

**О.Е. Шабаев /д.т.н./, В.Г. Нечепаяев /д.т.н./, П.П. Зинченко**  
 ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет» (Донецк)

**А.В. Мезников, А.В. Коваленко**

ГУ «Донецкий научно-исследовательский проектно-конструкторский институт комплексной механизации шахт» (Донецк)

## **МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ УДЕЛЬНЫХ ЭНЕРГОЗАТРАТ РАЗРУШЕНИЯ И ПОГРУЗКИ ОЧИСТНЫХ КОМБАЙНОВ ДЛЯ ТОНКИХ ПЛАСТОВ В РЕАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ**

*Предложена методика экспериментального определения энергетических показателей работы очистных комбайнов для тонких пологих пластов с индивидуальными приводами шнековых исполнительных органов. Установлена зависимость между мощностью, удельными энергозатратами погрузки и скоростью перемещения очистного комбайна. Показано, что зависимость мощности погрузки от скорости перемещения комбайна имеет существенно нелинейный характер, что необходимо учитывать при проектировании и эксплуатации очистных комбайнов для тонких пластов.*

**Ключевые слова:** *очистной комбайн, шнековый исполнительный орган, производительность, скорость перемещения комбайна, удельные энергозатраты.*

### **Постановка проблемы**

Основным источником энергетических ресурсов в Донецком регионе является уголь, запасы которого оцениваются порядка 6,84 миллиарда тонн (96 % от общеукраинских запасов). При этом большинство этих запасов (83,2 %) находится в пластах мощностью 0,55-1,2 м [1].

При добыче угля в таких пластах применяются в основном узкозахватные очистные комбайны в составе механизированных комплексов [2]. Процесс добычи угля очистными комбайнами из тонких пологих пластов существенно затрудняется низкой погрузочной способностью и высокими удельными энергозатратами погрузки [2-3], которые ограничивают скорость подачи (до 3-5 м/мин) и, как следствие, обуславливают низкую производительность комбайна. Интенсификация добычи угля в тонких пологих пластах требует повышения скорости перемещения очистных комбайнов до 14 м/мин [4], что обуславливает необходимость создания выемочной техники нового технического уровня.

Для повышения эффективности добычи угля на тонких пологих пластах необходимы детальный анализ режима работы каждого привода исполнительного органа отдельно и оценка энергетических параметров рабочих процессов очистных комбайнов в реальных условиях эксплуатации. Существует опыт регистрации прошедших событий проходческого комбайна [5], оснащенного стационарными блоками, фиксирующими значения токов приводных двигателей исполнительных механизмов машины. Следует

также отметить, что проведение экспериментальных исследований энергетических параметров работы очистного комбайна в шахтных условиях вызывает ряд проблем, таких как встраивание регистрирующей аппаратуры в специально разработанную защитную оболочку, отдельно размещенную на корпусе комбайна, что значительно увеличивает габарит портала комбайна и усложняет, а иногда и исключает продвижение комбайна в действующей лаве; довольно трудоемкий процесс контроля хода записи данных; кроме того, все работы, связанные с установкой блока регистрации, настройкой аппаратуры, фиксированием режимов работы, хронометражем событий, изъятием и демонтажем оборудования, влекут за собой продолжительные простои действующего очистного забоя. Во избежание этих проблем в ходе проектирования современных очистных комбайнов необходимо их рассматривать как мехатронные объекты.

Дальнейшее использование массивов данных в практических целях (зафиксированных регистрирующими устройствами) требует синхронизации записей режимов и разработки соответствующих методик их оценки.

### **Анализ последних исследований и публикаций**

Создание современных очистных комбайнов для тонких пологих пластов требует оценки фактических значений мощности разрушения и погрузки, а также соответствующих удельных энергозатрат. Определению энергетических по-

казателей работы очистных комбайнов в реальных условиях эксплуатации посвящены труды многих ученых [2-4,6-11]. Общие задачи и принципы проектирования и конструирования горного оборудования нового технического уровня изложены в [9]. Вопросы, касающиеся проектирования узкозахватных комбайнов, работающих в условиях тонких пологих пластов, рассмотрены в [2,3,6-8]. В работах [4,10] изложены принципы проектирования механизмов перемещения очистных комбайнов. Методика обработки данных регистрирующих устройств, установленных на проходческой технике, предложена в работе [11]. При этом отсутствует методика обработки данных регистрирующих устройств, установленных на современных очистных комбайнах.

