

Стадник Н.И., д-р техн. наук, профессор

Ерёмин А.В., магистрант

Тараш Е.В., магистрант

(Донецкий национальный технический

университет, г. Красноармейск)

ОПТИМИЗАЦИЯ РАБОТЫ ОЧИСТНОГО КОМБАЙНА С ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМЫМ ПРИВОДОМ РЕЗАНИЯ

Стаднік М.І., д-р техн. наук, профессор

Єрємін А.В., магістрант

Тараш Є.В., магістрант

(Донецький національний технічний

університет, м. Красноармійськ)

ОПТИМІЗАЦІЯ РОБОТИ ОЧИСНОГО КОМБАЙНА З ЧАСТОТНО- РЕГУЛЬОВАНИМ ПРИВОДОМ РІЗАННЯ

Stadnik N.I., D. Sc. (Tech.), Professor

Yeremin A.V., Candidate of Master's Degree

Tarash Y.V., Candidate of Master's Degree

(Donetsk National Technical

University, Krasnoarmeysk)

OPTIMIZED OPERATION OF A SHEARER WITH VARIABLE FREQUENCY CUTTING DRIVE

Аннотация. Значительные запасы угля в Украине сосредоточены в тонких пологих пластах, мощностью до 1 метра. В этих условиях используются очистные комбайны, в основном, со шнековым исполнительным органом. Современные очистные комбайны обладают высокой энерговооруженностью и способны добывать уголь на больших скоростях перемещения. При этом в условиях тонких пластов возникают проблемы с погрузкой шнеком отделенной горной массы. Повышение погрузочной способности комбайнов является актуальной задачей, одним из вариантов решения которой может быть регулирование скорости вращения шнека.

Целью данной статьи является определение рациональных параметров работы комбайна, оснащенного частотно-регулируемым приводом резания, осуществляющего выемку тонких пластов, при изменении внешних условий.

Приведены зависимости устойчивого момента и устойчивой мощности от частоты питающего напряжения. Определен диапазон регулирования частоты вращения шнека по критерию устойчивого момента. Рассмотрены режимы работы комбайна, при изменении сопротивляемости угля резанию, с использованием регулируемого привода резания и без него. Показаны преимущества регулируемого привода резания по сравнению с нерегулируемым. Составлен алгоритм функционирования системы, при изменении сопротивляемости резанию, с учетом применения частотно-регулируемых приводов резания и перемещения. Рассмотрено применение данного алгоритма на примере конкретной лавы.

Предложенные решения позволяют определять оптимальные значения скорости перемещения комбайна и частоты вращения шнека, что способствует увеличению погрузочной способности шнека, а, следовательно, производительности комбайна, что особенно актуально для выемки тонких пластов.

Ключевые слова: угольный комбайн, частотно-регулируемый привод резания, устойчивый момент, мощность, алгоритм регулирования.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.

Как было показано в работах [1,5,6] при разработке тонких пластов существует проблема с погрузкой отделенной горной массы шнековым исполнительным органом очистного комбайна. Оптимизация погрузки угля является необходимым шагом к повышению эффективности работы очистных комбайнов, в условиях тонких пластов. В данной статье рассматривается регулирование частоты вращения шнека.

Анализ исследований и публикаций.

В работе [1] проанализирована погрузочная способность шнека комбайнов высокой энерговооруженностью в условиях тонких пластов; определена предельно возможная скорость перемещения комбайна по критериям погрузочной способности шнека, мощностей резания и погрузки. В работах [5,6] разработаны методики определения производительности шнека по погрузке; рациональных параметров шнека, решение выгрузки угля с помощью механо-гидродинамических систем, обеспечивающих повышение погрузочной способности.

Способ оптимизации погрузки угля регулированием частоты вращения шнека в научных публикациях детально не рассматривался.

Постановка задачи.

Целью работы является определение рациональных режимов работы, на примере комбайна УКД400, работающего в условиях тонких пластов, установление критерия регулирования частот вращения шнека, составления алгоритма действий, при изменении внешних условий.

Изложение материала и результаты

При использовании частотно-регулируемого привода шнека, существуют ограничения диапазона регулирования частоты питающего тока по критерию устойчивого момента двигателя, который определяется:

$$M_y(\alpha) = \frac{M_k(\alpha)}{1+3v_c} \quad (1)$$

где $M_k(\alpha)$ – критический момент двигателя; $\alpha = f_1 / f_{1ном}$ – относительная частота напряжения (тока) статора; f_1 - частота напряжения (тока) статора; $f_{1ном} = 50$ Гц.

Формула для определения критического момента асинхронного электродвигателя:

$$M_{кд}(\alpha) = \frac{m_1 \cdot U_{1нф}^2 \cdot \gamma^2}{2 \cdot \omega_{1ном}} \cdot \frac{1}{r_1 \alpha + \sqrt{(b^2 + c^2 \alpha^2)(d^2 + e^2 \alpha^2)}} \quad (2)$$

где $U_{1нф}$ – фактическое значение напряжения обмотки двигателя при $f_{1ном} = 50$ Гц; $m_1=3$ – число фаз статора; $\omega_{1ном}$ – номинальное значение угловой частоты вращения; $\gamma = U_1/U_{1нф}$ – относительное напряжение на статоре; U_1 – напряжение на статоре; $\tau_1 = x_1/x_0$ – коэффициент рассеяния статора; $\tau_2 = x'_2/x_0$ – коэффициент рассеяния ротора; $\tau = \tau_1 + \tau_2 + \tau_1 \tau_2$ – общий коэффициент рассеяния; $b=r_1(1 + \tau_2)$; $c = x_0\tau$; $d = r_1/x_0$; $e = (1 + \tau_1)$ – коэффициенты, зависящие от параметров схемы замещения; r_1, x_1 – активное и индуктивное сопротивление статора; x'_2 – приведенное индуктивное сопротивление ротора; x_0 – реактивное сопротивление контура намагничивания.

