

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЙ СПОСОБ АВТОМАТИЗАЦИИ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ДОБЫЧНЫХ КОМБАЙНОВ НА ТОНКИХ ПЛАСТАХ

В статье рассмотрен актуальный вопрос снижения удельных энергозатрат на добычу угля за счет разработки на основе критерия заштыбовки шнека нового принципа автоматического управления добычными комбайнами. В ходе исследований определены условия наступления заштыбовки шнека для автоматической системы и параметры алгоритма автоматического управления добычным комбайном с позиции снижения удельных энергозатрат на добычу угля.

В статті розглянуте актуальне питання зниження питомих енерговитрат на видобування вугілля за рахунок розробки на основі критерію заштибовки шнека нового принципу автоматичного керування видобувними комбайнами. В ході досліджень визначені умови настання заштибовки шнека для автоматичної системи та параметри алгоритму автоматичного керування видобувним комбайном з позиції зниження питомих енерговитрат на видобування вугілля.

The paper deals with the topical problem of reducing energy consumption in coal mining by developing a new principle of cutter-loader automatic control on the basis of auger gumming criterion. The research resulted in defining conditions of auger gumming beginning for automatic system and algorithm parameters for the automatic control of the cutter-loader in terms of energy consumption reduction.

Вступление. Промышленные запасы угля в Украине распределены следующим образом: 83,2% всего запаса сосредоточено в тонких пологонаклонных пластах (до 1,2 м), из которых 88,4% (965) наиболее приспособлены к комбайновой выемке угля. Поэтому в институте «Донгипроуглемаш» (г. Донецк) с целью создания высокоэффективных добычных комбайнов для условий работы в ограниченном пространстве была разработана серия комбайнов УКД. Комбайны серии УКД предназначены для выемки угольных пологонаклонных пластов мощностью 0,8 – 1,3 м и имеют повышенную энерговооруженность. Например, добычной комбайн УКД300 снабжен двумя индивидуальными электродвигателями для каждого привода резания мощностью по 150 кВт и двумя индивидуальными электродвигателями для каждого привода подачи мощностью по 30 кВт.

Чтобы предотвратить присечку пород массива, в комбайнах серии УКД уменьшен диаметр шнекового исполнительного органа. Поскольку на исполнительный орган действуют значительные нагрузки, уменьшение диаметра ступицы шнека не допускается. Поэтому была уменьшена высота лопасти шнека, что существенно снизило его погрузочную способность. Как показали испытания комбайна УКД300, вследствие этого затраты электроэнергии на процесс транспортирования и погрузки угля шнеком при автоматическом управлении комбайном стали соизмеримы с затратами электроэнергии на более энергоемкий процесс резания угля резцами.

Формулирование цели и задач исследования. Известный алгоритм автоматического управления скоростью подачи был разработан с учетом конструктивных особенностей комбайнов, которые работают на пластах мощностью от 1,3 м. Поэтому авторы поставили цель исследовать энергетическую эффективность применяемого на добычных комбайнах алгоритма автоматического

управления скоростью подачи в условиях тонких пластов и на основе рабочих статических характеристик комбайна обосновать энергоэффективный режим работы с позиции удельных энергозатрат на резание, транспортирование и погрузку угля исполнительным органом.

Изложение основного материала исследований. Исследования в статье проводятся с помощью имитационной модели «забой – исполнительный орган – электродвигатель привода резания», в основу которой заложены известные методики расчета силовых характеристик добычного комбайна [1], математическое описание преобразования энергии в электроприводе [2], и результаты многочисленных исследований статической динамики добычного комбайна для имитации нагрузки на исполнительном органе [3]. В качестве входных данных взяты конструктивные параметры добычного комбайна УКД300, а также реализации активной мощности электродвигателя привода резания, полученные в ходе испытаний работы добычного комбайна УКД300 в условиях лавы 519 пласта С₅ участка №7 шахты «Павлоградская».

Сегодня алгоритм автоматического управления скоростью подачи добычных комбайнов следующий:

- поддержание заданного значения скорости подачи, если средний уровень мощности наиболее нагруженного электродвигателя приводов резания не превышает своего устойчивого значения;

- стабилизация на заданном уровне среднего значения мощности наиболее нагруженного электродвигателя приводов резания путем соответствующего регулирования скорости подачи комбайна.

