

Е.Ю. Степаненко, аспирант

А.К. Семенченко, д-р техн. наук, проф.

О.Е. Шабает, д-р техн. наук, проф.

ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет»

## **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ЗАТРАТ ВРЕМЕНИ НА ОБРАБОТКУ ЗАБОЯ СТРЕЛОВИДНЫМ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫМ ОРГАНОМ ПРОХОДЧЕСКОГО КОМБАЙНА**

Экспериментально получены данные о фактических операциях и затратах времени на их выполнение при реализации технологического цикла обработки забоя стреловидным исполнительным органом проходческого комбайна КПД. Установлены закономерности формирования затрат времени на обработку забоя в реальных условиях эксплуатации комбайна и выполнена оценка их влияния на энергетическую эффективность процесса обработки забоя.

**Проблема и ее связь с практическими задачами.** Угольная промышленность является основной сырьевой и энергетической базой для всех отраслей народного хозяйства Украины, а каменный уголь - единственным стратегическим энергоносителем, имеющим большие запасы и ресурсы в недрах нашей страны [1]. Обеспечение энергобезопасности Украины и конкурентоспособности ее угольных шахт может быть достигнуто путем роста нагрузок на очистные забои до 5-ти тысяч и более тонн в сутки. Основным фактором, сдерживающим рост нагрузки на современные добычные комплексы, является отставание в подготовке нового фронта очистных работ, т.е. недостаточно высокие темпы проходки при проведении подготовительных выработок [2]. Поэтому получение экспериментальных данных о фактических операциях и затратах времени на их выполнение при реализации технологического цикла обработки забоя стреловидным исполнительным органом проходческого комбайна (ПК) является актуальной научной задачей.

**Анализ исследований и публикаций.** Процесс обработки забоя проходческим комбайном сопровождается высокими динамическими нагрузками в элементах его конструкции. Для получения сведений об особенностях рабочего процесса проходческих комбайнов в настоящее время разработаны и внедряются устройства для непрерывной регистрации его характеристик, например, блок регистрации произошедших событий на комбайне [3]. Такая реализация натурного эксперимента, в отличие от известных методик лабораторного эксперимента [4] и натурного эксперимента с применением специальной измерительной аппаратуры [5], установка которой требует корректировки конструкции машины, позволяет провести эксперимент в реальных условиях эксплуатации в течение достаточно длительного времени, а следовательно получить статистически достоверные данные о фактических операциях и затратах времени на их выполнение при реализации технологического цикла обработки забоя стреловидным исполнительным органом проходческого комбайна без ущерба для нормальной работы участка шахты. В настоящее время такие данные не приведены в публикациях.

### **Постановка задачи:**

1. Получить данные о фактических операциях и затратах времени на их выполнение при реализации технологического цикла обработки забоя стреловидным исполнительным органом проходческого комбайна.
2. Установить закономерности формирования и влияние на эффективность работы проходческого комбайна затрат времени на обработку забоя в реальных условиях эксплуатации комбайна.

**Изложение материала и результаты.** Для получения данных о формировании затрат времени на обработку забоя стреловидным исполнительным органом проходческого комбайна были проведены экспериментальные исследования работы комбайна КПД (см. рис.1) в реальных условиях его использования при прохождении вентиляционного штрека северной коренной лавы, пласта  $l_2^1$  ОП ш. «Белицкая» ГП «Добропольеуголь». Методикой проведения эксперимента предусматривалась непрерывная длительная регистрация (в период с 18.11.2008 г. по 22.11.2008 г.) усредненного за 1 с тока двигателя привода стреловидного

исполнительного органа комбайна КПД при ручном управлении его рабочим процессом. Одновременно осуществлялся хронометраж работы комбайна. Структура забоя была представлена несколькими прослойками различной крепости: песчаник серый, уголь, сланец песчано-глинистый и алевролит аргиллистый. Выработка сечением  $13 \text{ м}^2$  крепилась арочной крепью с шагом  $0.8 \text{ м}$ . Суточный режим работы забоя составлял три рабочие смены по 6 часов и одна ремонтная. Измерения тока двигателя приводов исполнительного органа проводились посредством блока регистрации произошедших событий – многоканального анализатора TOPAS1020. За период проведения эксперимента комбайном было пройдено  $15.2 \text{ м}^2$  выработки.



Рисунок 1 – Проходческий комбайн КПД

В результате проведения эксперимента были получены диаграммы посменного изменения усредненного за 1 с значения тока двигателя привода исполнительного органа проходческого комбайна КПД за 5-ть суток его работы. Фрагмент регистрации тока двигателя приведен на рис.2. График построен в относительных единицах, за базу принят номинальный ток двигателя ( $I/I_{\text{ном}}$ ).

