

ОРИГИНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ / ORIGINAL PAPERS

DOI: 10.17073/2500-0632-2019-2-90-102

**Экспериментальные исследования влияния ширины захвата
шнекового исполнительного органа комбайна
на эффективность процесса погрузки**

Шабаев О. Е.¹, Зинченко П. П.¹, Мезников А. В.²

¹ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет», Донецк, Украина,
✉ pawel.zin4encko@yandex.ru;

²ГП «Донуглемаш», Донецк, Украина

Аннотация: Интенсификация добычи угля из шахтопластов мощностью 0,55–1,20 м требует повышения эффективности процесса погрузки разрушенного угля, что может быть обеспечено путем выбора оптимальных параметров шнекового исполнительного органа очистного комбайна. Наиболее достоверным способом установления влияния параметров шнека на энергетические параметры работы очистного комбайна являются экспериментальные исследования в реальных условиях эксплуатации. Объектами исследования выбраны очистные комбайны нового технического уровня УКД400 и УКД200-500, эксплуатирующиеся в представительных условиях шахт «Красный партизан» ГП «СВЕРДЛОВАНТРАЦИТ» и «Терновская» ПАО «ДТЭК ПАВЛОГРАДУГОЛЬ» соответственно. Предложена адаптивная под горнотехнические условия работы методика определения удельных энергозатрат разрушения и погрузки очистных комбайнов для тонких пластов в реальных условиях эксплуатации на основе фиксации значений токов двигателей приводов резания. После обработки экспериментальных данных установлена зависимость мощности на погрузку горной массы от скорости подачи и ширины захвата исполнительного органа показательного вида. С увеличением ширины захвата шнека мощность и удельные энергозатраты на погрузку возрастают тем интенсивнее, чем выше скорость подачи очистного комбайна. Это обусловлено началом процесса циркуляции разрушенной горной массы, при этом, чем больше ширина захвата шнека, тем процесс циркуляции интенсивнее и наступает при меньших значениях скорости подачи очистного комбайна. Предложен метод выбора рациональной ширины захвата шнека по критериям минимальных удельных энергозатрат и максимальной технической производительности.

Ключевые слова: очистной комбайн, шнековый исполнительный орган, производительность, скорость подачи комбайна, удельные энергозатраты, мощность на погрузку, ширина захвата.

Для цитирования: Шабаев О. Е., Зинченко П. П., Мезников А. В. Экспериментальные исследования влияния ширины захвата шнекового исполнительного органа комбайна на эффективность процесса погрузки. *Горные науки и технологии*. 2019;4(2):90-102. DOI: 10.17073/2500-0632-2019-2-90-102.

**Experimental Studies of Effect of Shearer Auger Operating Device Effective Width
on Effectiveness of Loading Process**

O. E. Shabaev¹, P. P. Zinchenko¹, A. V. Meznikov²

¹Donetsk National Technical University, Donetsk, Ukraine, ✉ pawel.zin4encko@yandex.ru;

²State Enterprise "Donuglemash", Donetsk, Ukraine

Abstract: Intensification of coal mining from mine seams of 0.55–1.20 m thick requires increasing efficiency of loose coal loading that may be achieved by selecting the optimal parameters of auger operating device of a shearer. The most reliable way to determine effect of the auger parameters on the energy parameters of the shearer operation is experimental research in actual operating conditions. As the subjects of the research, we selected up-to-date UKD400 and UKD200-500 shearers, operating in representative

conditions of the Krasny Partizan mine of SE SVERDLOVANTRATSIT and Ternovskaya mine of DTEK PAVLOGRADUGOL PJSC. An adaptive method for specific mining operating conditions is proposed for determining the specific energy consumption of the shearers on material disruption and loading for thin seams in actual operating conditions based on fixing the values of currents of the cutting drive motors. Based on processing of the experimental data, an indicative dependence of the power for rock mass loading on the feed rate and the effective width of the operating device is determined. Increasing the auger effective width results in increasing the loading power and specific energy consumption. At the same time, the higher the shearer feed rate, the greater the growth of the loading power and specific energy consumption. This is due to the beginning of the process of loose rock mass circulation, and the larger the auger effective width, the more intensive the circulation process, and at the lower feed rate of the shearer the process starts. A method is proposed for selecting the auger optimum effective width based on the criteria of minimum specific energy consumption and maximum commercial productivity.

Keywords: shearer, auger operating device, productivity, shearer feed rate, specific energy consumption, loading power, effective width.

For citation: Shabaev O. E., Zinchenko P. P., Meznikov A. V. Experimental studies of effect of shearer auger operating device effective width on effectiveness of loading process. *Mining Science and Technology*. 2019;4(2):90-102 (In Russ.). DOI: 10.17073/2500-0632-2019-2-90-102.

Постановка проблемы

Основным энергетическим ресурсом Донецкого региона является каменный уголь, запасы которого по данным ДонУГИ составляют порядка 6,84 млрд т. Основная часть этих запасов (порядка 83,2 %) сосредоточена в пастах мощностью 0,55–1,2 м [1].

Практически все шахтопласты Донбасса имеют неблагоприятные горно-геологические и горнотехнические условия залегания. Они характеризуются беспокойной гипсометрией, наличием породных прослоек и твердых включений в угольном массиве [1]. Эти факторы практически полностью исключают возможность выемки угля с использованием струговых и агрегатных комплексов, что и обуславливает широкое применение очистных комбайнов со шнековыми исполнительными органами в составе механизированных комплексов [1–5]. Все ранее сказанное говорит о необходимости исследований в области проектирования и конструирования очистных комбайнов нового поколения, способных эффективно работать в условиях тонких пологих пластов.

Процесс добычи угля из пластов мощностью 0,55–1,2 м очистными

комбайнами можно охарактеризовать как высокоэнергоемкий [2, 3]. Это обусловлено малой погрузочной способностью шнековых исполнительных органов, которая ограничивает скорость подачи комбайна в пределах 2–5 м/мин и, как следствие, приводит к низкой производительности очистного комбайна [2, 3]. Для интенсификации добычи угля из шахтопластов мощностью 0,55–1,2 м необходимо повысить эффективность процесса погрузки, что может быть, в частности, обеспечено на основе выбора оптимальных параметров шнекового исполнительного органа очистного комбайна.

Анализ исследований и публикаций.

