

СПОСОБ УМЕНЬШЕНИЯ УДЕЛЬНЫХ ЭНЕРГОЗАТРАТ УГОЛЬНЫХ КОМБАЙНОВ НА ТОНКИХ ПЛАСТАХ

Статья посвящена вопросу неэффективности энергопотребления угольного комбайна при работе на маломощных пластах. Предложен способ уменьшения удельных энергозатрат угольного комбайна. Он связан с разработкой критерия определения начала процесса заштыбовки шнека автоматической системой управления.

Стаття присвячена питанню неефективності енергоспоживання вугільного комбайна при роботі на малопотужних шарах. Запропонований спосіб зменшення питомих енерговитрат вугільного комбайна. Він зв'язаний із розробкою критерію визначення початку процесу заштыбовки шнека автоматичною системою управління.

The article is devoted to the question of cutter-loader's electrical energy consumption inefficiency in condition of working at thin coal layers. The method of cutter-loader's energy intensity decrease is proposed. The method is based on criteria of beginning of screw's gumming by cutter-loader's automatic control system development.

Вступление: угольные шахты являются энергоемкими предприятиями. Например, на шахте «Красноармейская - Западная №1» за год потребляется 250000 тыс. кВт·ч. Вследствие неоптимального конструктивного исполнения и управления режимами работы горных машин полезная мощность в некоторых случаях оказывается существенно ниже потребляемой (КПД около 50-60 %). На данный момент приоритетным направлением научных исследований в Украине является создание энергосберегающих технологий. В этом свете исследование закономерностей изменения энергосберегающего режима работы горных машин с целью оптимизации конструктивных параметров и алгоритма управления по критерию минимальных удельных энергозатрат является актуальным.

Последние достижения: основные принципы регулирования добычными комбайнами, согласно [1], были сформулированы в 30-ые годы XX века группой специалистов под руководством академика А. Н. Терпигорева. Несмотря на то, что ученые опирались на уровень техники того времени, предложенные варианты управления комбайном широко применяются и сегодня. Во всех современных регуляторах режимов работы комбайнов заложен минимальный вариант автоматизации, и различие состоит лишь в способе его технической реализации. Регуляторы органически поддерживают два режима с автоматическим переходом из одного в другой:

- стабилизация нагрузки за счет изменения скорости подачи с учетом ограничений по транспортной способности конвейера, допустимой концентрации метана и других факторов;
- стабилизация скорости подачи при неизменной скорости резания с ограничением по перегрузочной способности привода и названным выше факторам.

На мощных пластах технические ограничения не препятствуют работе угольных комбайнов с максимальным использованием мощности привода резания. Поэтому минимальный вариант автоматизации обеспечивает работу ком-

байнов с максимальной производительностью и минимальными удельными энергозатратами. Но на маломощных пластах из-за ограниченного забойного пространства комбайны имеют другое конструктивное исполнение, при котором значительно снижается погрузочная способность исполнительного органа. Минимальный вариант автоматизации режимов работы становится неэффективным, поскольку при увеличении скорости перемещения комбайна момент заштыбовки шнека наступает задолго до момента максимального использования мощности привода резания. Это приводит к тому, что угольные комбайны работают в режиме затянувшейся заштыбовки шнека, при котором в 1,5-2 раза увеличиваются удельные энергозатраты.

Формулирование целей статьи, постановка задач. Целью исследований, описанных в статье, является снижение удельных энергозатрат добычных комбайнов, работающих на тонких пластах. Для этого необходимо решить следующие задачи:

- определить статистическую оценку мощности электродвигателя привода резания комбайна, закономерность изменения во времени которой существенно меняется при наступлении заштыбовки шнека и остается неизменной при нормальном режиме транспортирования и погрузки угля;

- сформулировать критерий определения начала процесса заштыбовки шнека на ранней стадии автоматической системой для обеспечения работы комбайна на грани заштыбовки переднего шнека.

Изложение основного материала исследований. Физические процессы, которые имеют место при работе добычного комбайна на маломощных пластах, исследовались на имитационной математической модели «забой – исполнительный орган – привод резания», созданной на основе литературных источников [2,3,4,5]. В качестве объекта исследования принят добычной комбайн нового поколения УКД300, который спроектирован институтом «Донгипроуглемаш» и серийно выпускается на заводе ЗАО «Горловский машиностроитель» с 2004 года.

