

## КОЭФФИЦИЕНТ ЗАПОЛНЕНИЯ ПЛОЩАДИ ОКНА ВЫГРУЗКИ ШНЕКА ОЧИСТНОГО КОМБАЙНА

Тарасевич В.И., канд. техн. наук, доц.,  
Донецкий национальный технический университет,  
Тарасевич А.В., инж., ш. им. «Челюскинцев»

*Приведены некоторые результаты экспериментальных и аналитических исследований выгрузки угля шнеком  $D_u = 0,63$  м, позволившие установить коэффициенты заполнения площади окна выгрузки при различных режимах работы очистного комбайна.*

*Some results of experimental and analytical researches of a unloading coal's  $D_u = 0,63$  m, allowed are given to establish factors of filling of the area of a window of a unloading at various modes of operations of a clearing combine.*

### **Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.**

Добыча полезного ископаемого в настоящее время осуществляется в основном из шахт с большими глубинами залегания угольных пластов: около 1000 и более 1000 м. Работа на больших глубинах обуславливает как значительное повышение затрат энергии при выполнении практически всех технологических процессов, так и использования дополнительных дорогостоящих материалов, механизмов и машин. В связи с этим разработка шахтных полей с тонкими и весьма тонкими угольными пластами действующих шахт приобретает особое, актуальное значение.

В технологической цепи процессов добычи полезного ископаемого из тонких и весьма тонких пластов одной из очень важных и сложных ее составляющих является выгрузка разрушенной массы угля на забойный конвейер. Сложность этой составляющей процесса выемки и выгрузки угля в этом случае заключается в формировании очень малого пространства, в котором должен располагаться высокопроизводительный, надежный и долговечный шнековый исполнительный орган очистного комбайна совместно (в компоновке) с забойным конвейером. Это обстоятельство обуславливает возникновение ряда сложностей при решении задач образования возможно максимального полезного, свободного объема шнека и как можно большей площади окна выгрузки [1, 2, 3], т.е. некоторых параметров,

обеспечивающих формирование высокоэффективного процесса выгрузки. Следовательно, вопрос выгрузки угля на забойный конвейер шнековым исполнительным органом очистного комбайна, предназначенного для работы в условиях тонких и весьма тонких пластов, является актуальным.

#### ***Анализ исследований и публикаций.***

Основными критериями, характеризующими оптимальность исполнительного органа по выгрузке разрушенного угля на конвейер, следует считать достижение максимальной минутной производительности, получаемой по времени частичной его заштыбовки [4], а так же снижение в это время расхода энергии до минимального значения и, следовательно, получение улучшенных показателей по сортности угля, уменьшение массы образования пыли в забое [3], и пр. К числу основных параметров, определяющих достижение оптимальности приведенных критериев, следует отнести, прежде всего, площадь окна выгрузки, характеристику ее использования [3] и заполнения потоком движущегося на конвейер угля как функции скорости перемещения очистного комбайна, частоты вращения шнека, направления его вращения, высоты погрузки. По нашим сведениям в литературе таких данных нет, не проводились исследования в направлении установления коэффициента заполнения площади окна выгрузки как функции некоторых параметров исполнительного органа, на значение минутной производительности выгрузки угля шнеком очистного комбайна ( $Q_v$ , т/мин).

***Постановка задачи:*** экспериментально - аналитически установить величины коэффициентов заполнения площади окна выгрузки шнека диаметром  $D_n = 0,63$  м как функции скорости перемещения комбайна ( $V_n$ ), частоты вращения шнека ( $n_{ш}$ ), высоты погрузки (высоты борта забойного конвейера  $h_{б.к.}$ , перекрывающего окно выгрузки), направления вращения шнека.