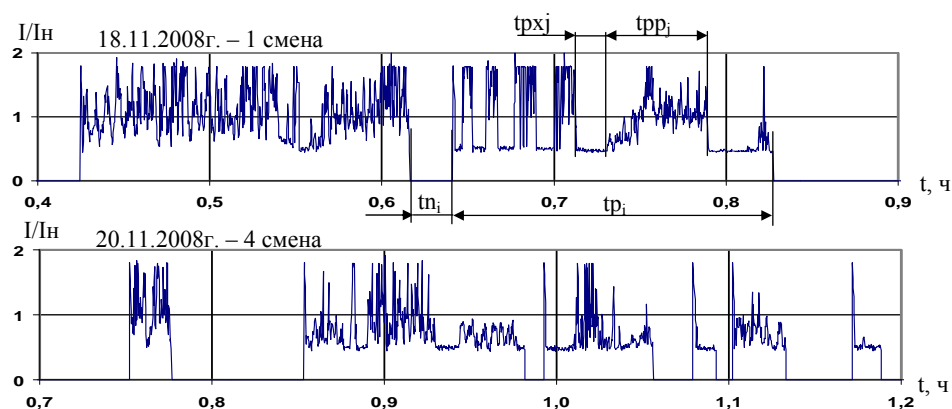


Рисунок 2 - Фрагмент регистрации тока двигателя привода исполнительного органа проходческого комбайна КПД и длительности характерных участков его работы (пауза  $tn_i$ , работа  $tp_i$ , работа по разрушению массива  $tpp_j$ , холостой ход  $tpx_j$ )

На основе анализа полученных диаграмм длительной записи тока установлено, что процесс обработки забоя сопровождается чередованием периодов случайной длительности работы  $tp_i$  (разрушение массива, подчистка почвы, подготовка приямков для крепи и т.д.) и простоя  $tn_i$  (крепление забоя, маневрирование, техническое обслуживание комбайна и т.д.) двигателя привода стреловидного исполнительного органа проходческого комбайна КПД. При этом в дальнейших исследованиях рассматривались только характерные участки диаграмм, связанные с процессом непосредственного разрушения забоя (см. рис.2). Также установлено, что участки периодов работы двигателя  $tp_i$  характеризуются наличием промежутков времени случайной длительности режимов его работы  $tpp_j$  и холостого хода  $tpx_j$ , чередующихся между собой.

Холостой ход объясняется остановками подачи исполнительного органа по причине ручного управления (переключения золотников, человеческий фактор) без остановки работы двигателя.

Для обработки полученных результатов эксперимента была разработана методика обработки, предусматривающая реализацию двух алгоритмов формирования временных интервалов:

1) чередования периодов работы  $tp_i$  и простоев  $tn_i$  двигателя привода исполнительного органа в процессе обработки забоя;

2) чередования режимов работы  $trp_j$  и холостого хода  $trx_j$  двигателя привода исполнительного органа в периоды его работы  $tp_i$ .

Первый алгоритм реализует переформирование исходного массива  $x_i$  ( $i = 0 \dots n$ ) данных изменения во времени величины относительного тока  $I/I_{ном}$  в числовой массив  $d_i$  ( $i = 0 \dots n$ ) со значениями  $d_i = 0$ , если величина  $I/I_{ном} = 0$ , и  $d_i = 1$  в других случаях. После переформирования исходного массива на следующем этапе алгоритма последовательно выделяются попарно периоды работы  $tp_k$  и простоя  $tn_k$  двигателя в процессе обработки забоя ( $k$  – число последовательных интервалов «работа-простой» двигателя):

$$\left| \begin{array}{l} \text{для } i = 0 \dots n \\ tn_k = (tn_k + \Delta t) \text{ если } d_i = 0; \\ tp_k = (tp_k + \Delta t) \text{ если } d_i = 1; \\ k = k + 1 \text{ если } d_i > d_{i+1} \end{array} \right|$$