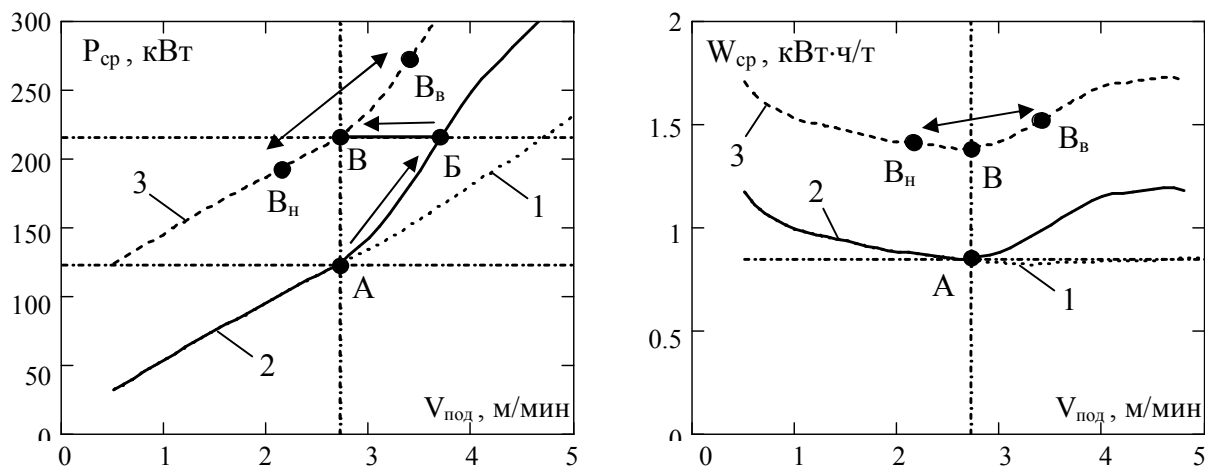


Рис. 1. Рабочие статические характеристики добычного комбайна УКД300: 1 – без заштыбовки шнека; 2 – с заштыбовкой шнека; 3 – при работе комбайна с постоянным средним объемом циркулирующего угля

С помощью имитационного моделирования получены статические рабочие характеристики комбайна УКД300, изображенные на рис.1. В каждый момент времени на плоскости, в которой строятся статические рабочие характеристики, существует только одна точка (точка режима работы), которая соответствует режиму работы комбайна именно в этот момент времени. В процессе ра-

боты добычного комбайна точка режима работы меняет свое положение. Рассмотрим положения точки режима работы добычного комбайна УКД300 на рис.1 при автоматическом управлении скоростью подачи комбайна согласно существующему алгоритму.

Согласно режиму стабилизации мощности электродвигателя привода резания, система автоматического управления (САУ) увеличивает скорость подачи до момента превышения фактической мощностью электродвигателя привода резания устойчивого значения (точка Б на рис.1). САУ добычным комбайном будет продолжать увеличение скорости подачи несмотря на заштыбовку шнека, которая началась при превышении погрузочной способности исполнительного органа (точка А на рис.1). Когда фактическая мощность электродвигателя привода резания становится больше своего устойчивого значения, САУ добычным комбайном начинает снижать скорость подачи, пока давление циркулирующего угля на поверхности шнека не компенсируется запасом мощности электродвигателя привода резания при работе комбайна на грани заштыбовки шнека (В–А на рис.1). При дальнейшей работе САУ добычным комбайном стабилизирует мощность, потребляемую электродвигателем привода резания, между точками В_н и В_в на кривой 3 (рис.1). При этом в рабочем пространстве шнека наблюдается циркулирующий уголь, который занимает в среднем 64 % рабочего объема шнека.

Таким образом, работа добычного комбайна при автоматическом управлении скоростью подачи согласно существующему алгоритму происходит с максимальным использованием мощности электродвигателя привода резания, но с существенно завышенными удельными энергозатратами на добычу угля. Это объясняется тем, что часть мощности электродвигателя привода резания (В–А на рис.1 – 42% всей мощности) тратится на бесполезную работу – преодоление давления и сил трения циркулирующего угля о поверхности шнека.

С учетом доказанной энергетической неэффективности существующего алгоритма автоматического управления скоростью подачи комбайна на тонких пластах предлагается способ снижения удельных энергозатрат на добычу угля за счет разработки на основе критерия заштыбовки шнека нового принципа автоматического управления угольными комбайнами.