Для решения первой задачи в ходе исследований осуществлен анализ динамики мощности двигателя привода резания при работе исполнительного органа комбайна в режимах силовой и несиловой погрузки. Для удовлетворения требованиям, предъявленным в постановке первой задачи, необходимо обеспечить нечувствительность статистической оценки к внешнему возмущающему воздействию в виде низкочастотного изменения нагрузки на исполнительном органе при разрушении угля.

На рис.1 продемонстрирован характер изменения во времени мощности привода резания при различных режимах погрузки угля. Значение скорости подачи комбайна до 15 секунды моделирования принято равным 2,5 м/мин (критическое значение по заштыбовке шнека). После 15 секунды скорость подачи увеличивается на 0,1 м/мин, что вызывает процесс заштыбовки шнека.

Как видно из рис.1, динамика мощности электродвигателя привода резания при работе шнека без заштыбовки (до 15 секунды) имеет стабильный характер. Как показали результаты статистического анализа выборки мощности, среднее

значение, дисперсия и параметры корреляционной функции мощности для несиловой погрузки остаются неизменными во времени. При возникновении заштыбовки шнека случайный процесс изменения мощности электродвигателя привода резания во времени становится нестационарным. До 23 секунды процесс заштыбовки выражен слабо, объем циркулирующего угля в 5 раз меньше рабочего объема шнека, поэтому существенных изменений в динамике мощности не наблюдается. После 23 секунды работы шнека, спустя 8 секунд после начала заштыбовки шнека, происходит существенный нелинейный рост средней мощности электродвигателя привода резания и значительно увеличивается амплитуда колебаний. Это связано с началом интенсивного перераспределения длительностей интервалов несиловой и силовой погрузок угля в периоде оборота исполнительного органа в сторону последней. На 41 секунде в периоде оборота шнека остаются только интервалы силового транспортирования и погрузки угля, благодаря чему исчезают резкие перепады мощности погрузки при переходе от силового режима погрузки угля к несилowому и наоборот. После 41 секунды амплитуда колебаний мощности значительно снижается, а рост мощности становится линейным и менее интенсивным.

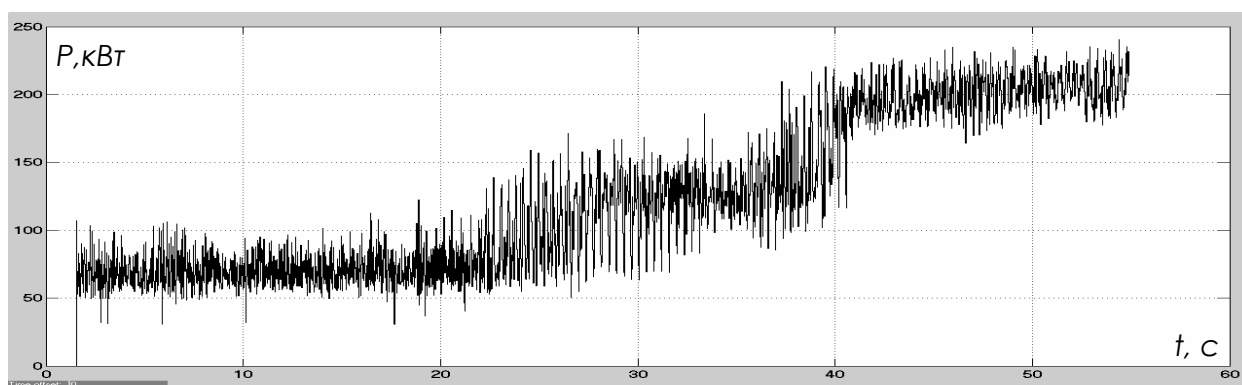


Рис.1. Изменение во времени мощности электродвигателя привода резания в процессе работы комбайна УКД300

Когда процесс заштыбовки на исполнительном органе входит в фазу перераспределения в периоде оборота шнека длительностей интервалов силовой и несиловой погрузок угля (на рис.1 с 23 по 41 секунды моделирования), резко увеличивается амплитуда колебаний составляющей мощности, связанной с погрузкой угля. Если до 23 секунды моделирования, когда заштыбовка была выражена слабо, колебание мощности (при перемещении комбайна со скоростью 2,5 м/мин) происходило между 27,5 и 124 кВт, то с 23 по 41 секунды моделирования верхний предел увеличился до 167 кВт (на 34%). Более того, если до 23 секунды в динамике мощности двигателя привода резания наблюдалось наличие в основном высоких частот с преобладанием резонансной частоты электродвигателя (11,6 Гц), то после 23 секунды колебания мощности стали происходить с более низкой частотой, кратной частоте вращения исполнительного органа. Описанное явление в значительной степени отражается на закономерности

сти изменения во времени коэффициента вариации мощности, который характеризует размах колебания случайной величины вокруг среднего значения.