Второй алгоритм предусматривает предварительный этап усреднения исходных значений  $x_i$  ( $i = 0 \dots n$ ) относительного тока  $I/I_{ном}$  с целью исключения возможных мгновенных скачков кривой его изменения во времени до значения холостого тока  $tx$  и ошибочного выделения дополнительных режимов работы двигателя:

$$d_i = \sum_{j=i-1}^{i+1} x_j / 3.$$

После усреднения исходного массива на следующем этапе алгоритма последовательно выделяются попарно временные интервалы работы двигателя в режимах разрушения забоя  $trp_l$  и холостого хода  $trx_l$  ( $l$  – число последовательных интервалов «рабочий режим - холостой ход» двигателя):

$$\left| \begin{array}{l} \text{для } i = 0 \dots n \\ trp_l = (trp_l + \Delta t) \text{ если } d_i > tx; \\ trx_l = (trx_l + \Delta t) \text{ если } d_i \leq tx; \\ l = l + 1 \text{ если } (d_i < tx) \cup (d_{i+1} \geq tx) \end{array} \right|$$

По результатам обработки исходного массива данных изменения во времени величины относительного тока  $I/I_{ном}$  на основе разработанных алгоритмов формирования временных интервалов были составлены таблицы длительностей периодов работы  $tp_i$  и простоев  $tn_i$ , а также режимов работы  $trp_j$  и холостого хода  $trx_j$  двигателя привода исполнительного органа проходческого комбайна КПД в периоды его работы  $tp_i$ .

Для установления закономерностей формирования затрат времени в процессе обработки забоя выполнена статистическая обработка данных полученных таблиц.

Величины математического ожидания и среднеквадратического отклонения длительностей работы двигателя привода исполнительного органа составляют  $\tilde{M}(tp) = 4.1$  мин. и  $\tilde{\sigma}(tp) = 4.2$  мин. соответственно, а длительностей простоев двигателя –  $\tilde{M}(tn) = 1.0$  мин. и  $\tilde{\sigma}(tn) = 0.9$  мин. соответственно. На основе сравнения полученных значений выдвинута гипотеза об экспоненциальном характере распределения длительностей работы  $tp_i$  и простоя  $tn_i$  комбайна в процессе обработки забоя, для подтверждения которой использовался критерий согласия К. Пирсона (критерий  $\chi^2$ ). По полученным значениям  $\chi^2$  были найдены вероятности  $\alpha$

правдоподобности выдвинутой гипотезы, величины которых составили  $\alpha(tp) = 0.112$  для длительностей работы и  $\alpha(tn) = 0.096$  для длительностей простоя комбайна в процессе обработки забоя.

Таким образом, на основе статистической обработки экспериментальных данных длительностей работы  $tp_i$  и простоя  $tn_i$  двигателя привода исполнительного органа проходческого комбайна КПД, установлено, что распределения длительностей периодов работы и простоя двигателя не противоречат экспоненциальному закону (рис.3) с высоким уровнем значимости  $\alpha > 0.05$ .

Для величины математического ожидания длительности работы двигателя  $M(tp) = 4.1$  мин. доверительный интервал (2.5; 8.6) мин. с доверительной вероятностью  $\gamma = 0.9$ . Для величины математического ожидания длительности простоя двигателя  $M(tn) = 1.0$  мин. доверительный интервал (0.6; 2.1) мин. с доверительной вероятностью  $\gamma = 0.9$ .

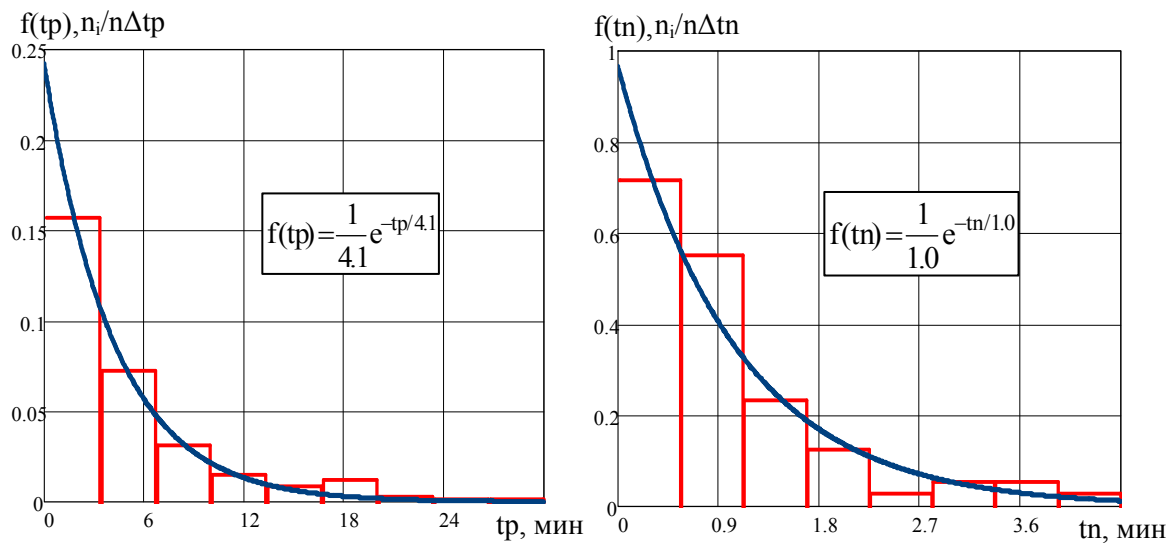


Рисунок 3 - Гистограммы и функции плотности вероятности длительностей работы  $tp_i$  и простоев  $tn_i$  двигателя привода исполнительного органа проходческого комбайна КПД