#### ***Характеристика условий экспериментальных исследований.***

При проведении эксперимента на натурном (длиной примерно 35 м) стенде ДПИ были выбраны следующие условия выгрузки угля на забойный конвейер:

- высота погрузки варьировалась ступенчато и составляла 0, 75, 133 и 183 мм;
- погрузочный щит отсутствовал, однако за шнеком был установлен в забое неполноразмерный щит, имитирующий корпус комбайна К-103, с зазорами у почвы, кровли и стенки забоя;

- использовался натуральный шнек диаметром  $D_{ш} = 0,63$  м с консольными лопастями, шагом 842 мм, шириной захвата 0,8 м, вылетом резцов 65 мм; этот же шнек после сварки дополнительно ступицы к укороченной (в случае консольных лопастей) использовался затем как шнек со сплошной ступицей;
- основное направление вращения шнека было принято «от почвы к кровле»; дополнительно поводился эксперимент при противоположном направлении вращения;
- высота поступаемого в шнек пласта угля (мощность разрабатываемого пласта) равна была его диаметру,  $H_{пл} = 0,63$  м;
- поворотный корпус редуктора привода шнека комбайна устанавливался, практически, горизонтально, т.е. геометрическая ось редуктора была параллельна горизонтальной верхней полке линейного рештака забойного конвейера;
- частота вращения шнека принималась равной 80 и 115 об/мин;
- в качестве угольного массива использовался антрацит  $A_k$ .

Экспериментальные исследования выгрузки угля предусматривали осциллографирование ряда основных величин:

- скорости перемещения очистного комбайна ( $V_{п}$ , м/мин);
- крутящего момента на валу шнека ( $M_{кр.}$ , Н·м);
- угла поворота шнека ( $\varphi$ , 1/с), частоты его вращения ( $n_{ш}$ , об/мин);
- массы угля: поступающего в шнек ( $m_p$ , т), выгружаемого ( $m_b$ , кг), на забойный конвейер (выгружался в специальный подвижный тензометрический бункер), остающегося на почве пласта ( $m_n$ , т) после прохода комбайна – за шнеком и далее;
- длины хода подвижного бункера, подающего уголь в шнек ( $l_x$ , м).

Кроме этого, в установившемся режиме работы шнека очистного комбайна проводилось фотографирование заполнения углем окна в процессе выгрузки, с последующей обработкой фотографий с целью установления зоны выгрузки и определения величины площади заполнения углем.

**Изложение материала и результаты.** Проведенные экспериментальные исследования и полученные результаты обработки позволили получить зависимости высоты остатка угля на почве пласта

( $h_{п}$ ,  $m$ ) как функции частоты вращения шнека, скорости перемещения комбайна и высоты погрузки.

Кроме этого, были установлены зависимости

$$Q_{в} = f(n_{ш}, V_{п}), M_{кр} = f(n_{ш}, V_{п}), W_{в} = f(n_{ш}, V_{п}).$$

Совместный анализ полученных результатов позволил выявить примерные значения, оптимальные зоны и средние результаты оптимальных критических скоростей перемещения ( $V_{пк}$ ) очистного комбайна. В таблицах 1 и 2 приведены некоторые величины, влияющие на характеристики оптимальной зоны, ее средние оптимальные значения критических скоростей перемещения комбайна. Здесь следует отметить, что задние границы приведенных оптимальных зон критических скоростей перемещения комбайна соответствуют величинам, от которых начинается незначительное, плавное увеличение значений удельных энергозатрат при выгрузке угля. Надо полагать, что именно эту величину скорости перемещения комбайна можно считать началом медленного процесса заштыбовывания шнека. Следовательно, эта граница зоны, этот момент времени соответствует примерному равенству объемов находящегося внутри шнека угля и свободного, полезного объема шнека, т.е. этот момент времени соответствует наступившему динамическому равновесию объемов: свободный, полезный объем шнека равен объему уже находящегося внутри шнека угля (как результата его циркуляции), сложенному с объемом разрушенного резцами от целика угля и также поступившего в шнек. Это позволяет полагать, что шнековый исполнительный орган до этой величины критической скорости перемещения комбайна выгружал уголь на конвейер в установившемся режиме работы. Дальнейшее повышение скорости перемещения комбайна будет соответствовать началу переходного процесса, с последующим возможным началом работы шнека в режиме заштыбовывания.