Вопросом создания высокоэффективного очистного оборудования занимались ученые [2–22]. Вопросы, рассмотренные в [2, 3], касаются проектирования узкозахватных очистных комбайнов, работающих в условиях тонких пологих пластов. В работе [4] изложены принципы проектирования механизмов перемещения очистных комбайнов. В работе [5] приведены общие задачи и принципы проектирования и конструирования горных машин и комплексов нового технического уровня. Установлено [6–13], что шнековые

исполнительные органы, которыми оснащаются очистные комбайны для работы в условиях тонких и весьма тонких пластов, обладают большей производительностью по разрушению, чем по погрузке разрушенной горной массы. Авторы работ [14–22] занимались решением задачи оптимизации процесса погрузки шнековыми исполнительными диаметрами путем определения рациональных значений геометрических параметров шнеков и режимными параметрами работы комбайна. Работы [23–26] направлены на решение проблем автоматизации добычи угля очистными комбайнами. В [27–36] изложен опыт в применении импульсных струй рабочей жидкости при разрушении горного массива. При этом не существует достоверных данных о закономерностях изменения энергетических параметров работы очистного комбайна в условиях тонких пологих пластов в зависимости от ширины захвата шнекового исполнительного органа. Наиболее достоверным путем получения фактических значений энергетических параметров работы выемочной техники являются экспериментальные исследования в реальных условиях эксплуатации.

Цель (задачи) исследования

Целью настоящей работы является установление закономерностей влияния параметров шнекового исполнительного органа на энергетические показатели процесса погрузки угля в условиях тонких пологих пластов.

Изложение материала и результаты

Для достижения поставленной цели в качестве объектов исследования были выбраны очистные комбайны нового технического уровня УКД400 и УКД200-500, эксплуатирующиеся в представительных условиях шахт «Красный партизан» ГП «СВЕРДЛОВАНТРАЦИТ» пласта k_5^1 «Должанский» и «Терновская» ПАО «ДТЭК ПАВЛОГРАДУГОЛЬ» пласта C_5^B соответственно. Краткие технические характеристики рассматриваемых очистных комбайнов приведены в табл. 1.

На рис. 1 представлены схемы разрушения и структуры шахтопластов в условиях проведения экспериментальных исследований комбайнов УКД400 и УКД200-500.

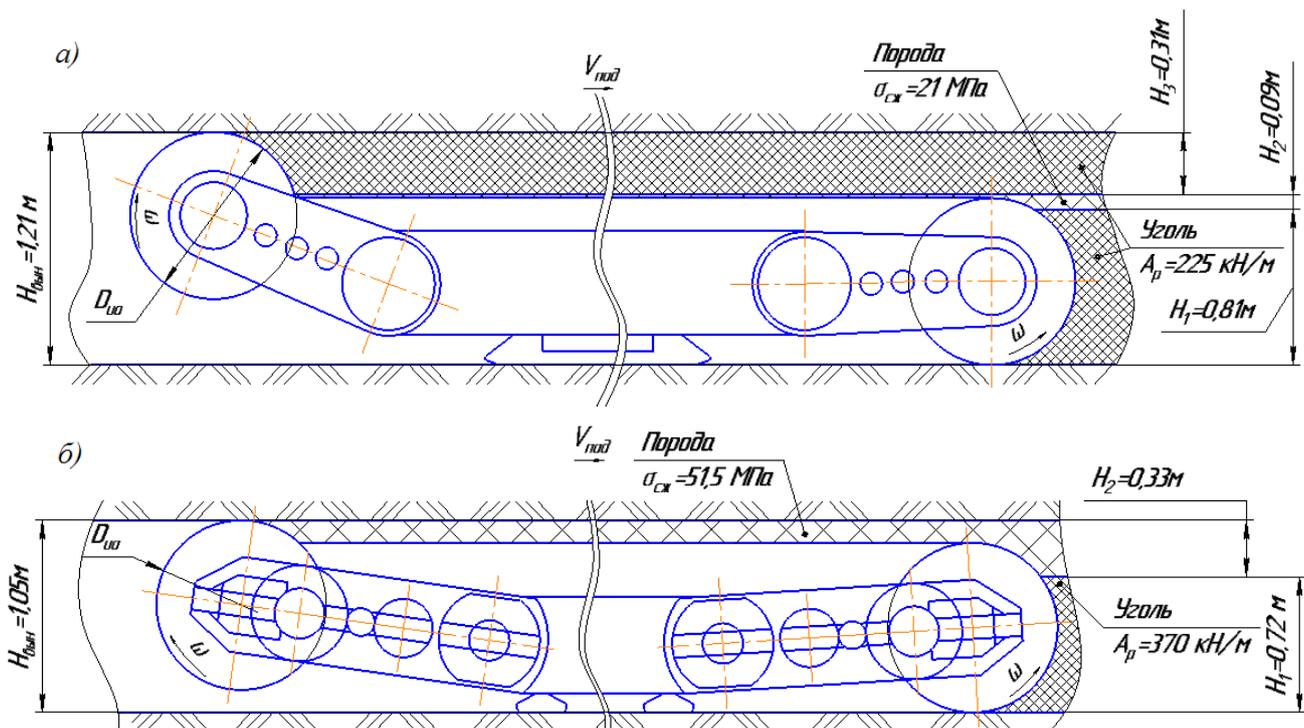


Рис. 1. Схемы разрушения горного массива комбайнами УКД400 (а) и УКД200-500 (б)

Fig. 1. Schematics of rock mass loosening by UKD400 (a) and UKD200-500 (b) shearers

Таблица 1

Технические характеристики рассматриваемых очистных комбайнов

Technical specifications of the considered shearers

Параметры	Тип комбайна	
	УКД400	УКД200-500
Тип электродвигателя привода исполнительного органа	ЭКВ4-200В	SG7W490L-4
Номинальная мощность приводов резания $P_{ном}$, кВт	2×200	2×250
Номинальный ток электродвигателя $I_{ном}$, А	129	155
Коэффициент мощности $\cos \varphi$, от.ед.	0,837	0,880
Диаметр исполнительного органа $D_{но}$, м	0,9	
Ширина захвата B_3 , м	0,7	0,8
Угол подъема лопасти шнека (по лопастям) α_n , град	15°38'	13°54'
Угловая скорость шнека ω , с ⁻¹	8,17	8,31