В процессе установления закономерностей изменения длительностей режимов работы  $tp_{pi}$  и холостого хода  $tp_{xi}$  двигателя привода исполнительного органа проходческого комбайна КПД ни одна из выдвинутых гипотез о подчинении их распределения определенному закону не была подтверждена с высоким уровнем значимости. Установлено, что несмещенные оценки математического ожидания и среднеквадратического отклонения составляют  $\tilde{M}(tp) = 0.49$  мин. и  $\tilde{\sigma}(tp) = 0.92$  мин. для длительности режима работы и  $\tilde{M}(tp_x) = 0.18$  мин. и  $\tilde{\sigma}(tp_x) = 0.25$  мин. для длительности режима холостого хода двигателя.

Для оценки влияния наличия режимов холостого хода двигателя, доля которых составляет 35% от математического ожидания времени режимов его работы, на энергетическую эффективность процесса обработки забоя, необходимо определить величины удельных энергозатрат разрушения  $w$ , рассчитываемые по формулам:

$$w_1 = \frac{A_1}{V};$$

$$w_2 = \frac{A_2}{V},$$

где

$w_1, w_2$  – удельные энергозатраты разрушения забоя при наличии режимов холостого хода двигателя и при их исключении соответственно;

$A_1$ ,  $A_2$  – работа, требуемая для разрушения объема породы  $V$  при наличии режимов холостого хода двигателя и при их исключении соответственно:

$$A_1 = k(I_{pp}t_{pp} + I_{px}t_{px});$$

$$A_2 = kI_{pp}t_{pp},$$

где

$k$  – коэффициент пропорциональности между мощностью и относительным током ( $I/I_{ном}$ ) двигателя;

$I_{pp}$ ,  $I_{px}$  – математические ожидания относительных токов ( $I/I_{ном}$ ) двигателя в режимах его работы и холостого хода соответственно, значения которых по результатам обработки экспериментальных данных составляют  $I_{pp} = 103\%$  и  $I_{px} = 55\%$ ;

$t_{pp}$ ,  $t_{px}$  – математические ожидания длительностей режимов работы и холостого хода двигателя в относительных единицах соответственно, значения которых равны  $t_{pp} = 0.73$  ед. и  $t_{px} = 0.27$  ед.

Таким образом, в результате математических преобразований вышеприведенных выражений с подстановкой значений составляющих их переменных, величина отношения удельных энергозатрат разрушения забоя при наличии режимов холостого хода двигателя к удельным энергозатратам разрушения при их исключении определится как:

$$\frac{w_1}{w_2} = 1 + \frac{I_{px}t_{px}}{I_{pp}t_{pp}} = 1.2.$$

Следовательно, исключив наличие режимов холостого хода двигателя привода исполнительного органа проходческого комбайна в процессе обработки забоя, обусловленных ручным управлением его подачей, можно повысить энергетическую эффективность процесса разрушения забоя на 20%, что весьма существенно для горных машин.

#### **Выводы и направление дальнейших исследований.**

Впервые экспериментально, на основе непрерывной длительной записи (в течение 20-ти смен) тока двигателя привода стреловидного исполнительного органа проходческого комбайна КПД, установлено, что при ручном управлении процесс обработки забоя сопровождается чередованием периодов случайной длительности работы и простоя двигателя, распределения которых не противоречат экспоненциальному закону с высоким уровнем значимости  $\alpha > 0.05$ , а оценки их математических ожиданий с доверительной вероятностью  $\gamma = 0.9$  составляют 4.1 мин. и 1.0 мин. соответственно. Также установлено, что периоды работы двигателя привода исполнительного органа по разрушению массива характеризуются наличием режимов случайной длительности его работы и холостого хода, обусловленного ручным управлением, несмещенные оценки математических ожиданий которых равны 0.49 мин. и 0.18 мин. соответственно. Для обработки полученных экспериментальных данных непрерывной записи тока была разработана методика, позволяющая сформировать последовательности временных интервалов чередования периодов работы и простоя двигателя, а также режимов его работы и холостого хода за весь период проведения эксперимента.