Таким образом, актуальной научно-практической задачей является создание методики оценки удельных энергозатрат разрушения и погрузки в реальных условиях эксплуатации современных очистных комбайнов.

### Цель (задачи) исследования

Целью настоящей работы является разработка методики определения удельных энергозатрат разрушения и погрузки в реальных условиях эксплуатации современных очистных комбайнов для тонких пологих пластов.

### Основной материал исследования

*Методика определения энергетических параметров работы очистного комбайна*

Исходными данными для определения энергетических параметров работы очистного комбайна, согласно разработанной методике, являются значения тока двигателя, фиксируемые устройством регистрации прошедших событий. Одновременно регистрируются мощность вынимаемого пласта, скорость перемещения очистного комбайна, а также физико-механические свойства разрушаемого массива.

Поскольку современные очистные комбайны оснащаются, как правило, независимым приводом для каждого исполнительного органа (ИО), фактическое значение мощности на одном (*i*-том) исполнительном органе может быть определено из выражения:

$$P_i = P_{ном} \cdot \frac{I_{ср.i} - I_{хол.ход}}{I_{ном}} \cdot \cos\varphi(I) \cdot \eta_{ред} \text{ [кВт]},$$

где  $I_{ср.i}$  – среднее за период замера значение тока *i*-го двигателя исполнительного органа, А;  $I_{хол.ход}$  – значение тока холостого хода электродвигателя (для каждого двигателя определяется по результатам экспериментальных данных), А;  $I_{ном}$  – но-

минальный ток электродвигателя, А;  $\eta_{ред}$  – КПД редуктора системы резания;  $\cos\varphi(I)$  – коэффициент мощности двигателя при полном значении тока;  $P_{ном}$  – номинальная мощность электродвигателя, кВт.

С учетом того, что по условиям эксплуатации очистных комбайнов для тонких пологих пластов со шнековым исполнительным органом опережающий шнек разрушает пачку угля, прилегающую к почве пласта, и осуществляет погрузку отбитой массы, а отстающий шнек выполняет в основном функцию разрушения оставшейся пачки угля, значение мощности разрушения на опережающем ИО  $P_{рез.опер.}$  может быть определено исходя из значений мощности на отстающем ИО  $P_{отст.}$ :

$$P_{рез.опер.} = \frac{P_{отст.}}{k_{осл.} \cdot k_{γ.охв}} \text{ [кВт]},$$

где  $k_{осл.}$  – коэффициент ослабления угольного массива;  $k_{γ.охв}$  – коэффициент охвата шнека забоем.

Тогда значение мощности погрузки на опережающем исполнительном органе  $P_{погр.опер.}$  может быть найдено из выражения:

$$P_{погр.опер.} = P_{опер.} - P_{рез.опер.} \text{ [кВт]}.$$

Установление значений удельных энергозатрат требует определения фактической производительности выемки за рассматриваемый период. Производительность опережающего  $Q_{опер.}$  и отстающего  $Q_{отст.}$  исполнительных органов можно определить из выражений:

$$Q_{опер.} = D_{у.о.} \cdot B_3 \cdot V_n \cdot \rho \text{ [т/мин]};$$

$$Q_{отст.} = (H_{пл} - D_{у.о.}) \cdot B_3 \cdot V_n \cdot \rho \text{ [т/мин]},$$

где  $D_{у.о.}$  – диаметр исполнительного органа очистного комбайна, м;  $B_3$  – ширина захвата исполнительного органа очистного комбайна, м;  $H_{пл}$  – мощность разрушаемого пласта, м;  $V_n$  – скорость подачи очистного комбайна, м/мин;  $\rho$  – плотность угля, т/м<sup>3</sup>.