В качестве параметра, по которому определяется начало заштыбовки шнека, выбрано скользящее значение коэффициента вариации мощности. Алгоритм замера параметра описывается следующим аналитическим выражением:

$$k_{вар.i} = \sum_{x=i-180}^i \left(\left| P_x - \left(\sum_{x=i-180}^i P_x \right) \cdot 180^{-1} \right| \right) \cdot \left(\sum_{x=i-180}^i P_x \right)^{-1},$$

где $k_{вар.i}$ – скользящее значение коэффициента вариации мощности, потребляемой электродвигателем привода резания; i – номер текущего значения численного критерия заштыбовки $k_{вар.i}$; P_x – мгновенное значение мощности электродвигателя привода резания при усреднении, кВт.

Благодаря предложенному алгоритму замера скользящего значения коэффициента вариации мощности, практически устраняется влияние случайной высокочастотной составляющей нагрузки на исполнительном органе. Это достигается выбором времени и шага реализации случайного процесса.

В ходе исследований работа добычного комбайна рассматривалась без значительных изменений скорости подачи и на коротких временных интервалах. Эти условия позволяют с достаточной точностью применить для описания физических процессов в приводе резания стационарную линейную математическую модель в виде системы линейных дифференциальных уравнений. С помощью приложения программы Matlab “Control System Toolbox” по полученной амплитудно-частотной характеристике привода резания определена частота среза, которая составила 30,24 Гц. Следовательно, согласно теореме Котельникова, рекомендуемый шаг реализации случайного процесса:

$$\Delta t = \frac{\pi}{2 \cdot \pi \cdot f_{ср}} = \frac{\pi}{2 \cdot \pi \cdot 30,24} = 0,017, \text{ с.}$$

Зная шаг реализации и корреляционную функцию высокочастотной составляющей мощности привода резания, рассчитывается число замеров N по известной формуле для дисперсии оценки среднего значения при известной корреляционной функции случайного процесса из условия:

$$\frac{\sqrt{\sigma_{оц}^2(N)}}{P_{ср}} \leq 0,07,$$

где $\sigma_{оц}^2$ – дисперсия оценки среднего значения мощности электродвигателя привода резания, кВт²; $P_{ср}$ – среднее значение мощности электродвигателя привода резания, кВт. Рассчитанное число замеров мощности N для дискретной реализации случайного процесса составило 180. Следовательно, необходимое время реализации составило 3,1 секунды.

Низкочастотные колебания нагрузки на исполнительном органе менее 1 Гц отображаются в колебаниях мощности привода резания без изменений. В про-

цессе работы комбайна происходит модуляция высокочастотных составляющих мощности низкочастотными, поэтому среднее арифметическое значение мощности, замеренное в течение 3,1 секунды, будет колебаться во времени с низкими частотами (менее 1 Гц) и равномерным распределением дисперсии между ними. Данные колебания средней мощности вызваны процессом разрушения угля исполнительным органом и не должны оказывать существенное влияние на параметр, по которому фиксируется заштыбовка шнека. Это требование по отношению к выбранной статистической оценке обеспечивается благодаря незначительной зависимости среднего коэффициента вариации силы резания от изменений средней силы резания на резце:

$$\bar{k}_{var} = \frac{\sigma_Z}{\bar{Z}} = \frac{0,56 \cdot \bar{Z} + 50}{\bar{Z}} = 0,56 + \frac{50}{\bar{Z}}, \quad (1)$$

где σ_Z – среднеквадратическое отклонение силы резания на резце, Н; \bar{Z} – средняя сила резания на резце, Н. Из формулы (1) видно, что при высоких значениях \bar{Z} второе слагаемое имеет намного меньший вес, чем первое. Для комбайна УКД300 в момент начала заштыбовки, при скорости подачи 2,6 м/мин, $\bar{Z} = 790$ Н, а доля второго слагаемого составляет 10%.