Для электродвигателя ЭКВ4-200В (используемого в комбайне УКД400): $U_{1нф} = 1140$ В, $\omega_{1ном} = 155 \text{ с}^{-1}$, $r_1 = 0,109$ Ом, $x_1 = 0,414$ Ом, $x_2 = 0,657$ Ом, $x_0 = 10,66$ Ом.

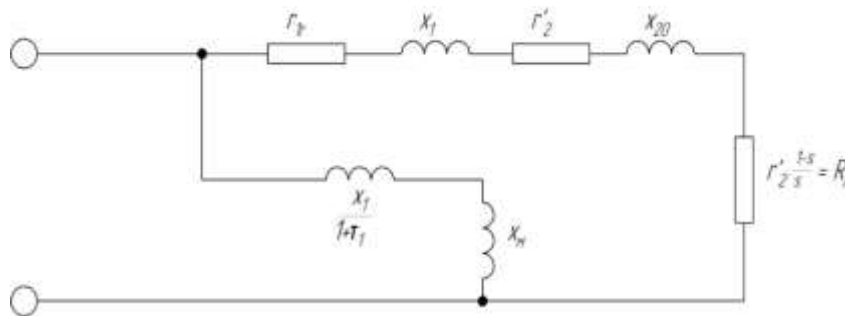


Рисунок 1 – Схема замещения двигателя ЭКВ4-200В

Устойчивый момент электродвигателя должен быть не меньше номинального, следовательно, диапазон допустимых значений частоты питающего тока и частоты вращения шнека.

$$f_{min}=8,29 \text{ Гц}, n_{min}= 9,8 \text{ об/мин} \quad f_{max}=63,66 \text{ Гц}, n_{max}= 75,3 \text{ об/мин}$$

Устойчивая мощность двигателя определяется формулой:

$$P_{уст} = \frac{M_{уст} \cdot n_{уст}}{9550}, \text{ кВт} \quad (3)$$

где $M_{уст}$ – значение устойчивого момента; $n_{уст}$ – значение частоты вращения ротора двигателя, соответствующее устойчивому моменту.

Вычислим значения устойчивой мощности при частоте тока 8.29, 50 и 63.66 Гц и результаты сведем в таблицу 1.

Таблица 1 – Зависимость устойчивой мощности от частоты вращения ротора двигателя

$n_{ш}, \text{ об/мин}$	$f, \text{ Гц}$	$n_{уст}, \text{ об/мин}$	$P_{уст}, \text{ кВт}$
9,8	8,29	245	33,15
59,1	50	1477,5	317
75,3	63,66	1882,5	254,68

Убедимся в том, что в пределах данного диапазона, момент, развиваемый приводом, не меньше необходимого.

Момент на шнеке, развиваемый приводом:

$$M = P/\omega \quad (4)$$

где P – мощность привода резания; ω – угловая скорость шнека.

Необходимый момент на шнеке:

$$M_{кр} = 0,5F_u D_u \quad (5)$$

где F_u – суммарная сила резания на шнеке; D_u – диаметр шнека.

Результаты расчетов занесем в таблицу 2.

Таблица 2 – Соотношение моментов для различных значений сопротивляемости резанию

А, Н/мм – сопротивляемость резанию	120	240	360
$M^{8,29 \text{ Гц}} = M^{63,66 \text{ Гц}}$, Нм	32300	32300	32300
Ди, м	1	1	1
F_u , Н	11747	27994	42300
$M_{кр}$, Нм	5873,5	13997	21150
Соотношение М и $M_{кр}$	$M > M_{кр}$	$M > M_{кр}$	$M > M_{кр}$

Следовательно, для данного диапазона частот тока момент, развиваемый приводом, больше необходимого.

На рис. 2 и 3 приведены зависимости:

$P_{сум}$ – суммарная мощность привода резания;

$P_{рез}$ – мощность резания;

$P_{погр}$ – мощность погрузки;

$P_{уст}$ – устойчивая мощность;

$M_{уст}$ – устойчивый момент;

$M_{к}$ – критический момент;

$M_{ном}$ – номинальный момент.

Пояснения индексов данных величин указаны ниже по тексту.

На рис. 2 и 3 приведены кривые для следующих условий: мощность пласта – 0,85 м, диаметр шнека – 0,8 м, угол наклона пласта – 35°, уголь вязкий. Эти сложные условия являются характерными для угольных месторождений Украины, в частности Донбасса.

Расчеты выполнены в соответствии с [3] и в статье не приводятся.

С учетом сказанного и характеристик, представленных на рис.2 и 3 рассмотрим режимы работы комбайна и варианты их оптимизации.