Тогда значения удельных энергозатрат на опережающем  $W_{опер.}$  и отстающем  $W_{отст.}$  шнеках:

$$W_{опер.} = \frac{P_{ном} \cdot (I_{ср.i} - I_{хол.ход}) \cdot \eta_{ред} \cdot \cos\varphi(I)}{60 \cdot I_{ном} \cdot D_{у.о.} \cdot B_3 \cdot V_n \cdot \rho} \text{ [кВт ч/т]};$$

$$W_{отст.} = \frac{P_{ном} \cdot (I_{ср.i} - I_{хол.ход}) \cdot \eta_{ред} \cdot \cos\varphi(I)}{60 \cdot I_{ном} \cdot (H_{пл} - D_{у.о.}) \cdot B_3 \cdot V_n \cdot \rho} \text{ [кВт ч/т]}.$$

Исходя из отмеченных выше особенностей технологической схемы работы современных комбайнов для тонких пластов, удельные энергозатраты разрушения на отстающем шнеке  $W_{разр}$  могут быть определены как:

$$W_{разр} = \frac{W_{отст}}{k_{осл}} \text{ [кВт ч/т]},$$

а удельные энергозатраты погрузки на опережающем шнеке  $W_{погр}$ :

$$W_{погр} = W_{опер} - W_{разр} = \frac{P_{погр\text{опер}}}{Q_{опер} \cdot 60} \text{ [кВт ч/т]}.$$

*Определение энергетических параметров работы очистного комбайна в условиях шахты «Красный Партизан»*

Для апробации разработанной методики в качестве объекта исследования был принят очистной комбайн УКД400 – характерный представитель выемочных машин нового технического уровня для выемки угля из тонких пологих пластов (рис. 1), имеющий следующие технические характеристики:

- диаметр исполнительного органа 0,9 м;
- ширина захвата 0,7 м;
- номинальная мощность двигателя привода резания в режиме S1 200 кВт, (номинальный ток 129 А).

Экспериментальные исследования были проведены сотрудниками ГУ «Донецкий научно-исследовательский проектно-конструкторский институт комплексной механизации шахт» (Дон-

гипроуглемаш) в условиях 77-й западной лавы пласта  $k_5^1$  ОП «Шахта «Красный Партизан» ГП «Свердловантрацит». Угольный пласт  $k_5^1$  «Должанский» мощностью  $H_{пл}=1,21$  м сложного строения (уголь черный, блестящий, излом раковистый с зеркалами скольжения; прослойка мощностью  $h_2=0,09$  м, сланец песчано-глинистый темно-серый, слоистость неясная; нижняя чистая угольная пачка мощностью  $h_1=0,81$  м, уголь черный, блестящий, излом ступенчатый, крупнополосчатый). Крепость угля 1,5. Схема разрушения горного массива комбайном приведена на рис. 2.

В ходе проведения экспериментальных исследований проводилась регистрация средних действующих энергетических параметров работы каждого из электродвигателей привода резания очистного комбайна с использованием многоканального регистратор-анализатора качества энергии TOPAS 1020 с шагом 0,05 секунды, усредненной за 0,05 секунды. При этом забой условно делился на 3 участка, отличные по значению скорости перемещения очистного комбайна. Одновременно с этим фиксировалась длительность прохождения комбайном участка забоя, равного 1,5 м (расстояние между секциями крепи). Длительность замеров времени при прохождении участков составила 20, 17, 60 секунд. Скорость подачи комбайна на этих участках соответственно составила 4,5; 5,3; 3,75 м/мин.

В качестве примера на рис. 3 приведен фрагмент изменения значений токов двигателей поворотных блоков резания опережающего и отстающего шнеков при прохождении комбайном участка забоя (время прохождения участка 17 сек, скорость подачи комбайна 5,3 м/мин).