В качестве критерия заштыбовки шнека рекомендовано использовать скользящее среднее отношение мгновенных значений мощности, потребляемой электродвигателем привода резания, замеренных со смещением во времени, равным четверти периода оборота шнека [4]:

$$k_i = \frac{\sum_{x=i-T_{уср}}^i \begin{cases} \frac{P_{x-0,25 \cdot T_{пер}}}{P_x}, & \text{если } \left\lfloor \frac{x}{0,25 \cdot T_{пер}} \right\rfloor - (2 \cdot n + 1); \\ \frac{P_x}{P_{x-0,25 \cdot T_{пер}}}, & \text{если } \left\lfloor \frac{x}{0,25 \cdot T_{пер}} \right\rfloor - (2 \cdot n) \end{cases}}{T_{уср}},$$

где $T_{уср}$ – количество мгновенных значений мощности, потребляемой электродвигателем привода резания, которое используется для скользящего усреднения; $T_{пер}$ – количество мгновенных значений мощности, замеренных в течение периода оборота шнека; $2 \cdot n$ – четное число; i – номер текущего мгновенного значения численного критерия $k_{зашт.и}$; P_x – мгновенное значение мощности электродвигателя привода резания при усреднении, кВт; $P_{x-0,25 \cdot T_{пер}}$ – мгновенное значение мощности, смещенное во времени относительно значения мощности P_x на четверть периода оборота шнека, кВт.

Предложенная статистическая оценка мощности позволяет фиксировать заштыбовку шнека, поскольку при начале заштыбовки на определенных угловых интервалах оборота шнека появляется погрузка и транспортирование угля с повышенным давлением массы угля на лопасти (зоны II и IV на рис.2). Появление погрузки и транспортирования угля с повышенным давлением массы угля на лопасти вызывает увеличение мощности, замеренной на этих угловых интервалах, в то время как на остальных интервалах периода оборота шнека мощность существенно не меняется.

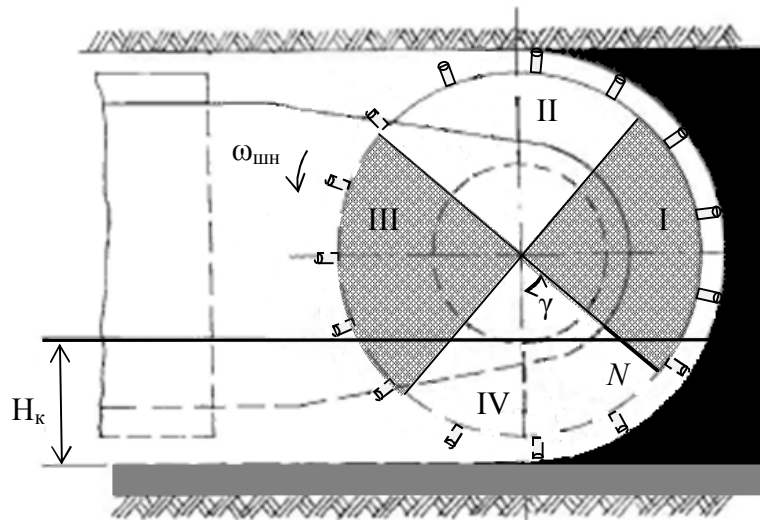


Рис. 2. Конструктивная схема шнека (вид со стороны разгрузочного торца); линия N показывает положение конечного участка лопасти

В процессе анализа изменения критерия заштыбовки шнека во времени при различных режимах резания и погрузки угля исполнительным органом установлены следующие закономерности:

- критерий заштыбовки шнека изменяется во времени случайным образом вокруг своего среднего значения в диапазоне с шириной $\pm 10\%$ от среднего значения, если объем циркулирующего угля меньше 33% рабочего объема шнека, и выходит из данного диапазона, если объем циркулирующего угля становится больше 33% рабочего объема шнека;

- критерий заштыбовки шнека возвращается в указанный диапазон изменения значений либо при снижении объема циркулирующего угля ниже уровня 24% рабочего объема шнека, либо при превышении объема циркулирующего угля уровня 43% рабочего объема шнека;

- величина отклонения критерия заштыбовки шнека от среднего значения при начале процесса заштыбовки исполнительного органа обратно пропорционально зависит от прироста объема циркулирующего угля за оборот шнека. Для обеспечения высокой вероятности фиксирования заштыбовки с помощью предложенного критерия необходимо прирост циркулирующего угля за оборот шнека на время анализа критерия установить равным 2,2 % рабочего объема шнека;

- критерий заштыбовки шнека после возвращения в указанный диапазон изменения значений станет меньше своего среднего значения при объеме циркулирующего угля, равном 10–14 % рабочего объема шнека. Данную закономерность можно использовать для определения момента, когда циркулирующий уголь практически удален из рабочего пространства шнека.