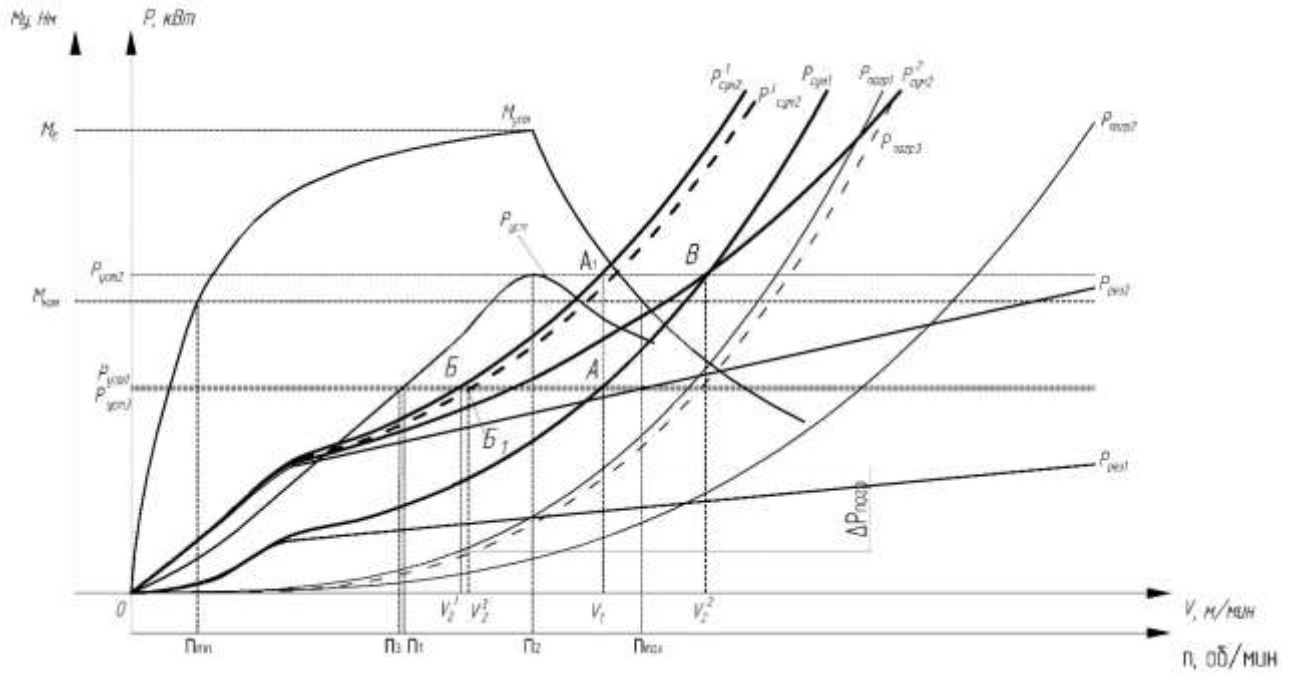


Рисунок 2 – Статические характеристики работы очистного комбайна с частотно-регулируемым приводом резания и перемещения, при увеличении сопротивляемости угля резанию

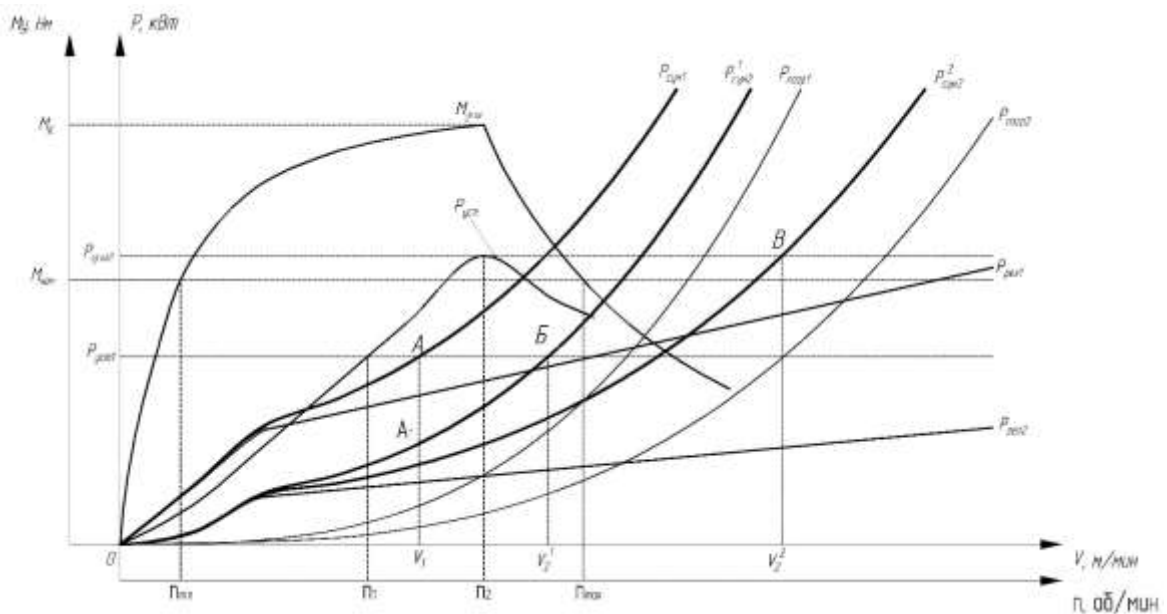


Рисунок 3 – Статические характеристики работы очистного комбайна с частотно-регулируемым приводом резания и перемещения, при уменьшении сопротивляемости угля резанию

Пусть изначально комбайн работал в режиме *A*, который характеризуется параметрами V_1 и n_1 . Графически параметры определяются следующим образом: проецированием точки пересечения кривой суммарной мощности $P_{сум1}$ и прямой устойчивой мощности $P_{уст1}$ на ось V определяется максимальная ско-

рость перемещения для данного режима V_1 ; проецированием точки пересечения прямой устойчивой мощности P_{ycm1} и кривой зависимости устойчивой мощности от скорости вращения шнека P_{ycm} на ось n определяется скорость вращения шнека. Для данного режима составляющими суммарной мощности являются мощность резания $P_{рез1}$ и мощность погрузки $P_{погр1}$.

Предположим, что в процессе разрушения угольного массива комбайном произошло увеличение сопротивляемости резанию. На рис.2 это отражено изменением кривой мощности резания, которая теперь примет вид $P_{рез2}$, что повлечет изменение кривой суммарной мощности с $P_{сум1}$ на $P_{сум2}^1$. Продолжение работы комбайна с прежними параметрами движения невозможно, вследствие превышения суммарной мощности в точке A_1 над величиной устойчивой мощности P_{ycm1} .

Дальнейшие действия, согласно применяемому в настоящее время алгоритму, предполагают снижение скорости перемещения до V_2^1 . В дальнейшем комбайн продолжает работу в режиме Б с параметрами V_2^1 и n_1 , которые графически определяются аналогично параметрам режима А. Для данного режима составляющими суммарной мощности являются мощность резания $P_{рез2}$ и мощность погрузки $P_{погр1}$.