При определении коэффициента заполнения площади окна выгрузки в установившемся режиме работы шнека, как объекта исследований, рассматривалось условие взаимосвязи массы поступившего из забоя в шнек разрушенного угля, в соответствии с заданной скоростью перемещения комбайна, и вышедшего из шнека угля на забойный конвейер и на почву пласта. В связи с этим процессы переброса, перемешивания, проскальзывания и др. процессы взаимодействия угля со шнеком (происходящие в шнеке в зависимости от угла его поворота) в этом случае не рассматривались,

Таблица 1 – Оптимальные зоны и средние значения оптимальных критических скоростей перемещения для шнека с консольными лопастями, при вращении его «от почвы к кровле»

Высота погрузки, $h_{б.к.}$ , мм	Частота вращения шнека, $n_{ш}$ , об/мин	Оптимальная зона критич. скорости, $V_{Пкр}$ , м/мин	Средняя оптимальная критич. скорость, $V_{Пкр}$ , м/мин	Уд. энергозатраты при средней опт. скорости, $W_{в}$ , кВт·ч/т	Производ. выгрузки при сред. опт. $V_{Пкр}$ , $Q_{в}$ , т/мин	Производ. остатка на почве при средн. $V_{Пкр}$ , $Q_{п}$ , т/мин
0	80	5...5,5	5,25	0,048	3,45	0,33
	115	6...6,5	6,25	0,050	3,66	0,84
75	80	4,5...5	4,75	0,068	3,02	0,40
	115	5,5...6	5,75	0,082	3,26	0,88
133	80	4...4,5	4,25	0,085	2,61	0,45
	115	5...5,5	5,25	0,098	2,88	0,90
183	80	3,5...4	3,75	0,120	2,18	0,52
	115	4,5...5	4,75	0,136	2,23	0,83

Таблица 2 – Оптимальные зоны и средние значения оптимальных критических скоростей перемещения комбайна при выгрузке угля

Высота погрузки, $h_{б.к.}$ , мм	Частота вращения шнека, $n_{ш}$ , об/мин	Оптимальная зона критич. скорости, $V_{Пкр}$ , м/мин	Средняя опт. критич. скорость, $V_{Пкр}$ , м/мин	Уд. энергозатраты при средней опт. крит. скорости, $W_{в}$ , кВт·ч/т	Производ. выгрузки при сред. опт. $V_{Пкр}$ , $Q_{в}$ , т/мин	Производ. остатка на почве при $V_{Пкр}$ , $Q_{п}$ , т/мин
<b>А. Сплошная ступица, вращение «от почвы к кровле»</b>						
0	80	4...5	4,5	0,058	2,88	0,36
	115	5,25...5,75	5,5	0,070	3,12	0,84
133	80	3,75...4,5	4,25	0,105	2,53	0,53
	115	4,75...5,25	5,0	0,117	2,71	0,89
<b>Б. Консольные лопасти, вращение «от кровли к почве»</b>						
133	80	4...4,5	4,25	0,128	2,42	0,64
	115	5...5,5	5,25	0,148	2,66	1,12

так как определялись минутные производительности по входу угля и выходу его (как конечные результаты взаимодействия элементов шнека со всем объемом находящегося внутри его угля). Согласно [4], в установившемся режиме работы шнекового исполнительного органа коэффициент циркуляции является практически постоянным, изменяется незначительно, зависит от переброса частиц угля резцами шнека. Действительно, согласно экспериментальным данным, установленным в ДПИ, производительность при выгрузке угля от переброса резцами через ступицу шнека, возможного прохода некоторой части массы угля между почвой и шнеком («прокатывания» его), составила немного более 10% для шнека  $D_{ш} = 0,8$  м, а при использовании шнека  $D_{ш} = 0,63$  м – менее 10% от величины производительности по выгрузке угля на конвейер с учетом заданных  $n_{ш}$  и  $V_{п}$  комбайна (при этом производительность переброса, практически, не зависит от величины  $V_{п}$ ).