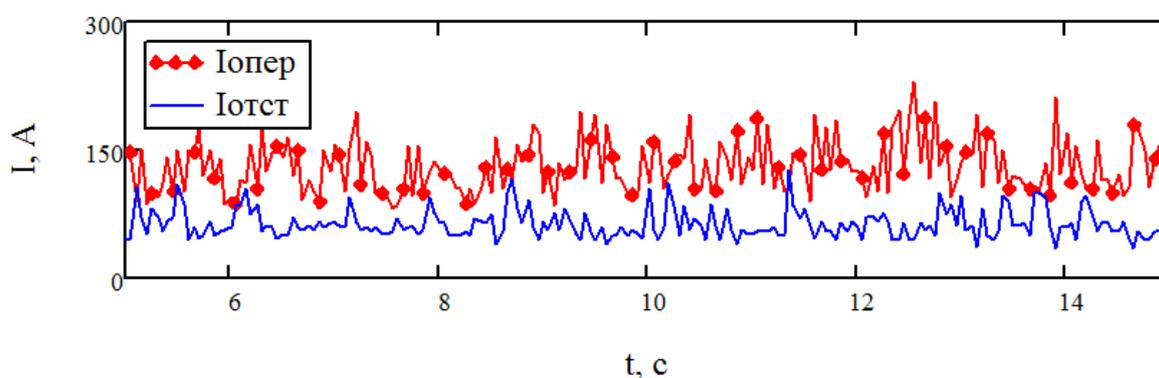


Рис. 2. Фрагмент записи значений токов двигателей опережающего $I_{опер}$ и отстающего $I_{отст}$ приводов исполнительных органов очистного комбайна УКД400

Fig. 2. A fragment of recording the values of motor currents of leading and lagging behind drives of UKD400 shearer operating devices

Таблица 2

Данные проведения экспериментальных исследований работы выемочных комбайнов УКД400 и УКД200-500

Data of the experimental studies of UKD400 and UKD200-500 shearers operation

Параметр	Тип комбайна						
	УКД400			УКД200-500			
Шаг дискретизации Δt , с	0,05			0,2			
Количество участков n	3			4			
Длина мерного участка l , м	1,5			6,0	7,5		
Длительность прохождения мерного участка t_j , мин	0,400	0,330	0,283	1,500	1,800	1,700	1,180
Скорость подачи V_n , м/мин	3,75	4,50	5,30	4,00	4,20	4,40	6,40
Значение тока холостого хода электродвигателя согласно экспериментальным данным $I_{хол.ход}$, А	45			65			
Среднее за период замера значение тока двигателя опережающего исполнительного органа $I_{ср.опер}$, А	73,6	129,5	114,2	166,1	190,1	183,2	190,9
Среднее за период замера значение тока двигателя отстающего исполнительного органа $I_{ср.отст}$, А	50,1	64,0	57,9	7,9	10,1	9,3	7,3

Согласно [41] нагрузка на исполнительных органах очистных комбайнов определяется с учетом сопротивляемости угля резанию \bar{A}_p . Поэтому показатели крепости разрушаемого массива приводились к значению \bar{A}_p на основе данных, содержащихся в работах [1, 37].

Средневзвешенное значение сопротивления угля резанию при разрушении каждым k -м исполнительным органом, кН/м,

$$\bar{A}_{p,k} = \frac{\sum_{i=1}^{m_k} \bar{A}_i H_i}{H_{k.ио}},$$

где \bar{A}_i , H_i – сопротивление угля резанию и мощность i -й пачки массива, разрушаемого k -м исполнительным органом;

$H_{k.ио}$ – вынимаемая мощность массива, разрушаемого k -м шнеком;

m_k – число разрушаемых пачек, разрушаемых k -м исполнительным органом.

В ходе проведения экспериментальных исследований работы очистного комбайна проводилась регистрация с использованием многоканального регистратора-анализатора качества энергии [38] средних действующих значений токов электродвигателей каждого привода резания комбайна с шагом Δt . Забой условно делился на n участков, отличающихся по длине l , м. При этом фиксировалась длительность прохождения каждого участка t_j , с ($j = 1..n$).

В качестве примера на рис. 2 приведен фрагмент записи значений токов двигателей приводов исполнительных органов очистного комбайна УКД400 при прохождении участка забоя равного 1,5 м со скоростью 4,5 м/мин.

Результаты предварительной обработки данных экспериментальных исследований приведены в табл. 2.

Очистные комбайны нового технического уровня имеют индивидуальный двигатель привода каждого исполнительного органа. Тогда, согласно методике, предложенной

в [39], фактическое значение мощности разрушения и погрузки горной массы на каждом k -м двигателе привода исполнительного органа может быть определено из выражения, кВт:

$$P_k = P_{ном} \frac{I_{ср,k} - I_{хол.ход}}{I_{ном}} \cos \varphi.$$

Согласно 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 (см. рис. 1). С учетом этого, значение мощности разрушения на опережающем шнеке $P_{рез.опер}$ может быть определено исходя из значений мощности на отстающем шнеке $P_{отст}$ с учетом разрушения массива различной средней сопротивляемости угля резанию, коэффициентами охвата шнека забоем и ослабления угольного массива, [кВт],

$$P_{рез.опер} = \frac{P_{отст} \bar{A}_{p.отст.ио}}{k_{осл} k_{\gamma.охв} \bar{A}_{p.опер.ио}},$$

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

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

$$P_{погр.опер} = P_{опер} - P_{рез.опер},$$

Определение значения удельных энергозатрат требует определения фактической производительности выемки за рассматриваемый период. Производительность k -го исполнительного органа можно определить из выражения, т/мин:

$$Q_k = H_{k.ио} B_3 V_{пр} \rho,$$

где B_3 – ширина захвата исполнительного органа очистного комбайна, м;

V_{Π} – скорость подачи очистного комбайна, м/мин;

ρ – плотность угля, т/м³.

С учетом этого значение удельных энергозатрат на k -м шнеке можно определить как:

$$W_k = \frac{P_{\text{ном}} (I_{\text{ср.к}} - I_{\text{хол.ход}}) \cos \varphi}{60 I_{\text{ном}} H_{k.\text{ш}} B_3 V_{\Pi} \rho}, \text{ [кВт ч/т]}.$$

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

$$W_{\text{разр}} = \frac{W_{\text{отст}} \bar{A}_{\text{р.отст.ш}}}{k_{\gamma.\text{охв}} k_{\text{осл}} \bar{A}_{\text{р.опер.ш}}},$$

а удельные энергозатраты погрузки на опережающем шнеке $W_{\text{погр}}$, кВт ч/т

$$W_{\text{погр}} = W_{\text{опер}} - W_{\text{разр}} = \frac{P_{\text{погр.опер}}}{Q_{\text{опер}} \cdot 60}.$$

Параметры эффективности работы очистных комбайнов УКД400 и УКД200-500, полученные в результате обработки экспериментальных исследований, приведены в табл. 3.