Полученные результаты исследования закономерностей изменения во времени критерия заштыбовки шнека легли в основу алгоритма автоматического управления добычными комбайнами на тонких пластах с позиции снижения удельных энергозатрат на добычу угля. Согласно данному алгоритму, можно выделить два режима работы системы автоматического управления добычным комбайном – режим поиска критической по заштыбовке скорости подачи (точка А на рис.1) и режим ее отслеживания. В режиме поиска критической по заштыбовке скорости подачи система автоматического управления добычным комбайном дискретно увеличивает скорость подачи с шагом по уровню, который определяется максимальным допустимым значением прироста объема циркулирующего угля за оборот шнека (2,2 % рабочего объема шнека), и шагом по времени, который определяется необходимым временем анализа критерия заштыбовки. В режиме отслеживания критической по заштыбовке скорости подачи автоматическая система периодически переводит добычной комбайн в режим работы с заштыбовкой шнека и проверяет установленное критическое по заштыбовке значение скорости подачи для того, чтобы обеспечить работу добычного комбайна с максимальной погрузочной производительностью шнека.

Из результатов моделирования работы САУ скоростью подачи добычного комбайна по предложенному алгоритму (рис. 3,а) видно, что скорость подачи изменяется ступенчато с незначительными отклонениями от среднего значения, которое соответствует максимальной погрузочной способности шнека. Объем циркулирующего угля в рабочем пространстве шнека (рис. 3,б) начинает увеличиваться при увеличении скорости подачи, и уменьшается при снижении скорости подачи комбайна. Его максимальное значение изменяется в диапазоне 31–35 % рабочего объема шнека, а минимальное – 10–14 % рабочего объема шнека. Среднее значение объема циркулирующего угля в рабочем пространстве шнека составило 22,5 % рабочего объема шнека, что в 2,9 раз меньше, чем при существующем алгоритме автоматического управления скоростью подачи комбайна.

Благодаря снижению среднего объема циркулирующего угля в рабочем пространстве шнека в 2,9 раза, значительно уменьшились границы диапазона, в котором изменяется мощность, потребляемая электродвигателем привода резания (рис.3,в). При автоматическом управлении комбайном по предложенному

алгоритму мощность изменяется случайным образом в пределах от 100 до 190 кВт со средним значением 140 кВт.

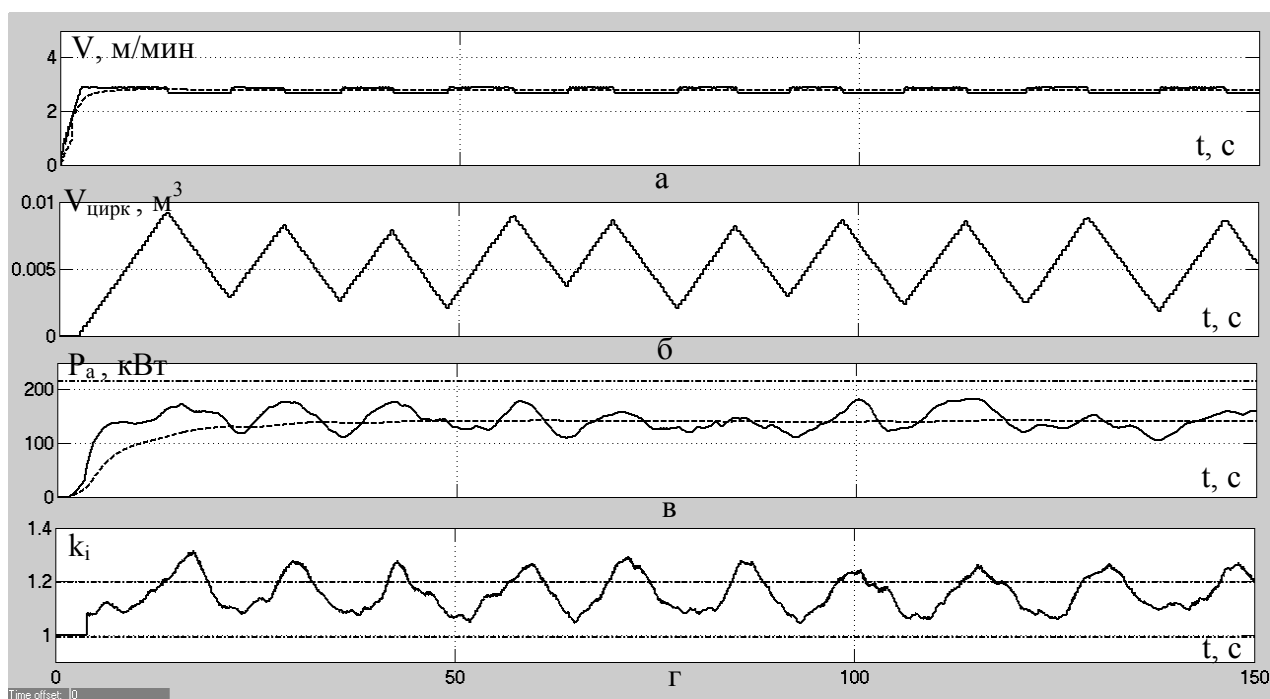


Рис. 3. Изменение во времени скорости подачи (а), объема циркулирующего угля (б), мощности, потребляемой электродвигателем привода резания, (в) и критерия заштыбовки шнека (г) при автоматическом управлении добычным комбайном УКД300 по предложенному алгоритму