Отмеченные особенности, в первом приближении, позволяют определять коэффициент заполнения площади окна выгрузки до момента времени начала заштыбовки без знания объема циркулирующей массы внутри шнека. Следовательно, в этом случае баланс производительностей можно представить

$$Q_{Pi} = Q_{Vi} + Q_{Пi}, \quad (1)$$

где  $Q_{Pi}$ ,  $Q_{Vi}$  и  $Q_{Пi}$  - соответственно, минутные производительности шнека по разрушению (отбойке) угля, его выгрузки на забойный конвейер и остатка угля на почве (берме) пласта после прохода очистного комбайна.

Приведенные минутные производительности можно представить в виде

$$Q_{Pi} = H_{пл.} \cdot B_3 \cdot \gamma_u \cdot V_{Пi}, \quad (2)$$

$$Q_{Vi} = F_{max.} \cdot \varphi_{зап. i} \cdot V_{пот.}, \quad (3)$$

$$Q_{Пi} = h_{Пi.} \cdot B_3 \cdot \gamma_{рых.} \cdot V_{Пi}, \quad (4)$$

где  $H_{пл.}$  – мощность угольного пласта, разрушаемого резцами шнека, м;

$B_3$  – ширина захвата шнека, установленного на очистном комбайне, м;

$\gamma_u$  – плотность разрабатываемого угольного пласта (целика), т/м<sup>3</sup>;

$V_{Пi}$  – средняя скорость перемещения комбайна, м/мин;

$F_{\max}$  – максимальная площадь окна выгрузки используемого шнекового исполнительного органа,  $m^2$ ;

$\varphi_{зап\ i}$  – коэффициент заполнения площади окна выгрузки;

$V_{пот}$  – средняя скорость потока выгружаемого угля в окне выгрузки,  $m/мин$ ;

$\gamma_{рых}$  – плотность невыгруженного остатка угля на почве (берме) пласта после прохода очистного комбайна,  $t/m^3$ .

Подставив зависимости (2), (3) и (4) в уравнение (1), выполнив некоторые упрощения, получим

$$V_з \cdot \gamma_{рых} \cdot V_{Пi} \cdot (H_{пл} \cdot \lambda - h_{Пi}) = F_{\max} \cdot \varphi_{зап\ i} \cdot V_{осев.лоп} \cdot K_{отс}, \quad (5)$$

где  $\lambda = \frac{\gamma_{ц}}{\gamma_{рых}}$  – коэффициент разрыхления угля. При

использовании в процессе проведения эксперимента антрацита обогатительной фабрики объединения «Шахтерскантрацит», величина этого коэффициента принималась равной примерно 1,71 (согласно данным ДонУГИ);

$V_{осев.лоп}$  – скорость лопасти шнека в осевом направлении, в сторону забойного конвейера,  $m/мин$ ;

$K_{отс} = \frac{V_{пот}}{V_{осев.лоп}}$  – коэффициент, интегрально учитывающий раз-

личное влияние скорости резания по диаметру шнека, проскальзывание, перемешивание и отставание в целом массы выгружаемого на забойный конвейер угля от рабочих элементов шнека в зоне площади окна выгрузки.

Величина приведенного коэффициента  $K_{отс}$  зависит, прежде всего, от частоты вращения шнека, геометрических параметров его несущих элементов, диаметра шнека, высоты погрузки, направления вращения. Практически не оказывают влияния на значение коэффициента величины скоростей перемещения комбайна, работающего в установившемся режиме. Обработка результатов экспериментальных исследований выгрузки угля на конвейер шнеком  $D_n = 0,63$  м, проведенные некоторые расчеты показали, что при изменении скорости перемещения комбайна от 2 до 7  $m/мин$  коэффициент отставания практически не изменялся: изменение его было не более 5% и начиналось это изменение при скорости перемещения более 5  $m/мин$ .