На основе данных в табл. 3 получены уравнения регрессии для определения мощ-

ности на погрузку ($R^2_{P_{\text{погр}}} = 0,91$) исследуемых комбайнов:

$$P_{\text{погр}} (V_{\Pi}, B_3) = 3,612 B_3 e^{0,619 B_3 V_{\Pi}}, \text{ [кВт]}.$$

График зависимости мощности и удельных энергозатрат на погрузку с учетом ширины захвата исследуемых очистных комбайнов представлен на рис. 3.

Анализ приведенных зависимостей (рис. 3) показывает, что мощность на погрузку и удельные энергозатраты с увеличением ширины захвата шнека возрастает тем интенсивнее, чем выше скорость подачи очистного комбайна. Так, при $V_{\Pi} = 4$ м/мин увеличение ширины захвата исполнительного органа с 0,7 до 0,8 м приводит к росту мощности с 14 до 21 кВт, т.е. в 1,5 раза, и удельных энергозатрат погрузки с 0,07 до 0,09 кВт ч/т, т.е. в 1,3 раза. Скорость подачи $V_{\Pi} = 6$ м/мин приводит к росту мощности с 34 до 56 кВт, т.е. в 1,7 раза и удельных энергозатрат погрузки с 0,11 до 0,16 кВт ч/т, т.е. в 1,5 раза. Этот рост обусловлен началом процесса циркуляции разрушенной горной массы, при этом, чем больше ширина захвата шнека, тем раньше этот процесс начинается и интенсивнее становится.

Таблица 3

Результаты обработки экспериментальных данных работы очистных комбайнов УКД400 и УКД200-500

The findings of processing of the experimental data on UKD400 and UKD200-500 shearers operation

Параметр	Тип комбайна						
	УКД400			УКД200-500			
Скорость подачи, м/мин:	3,75	4,5	5,3	4,0	4,2	4,4	6,4
Производительность, т/мин:							
опережающий шнек	3,307	3,969	4,675	4,032	4,234	4,435	6,451
отстающий шнек	1,139	1,367	1,61	0,672	0,706	0,739	1,075
Удельные энергозатраты, кВт ч/т							
опережающий шнек	0,187	0,461	0,320	0,593	0,699	0,63	0,462
отстающий шнек	0,125	0,390	0,227	0,506	0,613	0,537	0,290
на погрузку горной массы	0,062	0,071	0,093	0,087	0,086	0,093	0,172
Мощность на погрузку, кВт	12,28	16,73	26,19	21,14	21,92	24,77	66,39

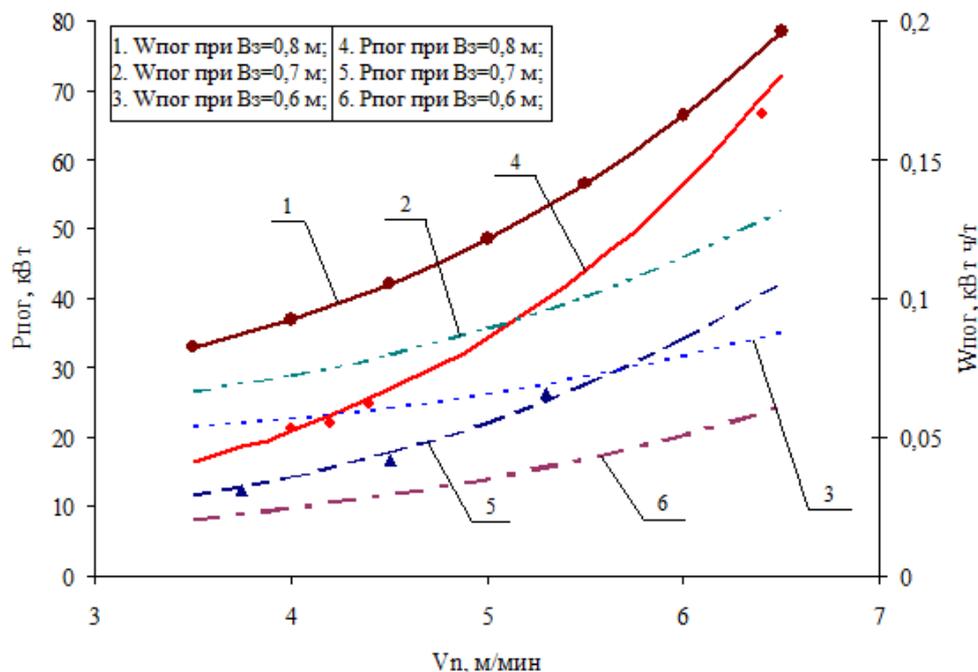


Рис. 3. График зависимости мощности и удельных энергозатрат на погрузку с учетом ширины захвата исполнительного органа и скорости подачи

Fig. 3. Plot of power and specific energy consumption for loading as function of operating device effective width and feed rate

Для оценки влияния ширины захвата шнекового исполнительного органа на эффективность работы очистного комбайна для тонких пластов на основе предложенной методики [39] была построена номограмма, приведенная на рис. 4. Номограмма построена для следующих горно-геологических и горнотехнических условий: средняя мощность вынимаемого пласта 1,0 м; длина лавы 200 м; плотность разрушенного угля 1,41 т/м³; сопротивление угля резанию в неотжатом массиве 220 кН/м; показатель степени хрупкости пласта при резании 1,65. Схема набора резцов принималась для комбайна УКД200-500 и корректировалась с учетом ширины захвата.

На рис. 4 приведены зависимости: мощности на разрушение и погрузку опережающим исполнительным органом P , полученные с использованием регрессионных зависимостей на погрузку и на разрушение [40]; зависимости удельных энергозатрат на разрушение и погрузку на опережающем исполнительном органе W , определенные как от-

ношение мощности разрушения и погрузки на опережающем шнеке к его теоретической производительности; техническая производительность $Q_{\text{тех}}$.