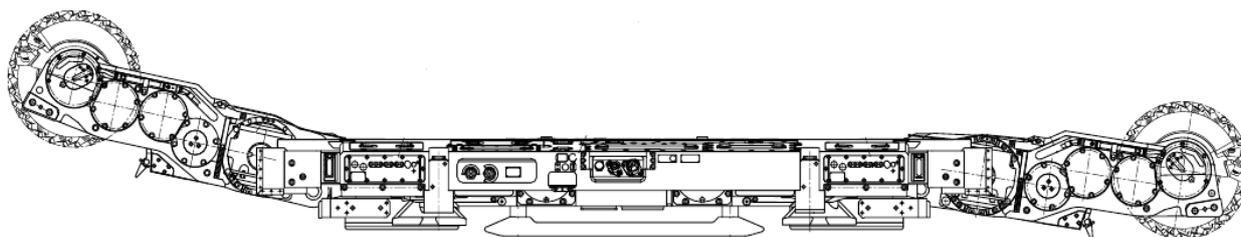


Рис. 1. Общий вид комбайна УКД400

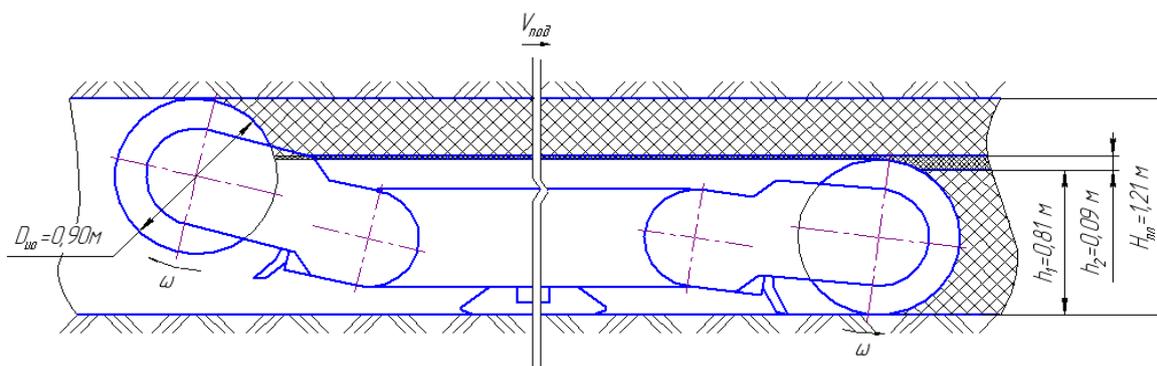


Рис. 2. Схема разрушения горного массива комбайном УКД400

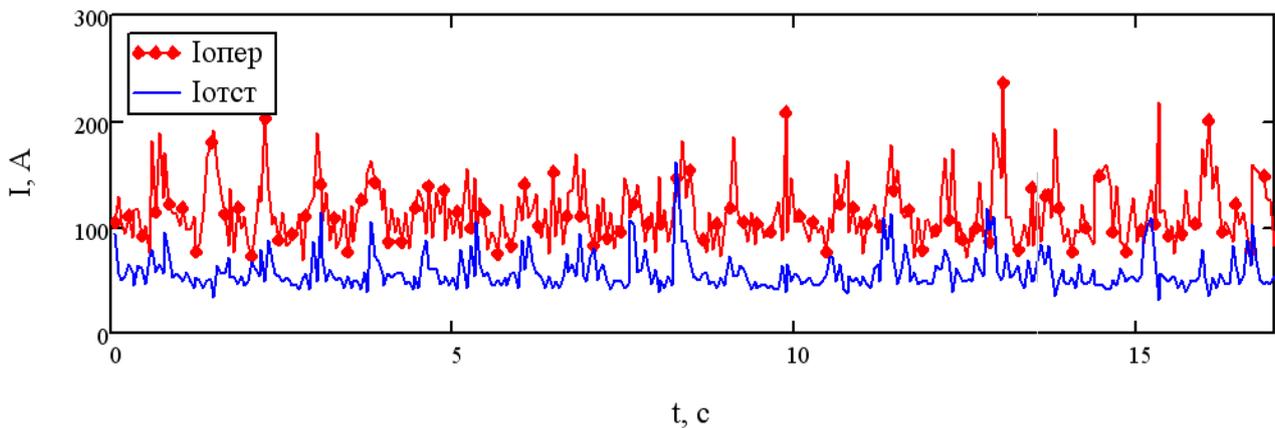


Рис. 3. Зафиксированные значения токов двигателей приводов резания очистного комбайна УКД400

Полученные результаты обработки значений токов двигателей приводов исполнительных органов по изложенной методике приведены в табл. 1.