При существующем алгоритме автоматического управления скоростью подачи комбайна мощность, потребляемая электродвигателем привода резания, стабилизируется на уровне 214 кВт. Производительность комбайна в обоих случаях одинаковая и соответствует погрузочной способности шнека. Таким образом, переход на тонких пластах от существующего алгоритма автоматического управления скоростью подачи комбайна к предложенному алгоритму позволит снизить удельные энергозатраты на добычу угля на 58 % (на 0,413 кВт·ч/т для комбайна УКД300).

Выводы.

1. Существующий алгоритм автоматического управления скоростью подачи комбайна на тонких пластах является энергетически неэффективным из-за постоянного присутствия в рабочем пространстве шнека циркулирующего угля, который занимает в среднем 64 % рабочего объема шнека. Около 42% мощности электродвигателя привода резания (92 кВт для комбайна УКД300) тратится на преодоление силы трения угля о поверхность лопастей.

2. Уменьшение удельных энергозатрат на добычу угля возможно путем разработки способа фиксирования начала заштыбовки автоматической системой на основе статистического анализа мощности, потребляемой электродвигателем привода резания. В качестве критерия заштыбовки шнека рекомендовано использовать скользящее среднее отношение мгновенных значений мощности,

потребляемой электродвигателем привода резания, замеренных со смещением во времени. Критерий заштыбовки шнека изменяется во времени случайным образом вокруг среднего значения в диапазоне с шириной $\pm 10\%$ от среднего значения, если объем циркулирующего угля меньше 33 % рабочего объема шнека, и выходит из данного диапазона, если объем циркулирующего угля становится больше 33 % рабочего объема шнека.

3. Как показали результаты моделирования работы САУ добычным комбайном, переход от существующего алгоритма автоматического управления скоростью подачи комбайна к предложенному алгоритму за счет значительного снижения объема циркулирующего угля в рабочем пространстве шнека позволяет уменьшить удельные энергозатраты на добычу угля на 58% (на 0,413 кВт·ч/т для комбайна УКД300). Таким образом, предлагаемый алгоритм автоматического управления скоростью подачи комбайна на тонких пластах является энергетически эффективнее.

Список литературы

1. Позин Е. З. Разрушение углей выемочными машинами / Е. З. Позин, В. З. Меламед, В. В. Тон. — М. : Недра, 1984. — 288 с.
2. Стариков Б. Я. Асинхронный электропривод очистных комбайнов / Б. Я. Стариков, В. Л. Азарх, З. М. Рабинович. — М. : Недра, 1981. — 288 с.
3. Докукин А. В. Статистическая динамика горных машин / А. В. Докукин, Ю. Д. Красников, З. Я. Хургин. — М. : Машиностроение, 1978. — 239 с.
4. Стадник Н. И. Алгоритм энергосберегающего управления добычным комбайном / В. В. Ткачев, Н. И. Стадник, А. В. Бубликов // Научный вестник НГУ. — Днепропетровск, 2009. — № 2. — С. 82—89.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Ткачовим В.В.
Надійшла до редакції 27.04.2013*

УДК 681.5.015: 62-52

© А.В. Герасина

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ПРОГНОЗИРУЮЩИЕ МОДЕЛИ ПРОЦЕССОВ КРУПНОГО ДРОБЛЕНИЯ И САМОИЗМЕЛЬЧЕНИЯ РУД

Проанализированы технологические процессы крупного дробления и самоизмельчения руд как объекты управления. Разработаны их интеллектуальные прогнозирующие модели, которые имеют оптимальную структуру и параметров для текущего режима работы, что позволяет снизить ошибки моделей и повысить качество управления данными процессами.

Проаналізовано технологічні процеси крупного дроблення і самоздрібнювання руд як об'єкти керування. Розроблено їх інтелектуальні прогнозуючі моделі, які мають оптимальну структуру та параметри для поточного режиму роботи, що дозволяє знизити похибки моделей та підвищити якість керування цими процесами.

Technological processes for coarse crushing and autogenous grinding as controlled objects are analyzed. It was developed its intelligent predictive models, which have optimal structure and pa-