На основе анализа парка очистных комбайнов нового технического уровня, предназначенного для добычи угля из тонких пологонаклонных пластов, мощность привода резания находится на уровне 200 кВт, что, с учетом КПД редуктора привода шнекового исполнительного органа, составляет порядка 160 кВт на шнеке.

Исходя из принятого значения мощности на исполнительном органе очистного комбайна при помощи номограммы были определены оптимальные значения ширины захвата шнека, находящиеся в диапазоне 0,6...0,7 м, обеспечивающие максимальную производительность при минимальных удельных энергозатратах (по сравнению с большими значениями ширины захвата снижение удельных энергозатрат находится на уровне 15...30 %).

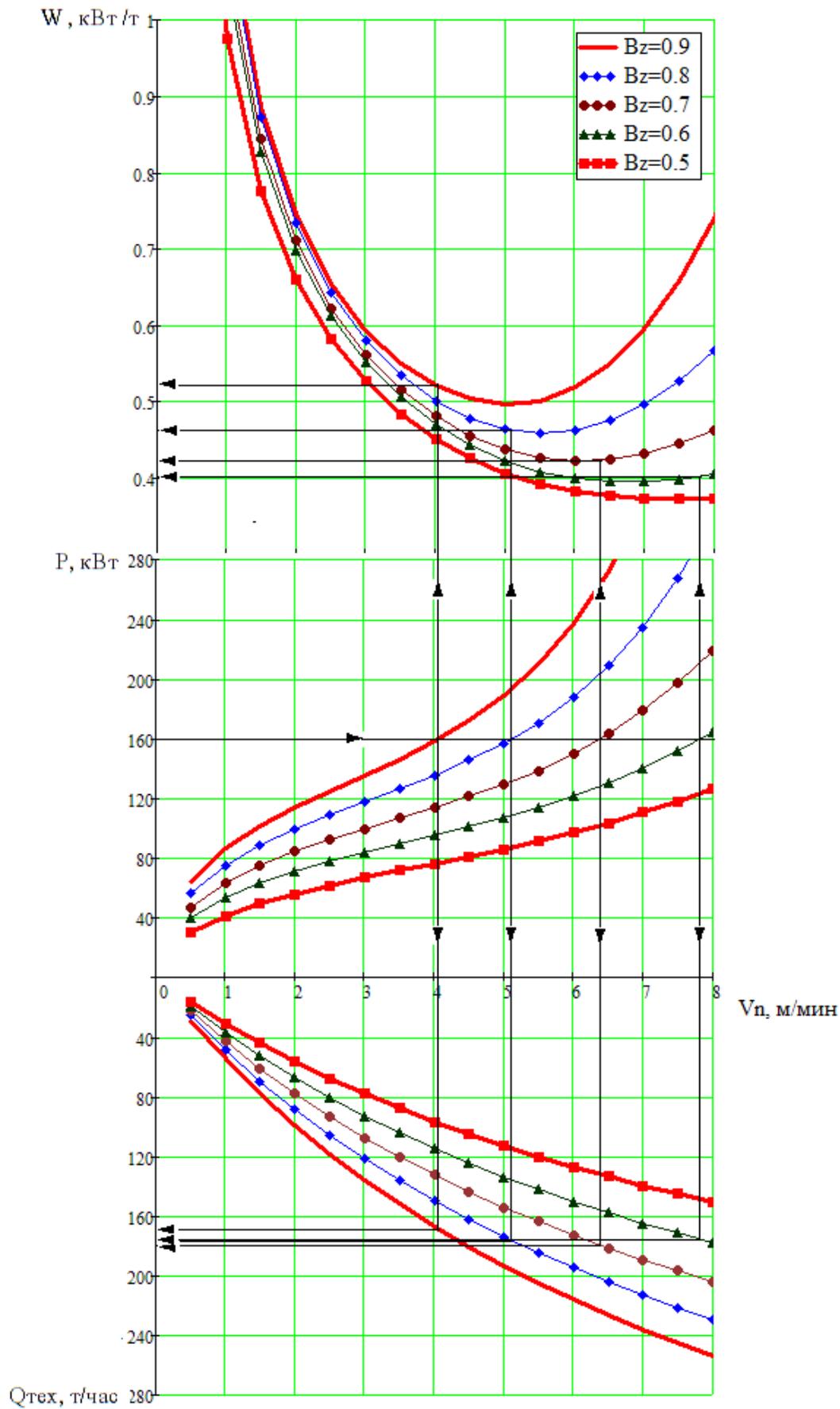


Рис. 4. Номограмма выбора рациональной ширины захвата шнека

Fig. 4. The findings of processing of the experimental data on UKD400 and UKD200-500 shearers operation

Таким образом, целесообразной представляется задача определения оптимальных значений ширины захвата шнека по критерию минимальных энергетических параметров работы комбайна для конкретных горно-геологических и горнотехнических условий, что позволит существенно повысить эффективность работы очистных комбайнов для тонких пологонаклонных пластов со шнековым исполнительным органом с учетом возможных ограничивающих факторов по скорости перемещения комбайна.

Выводы и направление дальнейших исследований

1. Предложена адаптивная под горно-геологические условия работы методика определения удельных энергозатрат разрушения и погрузки очистных комбайнов для тонких пластов в реальных условиях эксплуатации на основе фиксации значений токов двигателей приводов резания.

2. На основе обработки экспериментальных данных исследований работы очистных комбайнов УКД400 и УКД200-500, рабо-

тающих в представительных условиях, была получена зависимость мощности на погрузку горной массы от скорости подачи и ширины захвата исполнительного органа вида $P_{\text{пор}}(V_n, B)_3 = 3,612 B_3 e^{0,619 B_3 V_n}$. С увеличением ширины захвата шнека мощность и удельные энергозатраты на погрузку возрастают тем интенсивнее, чем выше скорость подачи очистного комбайна. Это обусловлено началом процесса циркуляции разрушенной горной массы, при этом, чем больше ширина захвата шнека, тем процесс циркуляции интенсивнее и наступает при меньших значениях скорости подачи очистного комбайна.

3. Установлено, что удельные энергозатраты на разрушение и погрузку угля шнековым исполнительным органом могут быть существенно снижены путем выбора рациональной ширины захвата шнека для рассматриваемых горно-геологических и горнотехнических условий с сохранением заданной технической производительности.