На основе полученных экспериментальных данных составлены уравнения регрессии для определения удельных энергозатрат и мощности погрузки:

$$W_{noz}(V_n) = w_1 \cdot V_n^2 - w_2 \cdot V_n + w_3 \text{ [кВт ч/т]},$$

где  $w_1=0,0045$ ,  $w_2=0,0275$ ,  $w_3=0,1133$  – коэффициенты уравнения регрессии.

$$P_{noz}(V_n) = p_1 \cdot V_n^2 - p_2 \cdot V_n + p_3 \text{ [кВт]},$$

где  $p_1=1,3831$ ,  $p_2=5,2519$ ,  $p_3=14,229$  – коэффициенты уравнения регрессии.

Графики зависимости удельных энергозатрат и мощности погрузки от скорости подачи очистного комбайна, полученных на основе регрессионных зависимостей, приведены на рис. 4.

Характер полученных графиков не противоречит данным исследований [2,3]. Таким образом, приведенные регрессионные зависимости  $W_{noz}$  и  $P_{noz}$  от  $V_n$  могут быть использованы для

оценки энергетических параметров работы современных очистных комбайнов со шнековым исполнительным органом для тонких пологих пластов.

Анализ зависимостей (см. рис. 4) показывает, что с увеличением скорости подачи очистного комбайна мощность и удельные энергозатраты погрузки изменяются нелинейно. Причем при достижении значения скорости подачи 6 м/мин наблюдается интенсивный рост этих показателей. В [4] показано, что требуемая интенсификация добычи угля в тонких пологих пластах определяет необходимость повышения скорости подачи очистного комбайна до 10...14 м/мин. В соответствии с проведенным анализом это влечет повышение мощности погрузки до 100 кВт и более.

С целью прогноза увеличения габаритов и массы  $m$  выемочной машины при увеличении суммарной мощности  $P$  приводов проанализирован ряд отечественных и зарубежных комбайнов, которые используются при добыче угля из тонких пологих пластов.

На рис. 5 показаны соотношения массы очистного комбайна для тонких пологих пластов и суммарной мощности двигателей приводов исполнительных органов для современных

Табл.1. Результаты обработки экспериментальных данных работы очистного комбайна УКД400

Параметр	Значение		
Длительность замера, с	20	17	60
Пройденный комбайном путь, м	1,5		
Скорость подачи, м/мин	4,50	5,30	3,75
Производительность, т/мин			
опережающий ИО	3,86	4,54	3,21
отстающий ИО	1,33	1,56	1,11
Удельные энергозатраты, кВт ч/т			
опережающий ИО	0,46	0,31	0,20
отстающий ИО	0,38	0,22	0,13
на погрузку горной массы	0,08	0,09	0,07
Мощность, затраченная на погрузку, кВт	18,6	25,2	14,0

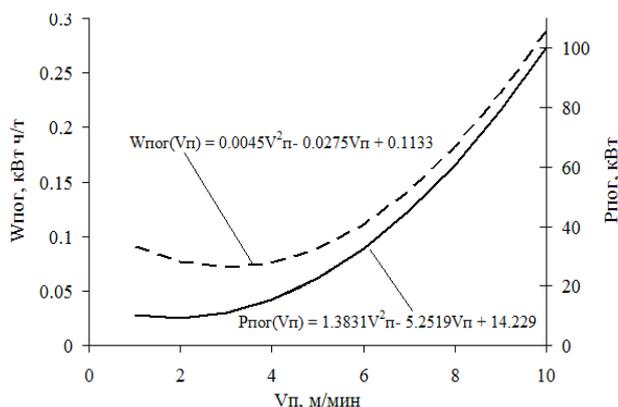


Рис. 4. Графики зависимости удельных энергозатрат и мощности погрузки от скорости подачи очистного комбайна