#### *Список литературы*

1. Бабюк Г.В., Смекалин Е.С., Ходыревский Г.В. Оценка эффективности горнопроходческих работ // Уголь Украины. - 2001. - №5. - С. 6-9
2. А. Г. Лаптев. Перспективы развития горной промышленности на базе технического перевооружения шахт. // Уголь Украины. - 2002. - № 2-3. - С. 10-14.
3. Кудлай Р.А., Мезников А.В., Стадник Н.И. Блок регистрации произошедших событий на проходческом комбайне // Решение научно-технических проблем при создании и внедрении современного горно-шахтного оборудования. - Донецк, 2008. – С. 647-660.
4. Семенченко Д.А. Влияние кинематических изменений заднего и переднего улов поворотного резца на формирование усилия подачи // Наукові праці ДонДТУ. Сер. Гірничо-електромеханічна. - Донецьк, 2001. – Вип. 27. – С. 340-344.
5. Мизин В.А. Экспериментальные исследования нагруженности системы подвески исполнительного органа проходческого комбайна КПД // Наукові праці ДонНТУ. Сер. Гірничо-електромеханічна. - Донецьк, 2006. – Вип. 113. – С. 192-198.

УДК 622.232

**Е.Ю. Степаненко**, аспирант

**О.Е. Шабаетв**, д-р техн. наук, проф.

**Д.А. Семенченко**, к-т техн. наук, в.н.с.

ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет»

**СТРУКТУРА И МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ МЕХАТРОННОЙ СИСТЕМЫ ПОДАЧИ СТРЕЛОВИДНОГО ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО ОРГАНА ПРОХОДЧЕСКОГО КОМБАЙНА**

Установлены закономерности формирования затрат времени на обработку забоя исполнительным органом проходческого комбайна в реальных условиях его эксплуатации. Разработана структура и математическая модель мехатронной системы подачи исполнительного органа проходческого комбайна, позволяющей реализовать совмещение во времени двух режимов обработки забоя.

**ПРОХОДЧЕСКИЙ КОМБАЙН, СИСТЕМА ПОДАЧИ, ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЙ ОРГАН, МЕХАТРОНИКА, ЗАКОНОМЕРНОСТИ, ЗАТРАТЫ ВРЕМЕНИ, СТРУКТУРА, РЕЖИМЫ РАБОТЫ, СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ, МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ**

УДК 622.232

**О.Ю. Степаненко**, аспирант

**О.Е. Шабаетв**, д-р техн. наук, проф.

**Д.А. Семенченко**, к-т техн. наук, в.н.с.

ДВНЗ «Донецкий национальный технический университет»

**СТРУКТУРА І МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ МЕХАТРОНОЇ СИСТЕМИ ПОДАЧІ СТРЕЛОВИДНОГО ВИКОНАВЧОГО ОРГАНУ ПРОХІДНИЦЬКОГО КОМБАЙНУ**

Встановлені закономірності формування витрат часу на обробку вибою виконавчим органом прохідницького комбайну у реальних умовах його експлуатації. Розроблена структура і математична модель мехатроної системи подачі виконавчого органу прохідницького комбайну, що дозволяє реалізувати сполучення у часі двох режимів обробки вибою.

**ПРОХІДНИЦЬКИЙ КОМБАЙН, СИСТЕМА ПОДАЧІ, ВИКОНАВЧИЙ ОРГАН, МЕХАТРОНІКА, ЗАКОНОМІРНОСТІ, ВИТРАТИ ЧАСУ, СТРУКТУРА, РЕЖИМИ РОБОТИ, СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ, МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ**

УДК 622.232

**E. Stepanenko**, graduate student

**O. Shabaev**, dr of tekhn. sciences, prof.

**D. Semenchenco**, candidate of tekhn. sciences, leading research worker

SHEI "Donetsk National Technical University"

**THE STRUCTURE AND THE MATHEMATICAL MODEL OF MECHATRONIC FEED SYSTEM OF ACTUATING MECHANISM OF ROADHEADER**

There are ascertained conformities to law expenses of time on surface treatment of actuating mechanism of roadheader in real terms of his exploitation. There are developed the structure and the mathematical model of mechatronic feed system of actuating mechanism of roadheader with possibility of combination in time two modes of surface treatment.

**ROADHEADER, FEED SYSTEM, ACTUATING MECHANISM, MECHATRONIC, CONFORMITIES TO LAW, EXPENSES OF TIME, STRUCTURE, MODES, CONTROL SYSTEM, MATHEMATICAL MODEL**