Библиографический список

1. Горные машины для подземной добычи угля: учеб. пособие для вузов / П. А. Горбатов, Г. В. Петрушкин, Н. М. Лысенко, С. В. Павленко, В. В. Косарев; под общей редакцией П. А. Горбатова. 2-е изд., перераб. и доп. Донецк: Норд Компьютер, 2006. 669 с.
2. Нечепав В. Г. Механо-гидравлические шнековые системы выгрузки и транспортирования. Донецк: ДонНТУ, 2005. 215 с.
3. Бойко Н. Г. Очистные комбайны для тонких пластов. Донецк: ДВНЗ «ДонНТУ», 2010. 476 с.
4. Электрические механизмы перемещения очистных комбайнов В.П. Кондрахин, В.В. Косарев, Н.И. Стадник; под общ. ред. В. П. Кондрахина. Донецк: «Технопарк ДонНТУ «УНИТЕХ», 2010. 257 с.
5. Косарев И. В., Мезников А. В. Повышение производительности очистных комбайнов с вынесенной системой подачи. Международный научно-технический журнал Вестник Донецкого национального технического университета. 2016. №6. С. 19-23.
6. Гуляев В. Г. Проектирование и конструирование горных машин и комплексов. Ч. 1. Выемочные комбайны. (Теория рабочих процессов и методы повышения надежности): учеб. пособие. Донецк: «Технопарк ДонНТУ «УНИТЕХ», 2011. 322 с.
7. Нечепав В. Г. Исследование и определение параметров шнеков с переменным шагом очистных комбайнов для тонких пластов с целью повышения их погрузочной способности: дис... канд. техн. наук. Донецк, 1982. 240 с.
8. Бойко Н. Г. Теория рабочих процессов комбайнов для добычи угля из тонких пологих пластов: автореф. дис... д-ра техн. наук. Донецк, 1985. 31 с.
9. Исполнительные органы очистных комбайнов для тонких пологих пластов / Н. Г. Бойко, А. В. Болтян, В. Г. Шевцов, Н. А. Марков. Донецк: «Донеччина», 1996. 223 с.
10. Проектирование и конструирование горных машин и комплексов / Г. В. Малеев, В. Г. Гуляев, Н. Г. Бойко, П. А. Горбатов, В. А. Межаков. М.: Наука, 1988. 368 с.
11. Солод В. И., Гетопанов В. М., Рачек В. М. Проектирование и конструирование горных машин и комплексов. М.: Недра, 1982. 350 с.

12. Солод В. И., Зайков В. И., Первов К. М. Горные машины и автоматизированные комплексы. М.: Недра, 1981. 503 с.
13. Кантович Л. И., Гетопанов В. И. Горные машины. М.: Недра, 1989. 304 с.
14. Миничев В. И. Угледобывающие комбайны. М.: Машиностроение, 1976. 248 с.
15. Докукин А. В., Модинов В. В., Пшеничный И. Д. Исследование погрузочной способности шнековых исполнительных органов. М.: ИГД им. А.А. Скочинского, 1967. 36 с.
16. Пшеничный И. Д., Модинов В. В. Исследование влияния формы винтовой поверхности на погрузочную способность шнекового органа. В кн.: Научные основы установления рациональных параметров средств выемки и доставки полезных ископаемых. М.: Наука, 1969. С. 59-69.
17. Пшеничный И. Д., Модинов В. В. Исследование движения материала по винтовой поверхности шнекового органа комбайна. В кн.: Научные сообщения ИГД им. А.А. Скочинского. М.: ИГД им. А.А. Скочинского, 1969. Вып. 66. С. 30-39.
18. Корзюков Е. К., Затонских А. Т., Матвеев Н. В. Определение погрузочной способности исполнительного органа комбайна при работе с боковым креном. В кн.: Вопросы механизации горных работ. Кемерово: КузПИ, 1972. № 46. С. 46-51.
19. Вороновский К. Ф. Исследование и установление рациональных параметров шнекового исполнительного органа угольного комбайна для маломощных пластов: дис... канд. техн. наук. М.: Московский горный институт, 1970. 182 с.
20. Исследование и выбор оптимальной формы винтовой поверхности шнекового исполнительного органа комбайна, работающего по падению пласта / В. В. Чефранов, В. Н. Бриллинг, К. О. Миллер и др. В кн.: Научные труды КНИУИ. Караганда, 1972. № 38. С. 68-72.
21. Логинов Л. А., Макаров И. В. О перемещении частицы лопастью шнекового исполнительного органа. В кн.: Научные труды КузПИ. Вопросы механизации горных работ. Кемерово, 1975. № 75. С. 59-62.
22. Беликов К. Н. Экспериментальные исследования погрузочной способности шнекового исполнительного органа выемочных машин. В кн.: Повышение эффективности разработки угольных месторождений Подмосковского бассейна. М.: ИГД им. А.А. Скочинского, 1973. № 16. С. 135-146.
23. Нечепаяев В. Г. Определение рациональных параметров шнеков с переменным шагом очистных комбайнов для тонких пластов, обеспечивающих повышение их погрузочной способности. 1981, № 3127. 25 с. Деп. рукопись / УкрНИИНТИ.
24. Hackelboerger B. Automation of the shearer loader technique – an overview / Hackelboerger B., Hoelling B. // Glueckauf. 2007, № 9, pp. 404-413.
25. Kowal J. Control systems for multiple tool heads for rock mining / Kowal J., Podsiadlo A., Pluta J., Sapinski B. // Acta montanistica slovacica rocnik. 2003, no. 8, pp. 162-167.
26. Tkachov V. Control automation of shearers in term of auger gumming criterion / V. Tkachov, A. Bublikov, M. Isakova // Energy efficiency improvement of geotechnical systems. Dnipropetrovs'k: Taylor & Francis Group, 2013, pp. 137-145.
27. Tkachev V. Automatic control of coal shearer providing effective use of installed power / V. Tkachev, A. Bublikov, N. Stadnik // Power Engineering Control & Information Technologies. Dnipropetrovs'k: Taylor & Francis Group, 2014, pp. 73-87.
28. Atanov G. A. Interior ballistics of impulsive water jet. Proc. Sixth Intern. Symp. Jet Cutting Technol. Guildford. 1982, Apr. 6-8, pp. C5-141-C5-159.
29. Atanov G. A., Petrakov A. I. Impulsive hydrodynamic method of rock breaking. Proc. 6-th Intern. Cont. on Erosion by Liquid and Solid Impact, 1983, pp. 32-1-32-8.
30. Daniel I. M. Experimental studies of water jet impact on rock and rocklike materials. Third Intern. Symp. Jet Cutting Technol. Chicago, 1976, pp. B3/27-D3/46.
31. Edney B. E. Experimental studies of pulsed water jets. Proc. Third Intern. Symp. Jet Cutting Technol. Chicago, 1976. Pp. B2/11-B2/26.
32. Petrakov A. I., Krivorotko O. D. Some experience in developing mining roadways using experimental heading machine with pulsed water jets. Proc. Fourth Intern. Symp. Jet Cutting Technol. Canterbury, 1978, Apr. 12-14, pp. J3-23-J3-36.
33. Atanov G. A. Powder impulsive water jetter. Proceeding of the 11th International Conference on Jet Cutting Technology, St Andrews, Scotland, 8-10 September, 1992, pp. 295-303.
34. Atanov G. A. The Impulsive Water Jet Device: A New Machine for breaking rock. International journal of water jet technology, 1991, v.1, no. 2, pp. 85-91.
35. Atanov G. A. Impulsive hydrodynamic method of breaking rocks and concrete. Water Jet Applications in Construction Engineering, 1998, pp. 73-89.