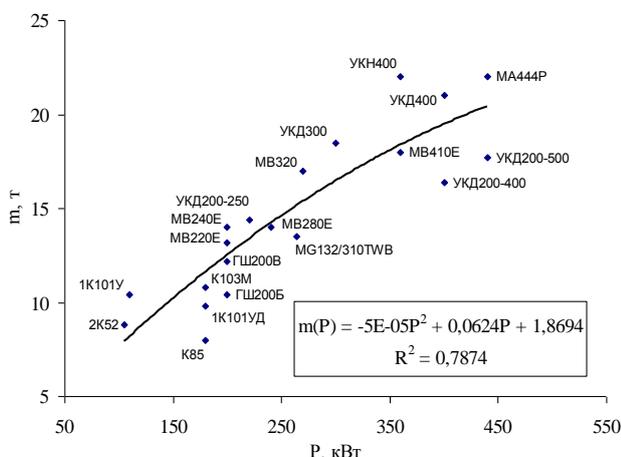


Рис. 5. График зависимости массы очистного комбайна от суммарной мощности приводов исполнительных органов

моделей комбайнов. На основе этих данных установлена регрессионная зависимость:

$$m(P) = -m_1 \cdot P^2 + m_2 \cdot P + m_3 \text{ [т]},$$

где  $m_1=0,00005$ ,  $m_2=0,0624$ ,  $m_3=1,8694$  – коэффициенты уравнения регрессии.

Выполненный анализ показывает, что интенсификация добычи угля из тонких пологих пластов требует существенного увеличения мощности приводов исполнительных органов (в том числе из-за большой энергоемкости погрузки) и, как следствие, массы и габаритов комбайна в целом, что усложняет конструкцию машины, ухудшает вписываемость в гипсометрию пласта.

**Выводы**

Разработана методика определения удельных энергозатрат разрушения и погрузки очистных комбайнов для тонких пластов в реальных условиях эксплуатации на основе фиксации значений токов двигателей приводов резания. Такая фик-

сация может осуществляться на основе обработки данных записей регистраторов произошедших событий, которыми оснащаются очистные комбайны нового технического уровня с раздельными приводами на каждый исполнительный орган.

Получены зависимости удельных энергозатрат и мощности погрузки разрушенной горной массы от скорости перемещения очистного комбайна, которые могут быть описаны уравнениями регрессии параболического вида:  $W_{noz}(V_n)=w_1 \cdot V_n^2+w_3$  и  $P_{noz}(V_n)=p_1 \cdot V_n^2-p_2 \cdot V_n+p_3$ .

Для интенсификации добычи угля из тонких пологих пластов требуется существенное увеличение мощности приводов исполнительных органов из-за большой энергоемкости процесса погрузки и, как следствие, массы и габаритов комбайна в целом.

Интенсификации добычи угля из тонких пологих пластов за счет повышения скоростей перемещения  $V_n$  до уровня 10-14 м/мин требует значения мощности погрузки свыше 100 кВт. Это определяет необходимость и актуальность дополнительных исследований, направленных на повышение эффективности процесса погрузки для комбайнов, работающих в условиях тонких пластов.

**Список литературы**

1. Горбатов, П.А. Горные машины для подземной добычи угля: Учебное пособие для вузов / П.А. Горбатов и др. Под общей редакцией П.А. Горбатова. 2-е издание, переработанное и дополненное. – Донецк: Норд Компьютер, 2006. – 669 с.
2. Бойко, Н.Г. Очистные комбайны для тонких пластов.– Донецк: ДонНТУ, 2010. – 476 с.
3. Механо-гидравлические шнековые системы выгрузки и транспортирования. В.Г. Нечепев. – Донецк: ДонНТУ, 2005. – 215с.
4. Косарев, И.В. Повышение производительности очистных комбайнов с вынесенной системой подачи / И.В.Косарев, А.В, Мезников // Вестник Донецкого национального технического университета. – № 6. – 2016. – С. 19-23.
5. Кудлай, Р.А. Блок регистрации произошедших событий на проходческом комбайне / Р.А. Кудлай, А.В. Мезников, Н.И. Стадник // Решение научно-технических проблем при создании и внедрении современного горношахтного оборудования. – Донецк: Астро, 2008. – С. 647-660.
6. Nechepaev, V.G. Synthesis of mechano-hydrodynamic actuators of coal cutter-loader / V.G. Nechepaev // Magdeburger Maschinenbau