Рассмотрим уравнение (5), используя параметры одного и того же шнека, при двух различных величинах скоростей перемещения (например,  $V_{П1}$  и  $V_{П2}$ ), но не величин скоростей перемещения момен-

та времени начала заштыбовывания. Очевидно, уравнения (5) примут вид

$$B_3 \cdot \gamma_{рых} \cdot V_{\Pi 1} \cdot (H_{пл} \cdot \lambda - h_{\Pi 1}) = F_{\max} \cdot \varphi_{зап 1} \cdot V_{осев.лоп} \cdot K_{отс 1}, \quad (6)$$

$$B_3 \cdot \gamma_{рых} \cdot V_{\Pi 2} \cdot (H_{пл} \cdot \lambda - h_{\Pi 2}) = F_{\max} \cdot \varphi_{зап 2} \cdot V_{осев.лоп} \cdot K_{отс 2}. \quad (7)$$

Разделим уравнение (7) на (6), получим

$$\frac{V_{\Pi 2}}{V_{\Pi 1}} \cdot \left( \frac{H_{пл} \cdot \lambda - h_{\Pi 2}}{H_{пл} \cdot \lambda - h_{\Pi 1}} \right) = \frac{\varphi_{зап 2}}{\varphi_{зап 1}} \cdot \frac{K_{отс 2}}{K_{отс 1}}. \quad (8)$$

Учитывая практическую независимость коэффициента отстаивания от величин скорости перемещения комбайна для установившегося режима работы, можно принять

$$\frac{K_{отс 2}}{K_{отс 1}} \approx 1. \quad (9)$$

Тогда уравнение (8) примет вид

$$\frac{V_{\Pi 2}}{V_{\Pi 1}} \cdot \left( \frac{1 - \frac{h_{\Pi 2}}{H_{пл} \cdot \lambda}}{1 - \frac{h_{\Pi 1}}{H_{пл} \cdot \lambda}} \right) = \frac{\varphi_{зап 2}}{\varphi_{зап 1}}. \quad (10)$$

Используя зависимости  $h_{\Pi i} = f(n_{ш i}, V_{\Pi i})$ , установленные согласно результатам экспериментальных исследований выгрузки угля шнеком  $D_{ш} = 0,63$  м с консольными лопастями, с различными высотами погрузки и направления вращения «от почвы к кровле», приведенное уравнение (10) позволило получить частные значения отношения

$$\frac{\varphi_{зап i}}{\varphi_{зап 1}} = f(V_{\Pi i}). \quad (11)$$

Приняв величину этого отношения за 100%, при конечном значении скорости перемещения комбайна – значении начала процесса заштыбовывания, остальные величины заполнения окна при других  $V_{\Pi i}$  определяются тогда пропорционально принятой конечной величине  $V_{\Pi i}$ . С учетом этого положения были получены результаты, которые позволили построить графики функций

$$\varphi_{зап i} = f(n_{ш i}, h_{б.к. i}, V_{\Pi i}). \quad (12)$$

На рисунке 1 приведены графические зависимости коэффициентов заполнения площади окна выгрузки в процентах при различных скоростях перемещения комбайна, оснащенного двухзаходным шнеком  $D_{ш} = 0,63$  м с консольными лопастями, направлении вращения «от почвы к кровле».