При внедрении регулируемого привода резания появляется возможность других действий в данной ситуации:

Вариант 1 – При увеличении сопротивляемости резанию, согласно выбранному критерию определения рациональных параметров движения происходит переход от значения скорости вращения шнека n_1 до значения n_2 . Кривая мощности погрузки примет вид $P_{погр2}$, а кривая суммарной мощности – $P_{сум2}^2$. При увеличении скорости вращения шнека, увеличивается величина устойчивой мощности привода резания до величины P_{ycm2} . Таким образом, режим работы В будет определяться пересечением кривой суммарной мощности $P_{сум2}^2$ и прямой устойчивой мощности P_{ycm2} (а не P_{ycm1} , как это было с нерегулируемым приводом). Параметрами движения для режима В являются V_2^2 и n_2 . А составляющими суммарной мощности – мощность резания $P_{рез2}$ и мощность погрузки $P_{погр2}$. Это позволит получить более высокие значения скорости перемещения по сравнению с действующим в настоящее время алгоритмом и, как следствие, повышенные значения производительности.

Вариант 2 – Аналогично используемому в настоящее время алгоритму, при увеличении сопротивляемости резанию, осуществляется снижение скорости перемещения до V_2^1 . При этом происходит снижение мощности погрузки на величину $\Delta P_{погр}$. При работе комбайна с параметрами V_2^1 и n_1 имеет место избыточная погрузочная способность шнека. Для ее устранения можно понизить частоту вращения шнека до n_3 , что повлечет за собой снижение мощности погрузки, которая примет вид $P_{погр3}$. Режим комбайна B_1 будет определяться пересечением кривой суммарной мощности $P_{сум2}^3$ и прямой устойчивой мощности

$P_{ум3}$. Данные действие позволят повысить скорость перемещения до V_2^3 и снизить энергопотребление.

В случае уменьшения сопротивляемости резанию, происходит уменьшение мощности резания, что предоставляет возможность увеличения скорости перемещения (рис.3).

Предположим, что комбайн работал в режиме A с параметрами V_1 и n_1 и в процессе работы произошло снижение сопротивляемости резанию. В таком случае кривая мощности резания примет вид $P_{рез2}$, а кривая суммарной мощности – $P_{сум2}^1$. Продолжение работы в точке A_1 с той же скоростью нерационально, следовательно, необходимо увеличить скорость перемещения до V_2^1 и перевести комбайн в режим B (V_2^1, n_1). В этом и заключается алгоритм действий, который используется в системах управления современных комбайнах.

Однако, увеличение скорости перемещения, при прежнем значении частоты вращения шнека, влечет за собой недостаток погрузочной способности шнека и, как следствие, увеличение мощности погрузки. При повышении скорости вращения шнека до n_2 , возникает возможность увеличения скорости перемещения до V_2^2 . Комбайн в таком случае продолжит работу в режиме B с повышенным значением производительности.

Исходя из рис.2 и 3, регулирование частоты вращения шнека позволяет снизить значение мощности погрузки, а, следовательно, и значение удельных энергозатрат на добычу угля.

Таким образом, отличительными особенностями регулируемого привода резания являются:

- возможность оптимизации соотношения мощностей резания и погрузки;
- возможность увеличения максимальной скорости перемещения комбайна;
- возможность снижения энергопотребления;
- сравнение суммарной мощности с изменяющимся в зависимости от частоты тока значением устойчивой мощности.

Рассмотрим алгоритм действий, при изменении сопротивляемости угля резанию, с учетом применения частотно-регулируемых приводов резания и перемещения.

1) Ввод исходных данных (фигура 1 на рис.5).

Задание следующих параметров:

- распределение сопротивляемости угля резанию (A_n) вдоль лавы;
- мощность пласта (H);
- угол работы комбайна (α).

К данному этапу также относится внесение в память системы управления кривых резания, погрузки, устойчивого момента, устойчивой мощности, оптимальных значений скорости подачи и частоты вращения шнека и временных диаграмм для условий данного очистного забоя.

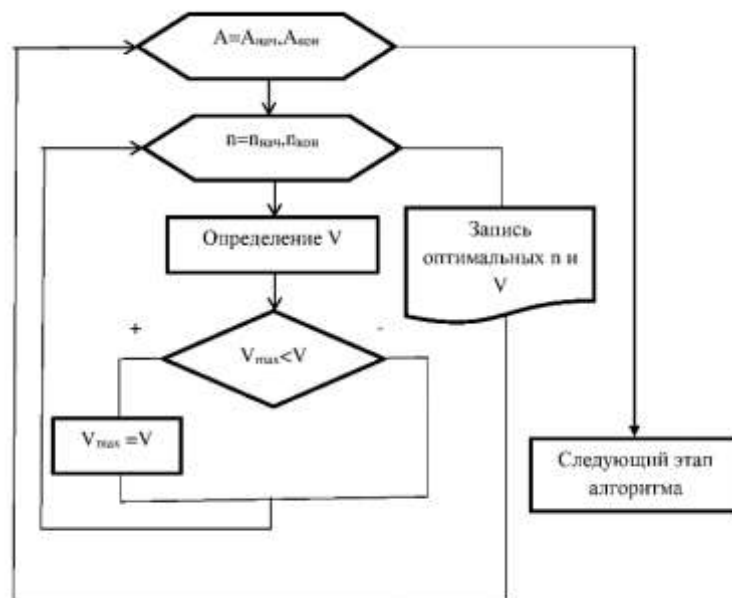
Регулируемый привод резания позволяет реализовать системы управления, реализующие различные критерии оптимизации режимов работы очистных комбайнов. К таковым относятся: максимальная производительность, макси-

мальное отношение мощности резания к мощности погрузки, минимальное значение удельных энергозатрат и др.

Рассмотрим работу комбайна при реализации режима: «максимальная производительность».

При неизменных значениях мощности пласта, ширины захвата и плотности угля, производительность комбайна примет максимальное значение, при наибольшей скорости перемещения.