- Tage. – Tagungsband I. – Logos Verlag Berlin, 1997. – P. 35-43.
7. Nechepaev, V. Creation of transport devices of the increased efficiency for moving loose materials / V. Nechepaev, A. Semenchenko // BULETINUL INSTITUTULUI POLITEHNIC DIN IAȘI. Publicat de Universitatea Tehnică "Gh. Asachi", Tomul XLVI(L), Supliment 1, 2000. – P. 187-190.
  8. Nechepaev, V. The theory of functioning of mechano-hydrodynamic screw transport devices / V. Nechepaev, I. Navka // International scientific conference "Advanced Manufacturing Technologies" CITAF-2001, Bucharest, 2001. – P. 318-319.
  9. Гуляев, В.Г. Проектирование и конструирование горных машин и комплексов. Ч.1. Вы-  
емочные комбайны. (Теория рабочих процес-  
сов и методы повышения надежности): учеб.  
пособие. – Донецк: ДонНТУ, Технопарк  
ДонНТУ «УНИТЕХ», 2011. – 322 с.
  10. Кондрахин, В.П. Электрические механизмы  
перемещения очистных комбайнов / В.П.  
Кондрахин, В.В. Косарев, Н.И. Стадник. Под  
общ. ред. В.П. Кондрахина. – Донецк: Тех-  
нопарк ДонНТУ «УНИТЕХ», 2010. – 257 с.
  11. Шабаев, О.Е. Техническая диагностика рез-  
цового исполнительного органа проходче-  
ского комбайна / О.Е. Шабаев, И.И. Бридун,  
Н.В. Хищенко. Под общ. ред. О.Е. Шабаева. –  
Донецк: Технопарк ДонНТУ «УНИТЕХ»,  
2015. – 200 с.

**O.E. Shabaev /Dr.Sci. (Eng.)/, V.G. Nechaev /Dr.Sci. (Eng.)/, P.P. Zinchenko**

*Donetsk National Technical University (Donetsk)*

**A.V. Meznikov, A.V. Kovalenko**

*Donetsk Scientific-Research Design Institute of Complex Mechanization of Mines (Donetsk)*

### THE METHOD TO DETERMINE SPECIFIC ENERGY CONSUMPTION OF CUTTING-LOADING BY SHEARERS FOR LOW COAL SEAMS IN REAL OPERATING CONDITIONS

**Background.** *The creation of a modern shearer requires knowledge of the actual loads on its power system, recorded in real operating conditions. This requires the development of a method to determine the energy indicators of performance of the shearers for low coal seams.*

**Materials and/or methods.** *When solving the tasks the experimental-analytical method used of data processing of the actual values of the motor currents of the actuators of the working bodies recorded by the past events recording device; coal height; shearer speed.*

**Results.** *The method developed to determine the energy parameters of the shearer performance equipped with recorders of past events on the basis of data obtained as a result of the operation of the shearer in real operating conditions. The dependence of the capacity and specific energy consumption of the movement speed of the shearer determined, as well as the shearer mass of the total capacity of the cutting drives.*

**Conclusion.** *With the intensification of the shearers work in low coal seams and increasing shearer speed to 10-14 m/min, additional research required to improve the efficiency of the loading process.*

**Keywords:** *shearer, screw working body, performance, shearer speed, specific energy consumption.*

#### Сведения об авторах

**О.Е. Шабаев**

SPIN-код: 1447-2343

ORCID iD: 0000-0002-0845-7449

Телефон: +380 (95) 429-13-32

Эл. почта: oeshabaev@ya.ru

**П.П. Зинченко**

Телефон: +380 (66) 427-45-36

Эл. почта: pawel.zin4encko@yandex.ru

**А.В. Коваленко**

Телефон: +380 (95) 178-53-47

Эл. почта: gu.donuglemash@yandex.ru

**В.Г. Нечепаяев**

Телефон: +380 (95) 419-07-43

Эл. почта: nechepayev@mech.donntu.org

**А.В. Мезников**

Телефон: +380 (66) 763-83-78

Эл. почта: gu.donuglemash@yandex.ru

*Статья поступила 19.12.2017 г.*

*© О.Е. Шабаев, В.Г. Нечепаяев, П.П. Зинченко, А.В. Мезников, А.В. Коваленко, 2017*

*Рецензент д.т.н., проф. В.П. Кондрахин*