36. Atanov G. A. & Beshevly B. I. A model of the impulsive water jet device jet. *Int. J. of Water Jet Technology*, 1994, 2:72–77.
37. Atanov G. A. Indexes of breaking rocks by impulsive water jet device. *Proceeding of the International Conference Geomechanics 96, Rožnov P.R. / Czech Republic / 3-6 September, 1996*. Pp. 407–410.
38. Распределение и корреляция показателей физических свойств горных пород: Справочное пособие / М. М. Протодяконов, Р. И. Тедер, Е. И. Ильницкая и др. М.: Недра, 1981. 192 с.
39. 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.
40. Шабаев О. Е. Методика определения удельных энергозатрат разрушения и погрузки очистных комбайнов для тонких пластов в реальных условиях эксплуатации / О. Е. Шабаев, В. Г. Нечепаяев, П. П. Зинченко, А. В. Мезников, А. В. Коваленко // Вестник Донецкого национального технического университета. № 4. 2017. С. 28-33.
41. Шабаев О. Е. Методика определения оптимальной ширины захвата шнекового исполнительного органа очистных комбайнов / О. Е. Шабаев, В. Г. Нечепаяев, П. П. Зинченко // Машиностроение и техносфера XXI века: сб. тр. XXV междунар. науч.-техн. конф. в г. Севастополе, Донецк. 2018. Т. 2. С. 237-243.
42. КД 12.10.040-99. Изделия угольного машиностроения. Комбайны очистные. Методика выбора параметров и расчета сил резания и подачи на исполнительных органах (взамен ОСТ12.44.258-84). Введен с 01.01.2000. Донецк: Минуглепром Украины, 1999. 75 с.

References

1. Gorbatov P. A., Petrushkin G. V., Lysenko N. M., Pavlenko S. V., Kosarev V. V. *Mining machinery for underground coal production. College-level Textbook*. Ed. Gorbatov, P.A., 2nd revised and enlarged edition, Donetsk, Nord Computer Publ., 2006, 669 p. (in Russ.).
2. Nechepayev V. G. *Mechanical-hydraulic auger systems for unloading and transportation*. Donetsk, DonNTU Publ., 2005, 215 p. (in Russ.).
3. Boiko N. G. *Shearers for thin seams*. DVNZ "DonNTU" Publ., 2010, 476 p. (in Russ.).
4. Kondrakhin V. P., Kosarev V. V., Stadnik N. I. *Electric mechanisms for moving shearers*. Ed. Kondrakhin, V.P. Donetsk, "DonNTU Technopark "UNITEKh" Publ., 2010, 257 p. (in Russ.).
5. Kosarev I. V., Meznikov A. V. Improving the performance of shearers with remote feed system. *International Scientific and Technical Journal Bulletin of Donetsk National Technical University*, no. 6, 2016, pp. 19-23 (in Russ.).
6. Gulyaev V. G. *Design and construction of mining machinery and complexes. Part 1. Shearer loaders. (Theory of work processes and methods for improving reliability)*. Textbook. Donetsk, "DonNTU Technopark "UNITEKh" Publ., 2011, 322 p., illustrated (in Russ.).
7. Nechepayev V. G. *Studying and determination of parameters of shearer variable-pitch augers for thin seams for increasing their loading capacity*. Cand. Sci. (Engineering) Dissertation. Donetsk, 1982, 240 p. (in Russ.).
8. Boiko N. G. *Theory of work processes of shearers for extraction of coal from thin flat seams: Extended Abstract of Cand.Sci. (05.17.06 Engineering) Dissertation*. Donetsk, 1985, 31 p. (in Russ.).
9. Boiko N. G., Boltan A. V., Shevtsov V. G., Markov N. A. *Operating devices of shearers for thin flat seams*. Donetsk, "Donechchina" Publ., 1996, 223 p. (in Russ.).
10. Maleev G. V., Gulyaev V. G., Boiko N. G., Gorbatov P. A., Mezhaikov V. A. *Design and construction of mining machinery and complexes*. Moscow, Nauka Publ., 1988, 368 p. (in Russ.).
11. Solod V. I., Getopanov V. M., Rachek V. M. *Design and construction of mining machinery and complexes*. Moscow, Nedra Publ., 1982, 350 p. (in Russ.).
12. Solod V. I., Zaykov V. I., Pervov K. M. *Mining machinery and automated complexes*. Moscow, Nedra Publ., 1981, 503 p. (in Russ.).
13. Kantovich L. I., Getopanov V. I. *Mining Machinery*. Moscow, Nedra Publ., 1989, 304 p. (in Russ.).
14. Minichev V. I. *Coal shearers*. Moscow, Mechanical Engineering Publ., 1976, 248 p. (in Russ.).
15. Dokukin A. V., Modinov V. V., Pshenichny I. D. *Study of the loading capacity of auger operating devices*. Moscow, IGD named after A. A. Skochinsky Publ., 1967, 36 p. (in Russ.).
16. Pshenichny I. D., Modinov V. V. Investigation of the effect of auger surface shape on loading capacity of auger device. In: *The scientific basis for determining rational parameters of operating devices for extraction and transportation of minerals*. Moscow, Nauka Publ., 1969, pp. 59-69 (in Russ.).
17. Pshenichny I. D., Modinov V. V. The study of material movement along the helical surface of auger operating device of shearer. *Proceedings of IGD named after A. A. Skochinsky*. Moscow, IGD named after A. A. Skochinsky Publ., 1969, no. 66, pp. 30-39 (in Russ.).