На рис.4 представлен цикл определения оптимальных значений параметров движения комбайна. Он заключается в вычислении наиболее рациональных значений скорости перемещения (V) и частоты вращения шнека (n) для каждого значения сопротивляемости резанию (A). Данный процесс выглядит следующим образом: для всех значений n в пределах от $n_{нач}$ до $n_{кон}$, которые были определены выше по критерию устойчивого момента, определяется V и сравнивается с максимальным значением V_{max} (для первого шага цикла сравнение отсутствует и вычисленное V принимается за максимальное). Если $V_{max} < V$, то V_{max} принимается равным вычисленному V и в дальнейших шагах цикла сравнение происходит уже с новым значением V_{max} . Если же $V_{max} > V$, то значение V_{max} остается прежним. По окончании вычислений в указанном диапазоне n , осуществляется запись наибольшего значения V и соответствующего ему значения n и происходит переход к следующему значению A и цикл повторяется в пределах от $A_{нач}$ до $A_{кон}$. После завершения вычислений для всех A происходит выход из цикла и выполняется переход к следующему этапу алгоритма – определение временных диаграмм скорости перемещения и частоты вращения шне-



ка.

Рисунок 4 – Цикл определения оптимальных значений скорости перемещения частоты вращения шнека по критерию максимальной производительности

Определение рациональных значений скорости подачи и частоты вращения

шнека по критериям «максимальное отношение мощности резания к мощности погрузки» и «минимальное значение удельных энергозатрат» является направлением дальнейших исследований.

Временные диаграммы изменения скорости перемещения и частоты вращения шнека определяются исходя из заданных начальных и конечных значений скорости и частоты соответственно, а также указанного расстояния, за время прохождения которого необходимо изменить параметры движения.

Кроме того, при построении данных диаграмм, необходимо учитывать максимальные значения ускорения комбайна и углового ускорения шнека.

2) Сравнение действующего значения мощности привода резания P_i с предыдущим значением P_{i-1} , измеренным ранее (фигуры 2 и 3 на рис.5).

Для этого необходимо производить измерение мощности привода резания с определенным интервалом, равным периоду оборота шнека, на всем протяжении работы комбайна.

В случае если действующее значение отклонилось от значения, измеренного в течение предыдущего периода оборота шнека, происходит выполнение следующего этапа алгоритма. Если нет, то нет необходимости его использования, и комбайн продолжает работать в прежнем режиме.

3) Определение составляющих суммарной мощности на резание и погрузку по кривым, внесенным в память системы управления на первом этапе алгоритма (фигура 4 на рис.5).

4) Для необходимых значений сопротивляемости резанию, заданных в качестве начальных условий, выбираются хранящиеся в памяти оптимальные значения частоты вращения шнека и скорости перемещения комбайна (фигура 5 на рис.5).

5) Необходимо удостовериться, что на заданном расстоянии с учетом начальных и выбранных оптимальных значений скорости перемещения и частоты вращения шнека, комбайн перейдет на новый режим работы (фигуры 6 и 7 на рис.5).

Если $L > L_{min}$, то происходит выполнение следующего этапа алгоритма. Если наоборот, то на данном участке лавы нецелесообразно изменять параметр движения комбайна согласно алгоритму, в связи с тем, что комбайн не успеет отреагировать и перейдет на новый режим позже требуемого. Поэтому, при прохождении такого участка, необходимо оставить прежние значения скорости перемещения и частоты вращения шнека и перейти к проверке данного условия на следующем участке изменения сопротивляемости резанию.

6) Для указанного расстояния, за время прохождения которого необходимо изменить параметры движения, а также используя начальные и конечные параметры, выбираются временные диаграммы изменения скорости перемещения и частоты вращения шнека, хранящиеся в памяти компьютера (фигура 8 на рис.5).

7) Задание комбайну выбранных значений скорости перемещения и частоты вращения шнека, а также зависимостей последних от времени (фиг. 9 на рис.5).

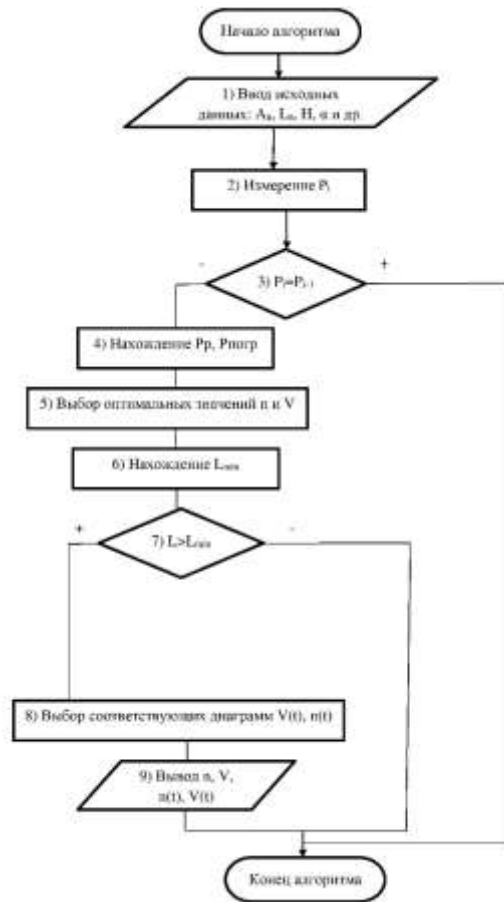


Рисунок 5 – Блок-схема алгоритма

Математическая модель алгоритма:

$$\left\{ \begin{array}{l}
 n = \frac{60 \cdot f}{p} (1 - s) \\
 V = \frac{6000 \eta_p P_{\text{сум}} - \pi n F_u}{35000 \pi \eta_p} \\
 Q = 60 H B V \gamma \\
 a_{\text{max}} = \frac{F_{\text{тяг}} - m g (\mu \cos \alpha + \sin \alpha)}{m} \\
 \varepsilon_{\text{max}} = \frac{M - 0.5 F_u D_u}{I} \\
 M_{\text{уст}} = \frac{M_k}{1 + 3 v_c} \\
 P_{\text{уст}} = \frac{M_{\text{уст}} n_{\text{уст}}}{9550} \\
 P_p = \frac{F_u V_p}{1000 \eta_p} \\
 P_{\text{погр}} = \frac{\pi F_{\text{погр}} D_u n}{60 \cdot 1000} \\
 P_{\text{сум}} = P_p + P_{\text{погр}} \\
 L_{\text{min}} = \text{MAX} \left[\frac{V^2 - V_0^2}{2 a_{\text{max}}}, \frac{\omega^2 - \omega_0^2}{2 \varepsilon_{\text{max}}} \right]
 \end{array} \right. \quad (6)$$