В ходе исследований на имитационной модели закономерностей изменения во времени скользящего значения коэффициента вариации мощности двигателя привода резания при различных режимах погрузки угля было установлено:

- при перемещении комбайна без заштыбовки шнека с критической скоростью подачи, равной 2,5 м/мин, коэффициент вариации мощности изменялся случайным образом в пределах от 0,09 до 0,13. При длительных замерах установлено, что колебания коэффициента вариации, вызванные ошибкой усреднения из-за ограниченности интервала наблюдения и влиянием низкочастотной составляющей нагрузки на исполнительном органе, происходят в пределах -18,2% ÷ +18,2% от среднего значения. Максимальная ошибка усреднения из-за ограниченности интервала составила 7,5%. Установлено, что при максимально динамичном влиянии низкочастотной составляющей на исполнительном органе изменение коэффициента вариации мощности составило 10,7%;

- при наступлении заштыбовки шнека в момент перераспределения длительностей интервалов силовой и несиловой погрузок в периоде оборота шнека происходит резкий рост коэффициента вариации мощности двигателя привода резания, значение которого повышается до 0,182, то есть на 63,6%.

Сделанные наблюдения подтверждаются рис.2, на котором показана динамика скользящего значения коэффициента вариации мощности двигателя привода резания, усредненного по предложенному алгоритму.

На рис.2 сплошной линией представлена динамика скользящего значения коэффициента вариации $k_{var.i}$ при наступлении заштыбовки шнека. Для этого случая до 15 секунды моделирования скорость добычного комбайна составляла 2,5 м/мин. После 15 секунды скорость подачи увеличилась до 2,6 м/мин, что вызвало начало процесса заштыбовки шнека. Штрихпунктирной линией показана динамика коэффициента $k_{var.i}$ при неизменной скорости подачи 2,5 м/мин

без заштыбовки шнека. До 15 секунды обе кривые изменяются в указанных пределах от 0,092 до 0,118. После 15 секунды, спустя некоторое время, происходит резкий рост сплошной линии до значения 0,182, тогда как штрихпунктирная линия не выходит за указанные пределы.

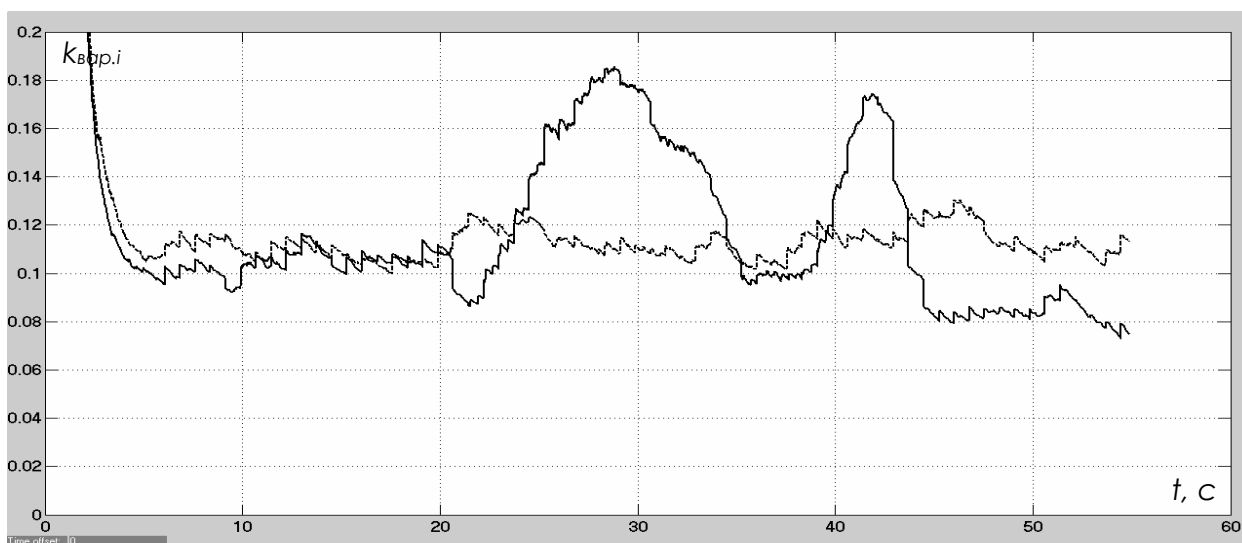


Рис.2. Изменение во времени скользящего значения коэффициента вариации мощности электродвигателя привода резания

