коломийцов М.Д. Метод прогнозирования наработки комбайнов. — Зап. ЛПИ, 1981, т. 87.
3. Коломийцов М.Д., Нгуен-Фам-Тхык. Численные показатели качества комбайнов. — Угольное машиностроение. Научно-технический реферативный сборник ЦБНТИ Минуглепрома УССР, 1979, № 8 (32).
4. Моделирование разрушения углей режущими инструментами / Под ред. Ю.Д.Красникова. М., Наука, 1981.
5. ОСТ 12.44.258-84. Комбайны очистные. Выбор параметров и расчет сил трения и подачи на исполнительных органах. М., изд. Минуглепрома СССР, 1984.
6. Позин Е.З., Маламед В.З., Тон В.В. Разрушение углей выемочными машинами. М., Недра, 1984.