где n – частота вращения шнека; f – частота тока; p – число пар полюсов; s – скольжение; V – скорость перемещения; $P_{\text{сум}}$ – суммарная мощность; η_p – КПД редуктора резания; F_u – суммарная сила резания на шнеке; Q – теоретическая производительность; H – мощность пласта; B – ширина захвата; γ – плотность угля; a_{max} – максимальное ускорение комбайна; $F_{\text{тяг}}$ – сила тяги; m – масса комбайна; α – угол работы комбайна; ε_{max} – максимальное угловое ускорение шнека; M – момент на шнеке; D_u – диаметр шнека; I – момент инерции шнека; $M_{\text{уст}}$ – устойчивый момент; M_k – критический момент; v_c – коэффициент вариации; $P_{\text{уст}}$ – устойчивая мощность; $n_{\text{уст}}$ – значение частоты вращения ротора двигателя, соответствующее устойчивому моменту; P_p – мощность резания; $P_{\text{погр}}$ – мощность погрузки; $F_{\text{погр}}$ – сила сопротивления погрузки материала; L_{min} – минимально необходимое расстояние, для переключения комбайна; V, ω – конечные значения скорости перемещения комбайна и угловой скорости шнека соответственно; V, ω_0 – начальные значения скорости перемещения комбайна и угловой скорости шнека соответственно.

Рассмотрим данный алгоритм на примере лавы, длиной $L=250$ м; угол падения пласта $\alpha=15^\circ$; мощность пласта $H=0,85$ м; движение комбайна вверх по лаве.

Для этих условий выполнен анализ, результаты которого приведены на рис. 6.

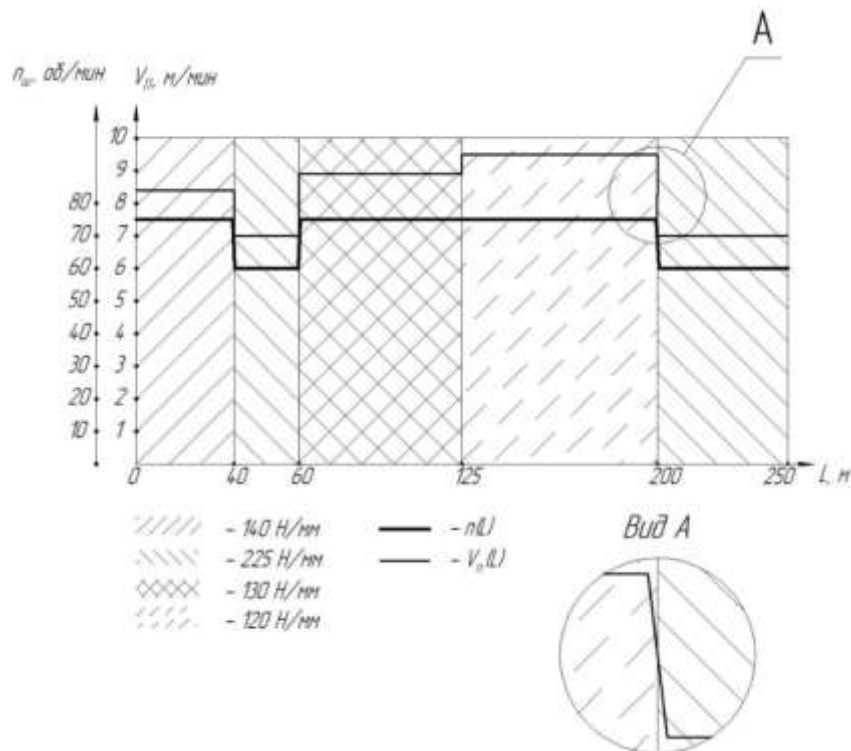


Рисунок 6 – Изменение скорости перемещения и частоты вращения шнека на заданном участке лавы

Исходя из рис.6 на участках лавы с сопротивляемостью резанию 120, 130 и 140 Н/мм наибольшая скорость перемещения согласно алгоритму достигается при частоте вращения шнека 75 об/мин. А при сопротивляемости 225 Н/мм – 60 об/мин.

Для оценки эффективности предложенного алгоритма, сравним производительность и количество времени, затраченного на добычу угля в заданных условиях, при использовании регулируемого привода резания и без него.

Значения теоретической производительности для двух вариантов определяются расчетным путем (из уравнения в формуле 6). Время вычисляется исходя из длины участка лавы и соответствующей ему скорости, при работе комбайна с использованием регулируемого привода резания и без него. Расчеты в статье не приводятся.

Результаты показаны на рис.7.

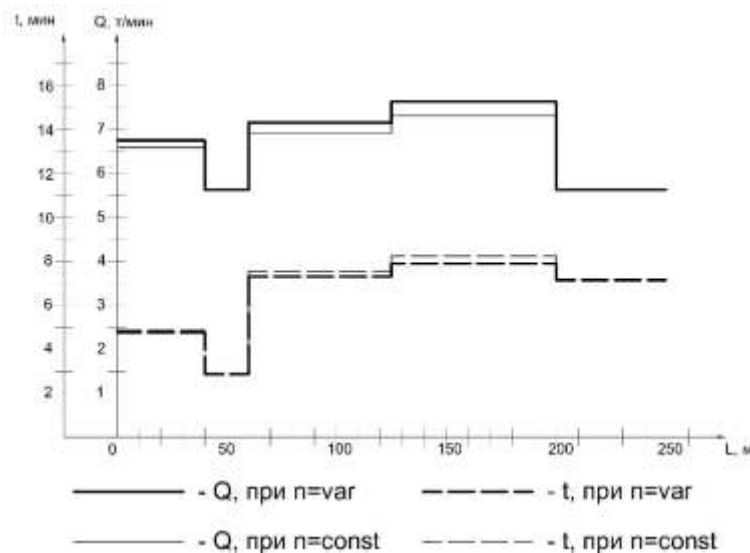


Рисунок 7 – Зависимость теоретической производительности и затраченного времени от участков лавы с различной сопротивляемостью резанию при использовании регулируемого привода резания и без него

Определим математическое ожидание скорости перемещение и среднеквадратическое отклонение с использованием регулируемого привода резания и без него.