С учетом выбранной статистической оценки мощности, по которой системой автоматического управления комбайном определяется заштыбовка шнека, критерий наступления заштыбовки шнека звучит следующим образом. Если скользящее значение коэффициента вариации мощности двигателя привода резания, усредненное относительно 3,1 секунды, превысит верхний предел, равный $1,182 \cdot k_{вар.ср}$ (“0,13” для комбайна УКД300), или опустится ниже минимального предела, равного $0,818 \cdot k_{вар.ср}$ (“0,09” для комбайна УКД300), то это означает, что имеет место заштыбовка шнека:

$$\left\{ \begin{array}{l} k_{вар.i} > 1,182 \cdot k_{вар.ср} \text{ или } k_{вар.i} < 0,818 \cdot k_{вар.ср} \quad - \\ \qquad \qquad \qquad \text{заштыбовка шнека} \\ 0,818 \cdot k_{вар.ср} \leq k_{вар.i} \leq 1,182 \cdot k_{вар.ср} \quad - \\ \qquad \qquad \qquad \text{отсутствие заштыбовки шнека} \end{array} \right.$$

где $k_{вар.ср}$ — коэффициент вариации мощности двигателя привода резания, усредненный на временном интервале с момента изменения уставки скорости подачи до текущего момента времени.

При длительном моделировании работы системы автоматического управления добычным комбайном УКД300 по предложенному алгоритму установлены следующие особенности:

- среднее значение времени, прошедшего с начала процесса заштыбовки шнека до момента фиксирования заштыбовки, составило 8,7 секунд (коэффициент вариации данного параметра равен 0,055);

- среднее значение объема циркулирующего угля к моменту фиксирования заштыбовки составило 0,00588 м³, т. е. 23,1% от рабочего объема шнека (коэффициент вариации данного параметра равен 0,047);

- при сравнении результатов имитационного моделирования работ системы автоматического управления комбайном УКД300, реализующей минимальный вариант автоматизации, и системы автоматического управления, реализующей предложенный алгоритм, установлено, что средние удельные энергозатраты на разрушение, транспортирование и погрузку угля шнеком снизились на 45%.

Список литературы

1. Автоматизация процессов подземных горных работ / Под ред. проф. А. А. Иванова. — К., 1987. — 328 с.
2. Докукин А. В., Красников Ю. Д., Хургин З. Я. Статистическая динамика горных машин. — М.: Машиностроение, 1978. — 239 с.
3. Позин Е. З., Меламед В. З., Тон В. В. Разрушение углей выемочными машинами / Под ред. Е. З. Позина. — М.: Недра, 1984. — 288 с.
4. Стариков Б. Я., Азарх В. Л., Рабинович З. М. Асинхронный электропривод очистных комбайнов. — М.: Недра, 1981. — 288 с.
5. Бойко Н. Г. Погрузка угля очистными комбайнами / Под ред. Н. Г. Бойко. — Донецк: РВА ДонНТУ, 2002. — 157 с.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Ткачовим В.В.
Надійшла до редакції 16.05.11*

УДК 624.131.23

© Н.В. Зуєвська, Л.В. Шайдецька, Ю.В. Волик

НЕСУЧА ЗДАТНІСТЬ ЛЕСОВИХ ГРУНТІВ ПРИ УТВОРЕНІ ЗОНИ ГРУНТОЩЕБЕНЮ ЗА ДОПОМОГОЮ ЕНЕРГІЇ ВИБУХУ

В результаті вибухового армування утворюється ущільнений масив ґрунтощепеня із змінними характеристиками щільності в залежності віддалення від вибуху в масиві лесових ґрунтів. В роботі досліджується зміна модулю пружності ґрунтощепеню в залежності від процентного вмісту щепеню.

В результате взрывного армирования получается уплотненный массив ґрунтощепеня с изменяющимися характеристиками плотности в зависимости от удаления от взрыва в массиве лесовых ґрунтов. В работе исследуется изменение модуля упругости ґрунтощепеня в зависимости от процентного содержимого щепеня.

The close-settled zone of soil-macadam as a result of explosive re-enforcement. The closeness of soil-macadam zone changes depending on moving away from an explosion. The change of the module of resiliency is in-process investigated depending on percent content of macadam.

Міцний і водостійкий шар ґрунтощепеню, отриманий шляхом вибухового впровадження частинок щепеню в лесовий просадочний ґрунт з паралельним