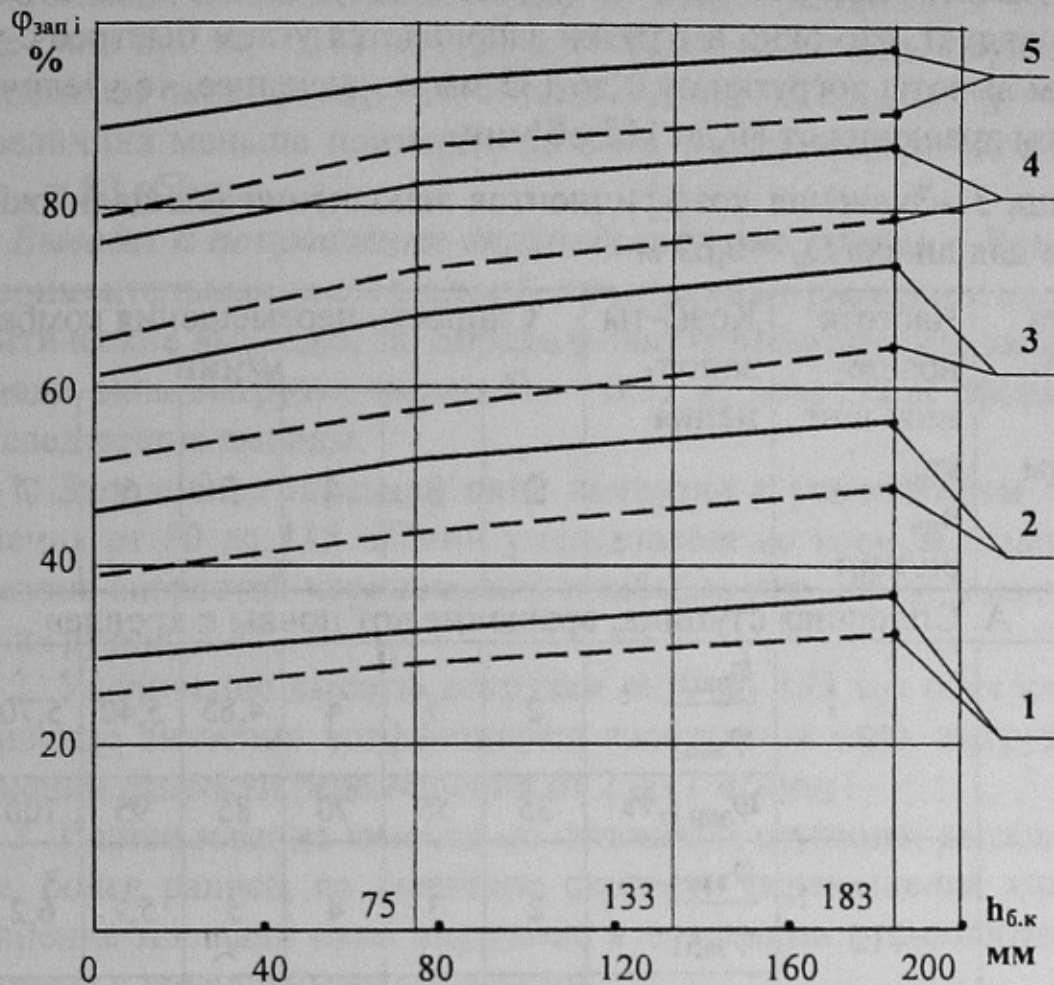


Рисунок 1 – Коэффициент заполнения площади окна выгрузки как функция высоты погрузки и скорости перемещения 1, 2, 3, 4 и 5, соответственно 2, 3, 4, 5 и 6 м/мин,

— при  $n_{ш} = 80$  об/мин  
 - - - при  $n_{ш} = 115$  об/мин

Из рисунка следует, что при частотах вращения шнека 115 об/мин заполнение площади окна выгрузки меньше в сравнении с заполнением окна при  $n_{ш} = 80$  об/мин в исследованном диапазоне скоростей перемещения комбайна и высот погрузки. При этом, увеличение высоты погрузки от 0 до 183 мм и  $n_{ш} = 80$  об/мин, при  $V_{п} = 2$  м/мин, дает увеличение заполнения площади окна выгрузки примерно на 20%. Дальнейшее увеличение скорости перемещения (например,  $V_{п} = 6$  м/мин) дает увеличение примерно на 10%.

В таблице 3 приведены значения коэффициентов заполнения площади окна выгрузки для шнека со сплошной ступицей (А), высотах погрузки 0 и 133 мм, а также коэффициентов заполнения для шнека с консольными лопастями, но вращении его «от кровли к поч-

ве» и высоте погрузки 133 мм (данные «Б»). Из таблицы 3 (данные «А») следует, что окно выгрузки заполняется углем быстрее с увеличением высоты погрузки от 0 до 133 мм и медленнее – с увеличением частоты вращения от 80 до 115 об/мин.