Математическое ожидание:

$$M = \sum_{i=1}^n x_i p_i \quad (7)$$

где x_i – i -ый элемент выборки; p_i – вероятность.

Среднеквадратическое отклонение:

$$\sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^n x_i^2 p_i - M^2} \quad (8)$$

Для нерегулируемого привода резания: $M = 8,24$ м/мин, $\sigma = 0,82$.

Для регулируемого привода резания: $M = 8,47$ м/мин, $\sigma = 0,99$.

Таким образом, применение регулируемого привода резания, для данного примера, привело к увеличению скорости перемещения комбайна, а, следовательно, и производительности на 2,8 %.

Выводы и направления дальнейших исследований

Проведенными исследованиями установлено, что диапазон регулирования скорости вращения шнека по критерию устойчивого момента составляет – от 9,8 до 75,3 об/мин (от 8,29 до 63,66 Гц). Определена зависимость устойчивой мощности привода резания от частоты тока. Построены кривые статических характеристик работы комбайна с использованием регулируемого привода и без него, при изменении сопротивляемости угля резанию. Разработан алгоритм определения рационального режима работы комбайна, при изменении внешних условий, с учетом применения частотно-регулируемых приводов резания и перемещения. В качестве критерия определения рациональных параметров работы комбайна рассмотрен вариант - «максимальная производительность». Приведен пример его использования и оценен эффект, который составил 2,8% в сравнении с вариантом нерегулируемого привода резания. В дальнейшем продолжение работы предполагается в направлении изучения иных критериев определения оптимальных параметров движения комбайна и анализа компоновочных схем комбайна с учетом регулируемого привода резания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Стадник, Н.И. Анализ и оптимизация погрузки угля шнеками комбайнов с высокой энерговооруженностью в условиях тонких пластов / Н.И. Стадник, А.В. Ерёмин, Е.В. Тараш. // Наукові праці Донецького нац. техн. ун-ту. Серія гірничо-електромеханічна. - Донецьк, 2014. - Вип.1 (27). - С. 212-224.
2. Устойчивый момент и диапазон частотного регулирования двухдвигательного привода механизма перемещения очистного комбайна / В.П. Кондрахин, В.В. Косарев, Н.И. Стадник, А.В. Мезников // Наукові праці Донецького нац. техн. ун-ту. Серія гірничо-електромеханічна. - Донецьк, 2010. - Вип.18 (172). - С. 77-89.
3. Комбайны очистные. Методика выбора параметров и расчета сил резания и подачи на исполнительных органах: КД 12.10.040-99 / С.П. Грекова, В.А. Дейниченко [и др.]. – Донецк: Донгипроулемаш, 1999. – 75 с.
4. Бубликов А. В. Управление угольным комбайном по критерию минимальных удельных энергозатрат / А. В. Бубликов // Вісник Приазовського державного технічного університету. - 2008. - № 18(2). - С. 88-91.
5. Бойко М.Г. Навантаження вугілля очисними комбайнами. / М.Г. Бойко – Донецьк: РВА ДонНТУ, 2002. – 157 с.
6. Нечепасев В.Г. Механо-гідродинамічні шнекові системи вивантаження і транспортування. / В.Г. Нечепасев. - Донецьк: ДонНТУ, 2005. - 215 с.
7. Стадник Н.И. Идентификация процесса заштыбовки шнека добычных комбайнов на тонких пластах сложного строения. / Н.И. Стадник, А.В. Бубликов // Наукові праці Донецького нац. техн. ун-ту. Серія гірничо-електромеханічна. - Донецьк, 2013. - Вип. 1 (25). - С. 161-174.
8. Бубликов А.В. Определение заштыбовки шнекового исполнительного органа малого диаметра добычного комбайна на основе статистического анализа мгновенных значений нагрузки на валу электродвигателя.

тродвигателя привода резания / В. В. Ткачев, А. В. Бубликов // Академический вестник Криворожского территориального отделения Международной Академии компьютерных наук и систем. – 2007. – № 20. – С. 40-46.

9. Бубликов А.В. Автоматизация процесса управления видобувними комбайнами на основі моделювання роботи шнека: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.13.07 «Автоматизация процесів керування» / А.В. Бубликов. – Дніпропетровськ, 2010. – 20 с.

10. Проектирование и конструирование горных машин и комплексов: Учебник для вузов/ Малеев Г.В., Гуляев В.Г., Бойко Н.Г. [и др.] – М.: Недра, 1988. – 368 с.

REFERENCES

1. Stadnik, N.I., Eremin, A.V. and Tarash, E.V. (2014) “Analysis and optimization of coal loading by augers of shearers with high in-stalled power in conditions of thin coal beds”, *Naukovi pratsi Donetskogo natsionalnogo tekhnichnogo universytetu. Seriya: «Girnycho-elektromekhanichna»*, vol. 1 (27), pp. 212-224.

2. Kondrakhin, V.P., Kosarev, V.V., Stadnik, N.I. and Meznikov, A.V. (2010), “Stable torque and a frequency regulation range of twin-engine drive of shearer motion mechanism”, *Naukovi pratsi Donetskogo natsionalnogo tekhnichnogo universytetu. Seriya: «Girnycho-elektromekhanichna»*, vol. 18 (172), pp. 77-89.

3. Ukraine Ministry of Coal Industry (1999), *12.10.040-99. Kombayny ochistnye. Metodika vybora parametrov i rascheta sil rezaniya i podachi na ispolnitelnykh organakh* [12.10.040-99. Shearers. The technique of parameter selection and calculation of cutting and haulage forces applied to executive elements], Dongiprouglesh, Donetsk, Ukraine.