18. Korzyukov E. K., Zatoniskikh A. T., Matveev N. V. Determination of loading capacity of shearer operating device when working with lateral pitch. In: Problems of mining mechanization. Kemerovo, KuzPI Publ., 1972, no. 46, pp. 46-51 (in Russ.).
19. Voronovsky K. F. Research and determination of rational parameters of auger operating device of coal shearer for thin seams. Cand. Sci. (Engineering) Dissertation. Moscow, Moscow Mining Institute Publ., 1970, 182 p. (in Russ.).
20. Chefranov V. V., Brilling V. N., Miller K. O. et al. Research and selection of optimal shape of helical surface of helical surface of shearer auger operating device at down-dip extracting coal seam. In: KNIUI Proceedings, Karaganda, 1972, no. 38, pp. 68-72 (in Russ.).
21. Loginov L. A., Makarov I. V. On moving a particle by auger operating device blade. In: Problems of mining mechanization, Kemerovo, 1975, no. 75, pp. 59-62 (in Russ.).
22. Belikov K. N. Experimental studies of the loading capacity of shearer auger operating device. In: Improving the efficiency of development of Moscow lignite basin coal deposits. Moscow, IGD named after A.A. Skochinsky Publ., 1973, no. 16, pp. 135-146 (in Russ.).
23. Nechepaev V. G. Determination of rational parameters of shearer variable-pitch augers for thin seams for increasing their loading capacity. 1981, no. 3127, 25 p. Deposited manuscript / UkrNIINTI Publ. (in Russ.).
24. Hackelboerger B. Automation of the shearer loader technique – an overview / Hackelboerger B., Hoelling B. // Glueckauf. 2007, № 9, pp. 404-413.
25. Kowal J. Control systems for multiple tool heads for rock mining / Kowal J., Podsiadlo A., Pluta J., Sapinski B. // Acta montanistica slovacica rocnik, 2003, no. 8, pp. 162-167.
26. Tkachov V. Control automation of shearers in term of auger gumming criterion / V. Tkachov, A. Bublikov, M. Isakova // Energy efficiency improvement of geotechnical systems. Dnipropetrovs'k: Taylor & Francis Group, 2013, pp. 137-145.
27. Tkachev V. Automatic control of coal shearer providing effective use of installed power / V. Tkachev, A. Bublikov, N. Stadnik // Power Engineering Control & Information Technologies. Dnipropetrovs'k: Taylor & Francis Group, 2014, pp. 73-87.
28. Atanov G. A. Interior ballistics of impulsive water jet. Proc. Sixth Intern. Symp. Jet Cutting Technol. Guildford. 1982, Apr. 6-8, pp. C5-141-C5-159.
29. Atanov G. A., Petrakov A.I. Impulsive hydrodynamic method of rock breaking. Proc. 6-th Intern. Cont. on Erosion by Liquid and Solid Impact, 1983, pp. 32-1-32-8.
30. Daniel I.M. Experimental studies of water jet impact on rock and rocklike materials. - Third Intern. Symp. Jet Cutting Technol. Chicago. 1976, pp. B3/27-D3/46.
31. Edney B.E. Experimental studies of pulsed water jets. Proc. Third Intern. Symp. Jet Cutting Technol. Chicago, 1976, pp. B2/11-B2/26.
32. Petrakov A. I., Krivorotko O. D. Some experience in developing mining roadways using experimental heading machine with pulsed water jets. - Proc. Fourth Intern. Symp. Jet Cutting Technol. Canterbury, 1978, Apr. 12-14, pp. J3-23-J3-36.
33. Atanov G. A., Powder impulsive water jetter. Proceeding of the 11th International Conference on Jet Cutting Technology, St Andrews, Scotland, 8-10 September, 1992, pp. 295-303.
34. Atanov G. A., The Impulsive Water Jet Device: A new machine for breaking rock. International journal of water jet technology, 1991, v.1, N2, pp. 85-91.
35. Atanov G. A. Impulsive hydrodynamic method of breaking rocks and concrete. Water Jet Applications in Construction Engineering, 1998, pp. 73-89.
36. Atanov G. A. & Beshevly B. I. A model of the impulsive water jet device jet. Int. J. of Water Jet Technology, 1994, 2:72-77.
37. Atanov G. A., Indexes of breaking rocks by impulsive water jet device. Proceeding of the International Conference Geomechanics 96, Rožnov P.R. / Czech Republic / 3-6 September, 1996. Pp. 407-410.
38. Protodyakonov M. M., Teder R. I., Ilnitskaya E. I. et al. Distribution and correlation of rock physical properties indicators. Reference manual. Moscow, Nedra Publ., 1981, 192 p. (in Russ.).
39. Kudlay R. A. Block for event registration at roadheader./ In: Kudlay, R.A., Meznikov, A.V., Stadnik, N.I. Solution of scientific and technical problems in creation and implementation of modern mining equipment. Donetsk, Astro Publ., 2008, pp. 647-660 (in Russ.).
40. Shabaev O. E. Techniques for determining the specific energy consumption of destruction and loading of shearers for thin layers in real operating conditions./ Shabaev O. E., Nechepaev V. G., Zinchenko P. P., Meznikov A. V., Kovalenko A. V. Bulletin of Donetsk National Technical University, no. 4, 2017, pp. 28-33 (in Russ.).

41. Shabaev O. E. Techniques for determining the optimal width of shearer auger operating device. / Shabaev O. E., Nechepaev V. G., Zinchenko P. P. In: Mechanical Engineering and Technosphere of the XXI Century. Proceedings of the XXV International Scientific and Technical Conference in Sevastopol, Donetsk, 2018, v. 2, pp. 237-243 (in Russ.).
42. KD 12.10.040-99. Coal machine building products. Shearers. Methods for selecting parameters and calculating cutting and feeding forces at operating devices (replaces OST12.44.258-84). Effective from 01.01.2000. Donetsk, Minugleprom of Ukraine, 1999, 75 p. (in Russ.).