Таблица 3 – Значения коэффициентов заполнения площади окна выгрузки для шнека  $D_{ш} = 0,63$  м

Высота погрузки, $h_{б.к}$ , мм	Частота вращения шнека, $n_{ш}$ , об/мин	Коэф-ты заполнения	Скорость перемещения комбайна, м/мин						
			2	3	4	5	6	7	8
<b>А. Сплошная ступица, вращение «от почвы к кровле»</b>									
0	80	$\frac{\varphi_{зап\ i}}{\varphi_{зап\ l}}$	2	3	4	4,85	5,40	5,70	5,80
		$\varphi_{зап\ i}, \%$	35	55	70	85	95	100	100
		$\frac{\varphi_{зап\ i}}{\varphi_{зап\ l}}$	2	3	4	5	5,7	6,2	6,7
	115	$\varphi_{зап\ i}, \%$	30	45	60	75	85	95	100
		$\frac{\varphi_{зап\ i}}{\varphi_{зап\ l}}$	2	3	3,8	4,5	4,9	5,0	–
		$\varphi_{зап\ i}, \%$	40	60	75	90	98	100	–
133	80	$\frac{\varphi_{зап\ i}}{\varphi_{зап\ l}}$	2	3	4	4,8	5,4	5,8	5,9
		$\varphi_{зап\ i}, \%$	35	50	70	85	95	~100	100
	115	$\frac{\varphi_{зап\ i}}{\varphi_{зап\ l}}$	2	3	4	4,95	5,90	6,65	7,05
		$\varphi_{зап\ i}, \%$	30	40	55	70	85	95	100
<b>Б. Лопасты консольные, вращение «от кровли к почве»</b>									
133	80	$\frac{\varphi_{зап\ i}}{\varphi_{зап\ l}}$	2	3	3,95	4,85	5,50	5,85	–
		$\varphi_{зап\ i}, \%$	35	50	70	85	95	100	–
		$\frac{\varphi_{зап\ i}}{\varphi_{зап\ l}}$	2	3	4	4,95	5,90	6,65	7,05
	115	$\varphi_{зап\ i}, \%$	30	40	55	70	85	95	100

Согласно данным «Б» (таблица 3) можно установить, что заполнение окна при  $n_{ш} = 115$  об/мин идет более медленно, в сравнении с заполнением окна при  $n_{ш} = 80$  об/мин. Так, при скорости  $V_{п} = 4$  м/мин эта величина меньше примерно на 20%, в сравнении с заполнением при  $n_{ш} = 80$  об/мин.

**Выводы и направления дальнейших исследований.** Результаты экспериментальных исследований, проведенные расчеты и некоторые аналитические выкладки по определению коэффициентов заполнения площади окна выгрузки шнека  $D_{и} = 0,63$  м, позволили сформулировать следующие выводы:

1. Заполнение площади окна выгрузки с увеличением частоты вращения от 80 до 115 об/мин уменьшается во всем исследованном диапазоне скоростей перемещения комбайна при одной заданной высоте погрузки;

2. Увеличение высоты погрузки от 0 до 183 мм обуславливает увеличение значения коэффициента заполнения окна выгрузки при изменении скорости перемещения от 2 до 7 м/мин;

3. Использование шнеков со сплошной ступицей вызывает быстрое, более раннее, по величине скорости перемещение комбайна, заполнение площади окна выгрузки, в сравнении с заполнением окна для шнека с консольными лопастями;

4. Изменение направления вращения «от почвы к кровле» на противоположное для шнека с консольными лопастями при высоте погрузки 133 мм практически не оказывает существенного влияния на величину коэффициента заполнения окна выгрузки.

Приведенные результаты исследований позволяют в дальнейшем, при проектировании новых шнеков диаметром  $D_{и} = 0,63$  м, более точно прогнозировать возможную теоретическую минутную производительность шнека при выгрузке угля на забойный конвейер при различных высотах погрузки угля.

Список источников.

1. Погрузка угля очистными комбайнами. Н.Г.Бойко. // Донецк, 2002.- 157 с.
2. Тарасевич В.И., Тарасевич А.В. О процессе формирования окна выгрузки перед лопастью шнека очистного комбайна.- Сб.трудов ДонНТУ. Выпуск 83. Серия: горно-электромеханическая.- Донецк, 2004.- с.279-289.
3. Тарасевич В.И. Повышение производительности выгрузки угля очистными комбайнами для тонких пластов со шнековыми исполнительными органами.- Дис... канд. техн. наук.- Донецк, 1979.- 192 с.
4. Угледобывающие комбайны. В.И.Миничев. // М.: Машиностроение, 1976.- 248 с.