4. Bublikov, A.V. (2008) “Shearer operation by the criterion of minimal specific energy consumption”, *Visnyk Pryazovskogo derzhavnogo tekhnichnogo universytetu*, vol. 18, no. 2, pp. 88-91.

5. Boyko, M.G. (2002), *Navantazhennia vugillia ochysnymy kombaynamy* [Coal loading with shearers], RVA DonNTU, Donetsk, Ukraine.

6. Nechepaev, V.G. (2005), *Mekhano-gidrodinamichni shnekovi systemy vyvantazhennia i transportuvannia* [Mechanical and hydrodynamic auger systems of unloading and conveyance], DonNTU, Donetsk, Ukraine.

7. Stadnik, N.I. and Bublikov, A.V. (2013), “The identification of gumming process of shearer auger in thin seams of complex structure”, *Naukovi pratsi Donetskogo natsionalnogo tekhnichnogo universytetu. Seriya: «Girnycho-elektromekhanichna»*, vol. 1(25), pp.161-174.

8. Bublikov, A.V. (2007) “Determination of shearer small diameter auger gumming based on static analysis of instantaneous value of load on the cutting drive electric motor shaft”, *Akademicheskyy vesnik Krivorozhskogo teritorialnogo otdeleniya Mezhdunarodnoy Akademii kompyutornykh nauk i sitem*, vol. 20, pp. 40-46.

9. Bublikov, A.V. (2010), “Automation of control process by shearer loaders on the basis of modeling of auger work”, Abstract of D.Sc. dissertation, Automation of control processes, National Mining University, Dnipropetrovsk, Ukraine.

10. Maleev, G.V., Gulyaev, V.G. and Boyko N.G. (1988), *Proektirovaniye i konstruirovaniye gornykh mashin i kompleksov: Uchhebnyk dlia vuzov* [Designing of mining machines and complexes], Nedra, Moscow, USSR.

Об авторах

Стадник Николай Иванович, доктор технических наук, профессор, Донецкий национальный технический университет, Красноармейск, Украина, stadnik1948@gmail.com

Ерёмин Антон Витальевич, магистрант, Донецкий национальный технический университет, Красноармейск, Украина, eremin_anton1@hotmail.com

Тараш Елизавета Вадимовна, магистрант, Донецкий национальный технический университет, Красноармейск, Украина, liza-tarash@yandex.ua

About the authors

Stadnik Nikolay Ivanovich, Doctor of Technical Sciences (D. Sc.), Professor, Donetsk National Technical University, Krasnoarmeysk, Ukraine, stadnik1948@gmail.com

Yeremin Anton Vitalyevich, Master of Science, Candidate of Master's Degree, Donetsk National Technical University, Krasnoarmeysk, Ukraine, eremin_anton1@hotmail.com

Tarash Yelizaveta Vadimovna, Master of Science, Candidate of Master's Degree, Donetsk National Technical University, Krasnoarmeysk, Ukraine, liza-tarash@yandex.ua

Анотація. Суттєві запаси вугілля в Україні зосереджені у тонких пологих пластах, потужністю до 1 метра. У цих умовах використовуються очисні комбайни, в основному, із шнековим виконавчим органом. Сучасні очисні комбайни володіють високою енергоозброєністю та здатні добувати вугілля на великих швидкостях переміщення. При цьому в умовах тонких пластів виникають проблеми з навантаженням шнеком відокремленої гірничої маси. Підвищення навантажувальної здатності комбайнів є актуальним завданням, одним з варіантів рішення якого може бути регулювання швидкості обертання шнека.

Метою даною статті є визначення раціональних параметрів роботи комбайна, оснащеного частотно-регульованим приводом різання, що здійснює виїмку тонких пластів, при зміні зовнішніх умов.

Приведені залежності стійкого моменту та стійкої потужності від частоти напруги живлення. Визначений діапазон регулювання частоти обертання шнеку за критерієм стійкого моменту. Розглянуті режими роботи комбайна, при зміні опірності вугілля різанню, із використанням регульованого приводу різання та без нього. Показані переваги регульованого приводу різання у порівнянні із нерегульованим. Складений алгоритм функціонування системи, при зміні опірності різанню, з урахуванням застосування частотно-регульованих приводів різання та переміщення. Розглянуто застосування даного алгоритму на прикладі конкретної лави.

Запропонований алгоритм дозволяє визначити оптимальні значення швидкості переміщення комбайна та частоти обертання шнека, що сприяє збільшенню навантажувальної здатності шнека, а, отже, і продуктивності комбайна, що особливо актуально для виїмки тонких пластів.

Ключові слова: вугільний комбайн, частотно-регульований привод різання, стійкий момент, потужність, алгоритм регулювання.

Abstract. Considerable coal resources in Ukraine are concentrated in thin seams whose thickness is up to 1 meter. In these conditions, shearers, mainly drum shearers, are used. State-of-art shearers possess high power and can extract coal at high haulage velocities. In this case, there are problems with loading detached mining mass by auger in conditions of thin seams. Increase of shearer loading power is a live problem, and one of the solutions could be regulation of the auger rotation frequency.

Purpose of the article is to determine rational operating parameters for the shearer equipped with variable-frequency cutting drive and extracting thin seams at changing external conditions.

Dependence of stable torque and stable power on frequency of supply voltage is shown. Range of auger rotation frequency regulation is determined by criterion of the stable torque. Modes of the shearer operation are considered with and without variable-frequency cutting drive and at variable resistance to cutting. Advantages of variable-frequency cutting drive are proved. An algorithm is created for the system functioning at variable coal resistance to cutting with variable-frequency cutting and haulage drives. Employment of the algorithm is demonstrated on example of specific longwall.

The proposed algorithm allows determining optimal values for the shearer haulage velocity and the auger rotation frequency. It contributes to increase of the auger loading power and, therefore, shearer efficiency that is especially actual for extraction of thin seams.

Keywords: coal shearer, variable-frequency drive, stable torque, power, regulation algorithm.

Стаття постуила в редакцію 10.03.2015

Рекомендовано к публікації д-ром техн. наук В.Г. Шевченко