

## ЦИРКУЛЯЦИЯ И КОЭФФИЦИЕНТ ЦИРКУЛЯЦИИ УГЛЯ ДЛЯ ШНЕКОВ МАЛОГО ДИАМЕТРА

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

*Приведены некоторые результаты экспериментальных исследований выгрузки угля шнеком  $D_u = 0,63$  м, позволившие установить средние значения коэффициента циркуляции в площади торца шнека при различных режимах работы очистного комбайна.*

*Some results of experimental researches of a unloading coal drum  $D_u = 0,63$  m, allowed are given to establish average meanings (importance) of factor of circulation in the area of an end face drum at various modes of operations of a clearing combine.*

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

Интенсивное развитие угольной промышленности Украины в настоящее время при наличном парке добычных машин зависит в значительной мере от роста числа добычных забоев, в том числе и в тонких пластах, для работающих угольных шахт. Особенно это актуально для действующих шахт Донбасса с их установленными залеганиями угольных пластов и полей. Успешное решение проблемы требует прежде всего создания надежных, долговечных и высокопроизводительных очистных комбайнов для работы в условиях тонких (или весьма тонких) пластов. Однако, решение этой задачи, как правило, затруднено из-за сложности выгрузки значительных объемов разрушенного угля из рабочего пространства исполнительного органа на забойный конвейер при работе в интенсивных режимах комбайна (повышенных скоростях его перемещения).

В процессе выгрузки разрушенный уголь может перебрасываться через ступицу шнека, повторно затягиваться в его рабочее пространство, подвергаться перемешиванию, дополнительному дроблению, существенному пылеобразованию. При этом удельные энергозатраты выгрузки увеличиваются, а производительность уменьшается. В целом осуществляется процесс, называемый циркуляцией угля. В связи с этим одним из параметров, интегрально характеризующем указанные выше негативные процессы перемещений в шнеке разрушенной массы угля, считается коэффициент циркуляции –  $K_{ц}$ . Коли-

чественная оценка коэффициента циркуляции для шнеков является одним из актуальных вопросов теории и практики.

**Анализ исследований и публикаций.** Проведенные рядом авторов экспериментальные и аналитические исследования циркуляции угля и проблемы определения количественной оценки коэффициента циркуляции для некоторых шнеков не дали полностью решений по поставленной задаче.

В работе [1] указывается влияние коэффициента циркуляции на величину критической скорости перемещения ( $V_{\text{Пкр}}$ ) комбайна – скорости начала заштыбовывания его исполнительного органа. Однако при конкретном, числовом определении  $V_{\text{Пкр}}$  значение коэффициента циркуляции требует знания некоторых данных, устанавливаемых только в результате проведенных экспериментальных исследований процесса выгрузки угля на конвейер. Поэтому величины производительности и удельных энергозатрат выгрузки угля шнеком рекомендуется первоначально устанавливать экспериментом. В связи с этим выявить количественно  $K_{\text{ц}}$  согласно [1] практически невозможно.

Автор работы [2], на основании проведенных экспериментальных исследований выгрузки угля шнеками малого диаметра, установил зависимость  $K_{\text{ц}}$  от некоторых конструктивных параметров шнека и режима работы очистного комбайна, дает выводы по величине  $K_{\text{ц}}$ . Однако здесь следует учесть, что эксперимент проводился на модельном стенде (перемещение поддона с насыпным углем составляло около 1 м) в лабораторных условиях с использованием моделей шнеков, выполненных из материалов химического производства, т.е. с коэффициентами трения уголь-шнек отличными от реальных условий. Поэтому приведенные выводы по  $K_{\text{ц}}$  можно оценивать как ориентировочные.

Аналитическое выражение  $K_{\text{ц}}$  в зоне, прилегающей к разгрузочному торцу шнека, приведено в [3]. Установленная зависимость определения  $K_{\text{ц}}$  можно считать, учитывает влияние всех конструктивных параметров шнека и режима работы очистного комбайна на величину этого коэффициента. Однако практическое использование установленной аналитической зависимости с целью определения количественной характеристики  $K_{\text{ц}}$  представляется сложным. Эта сложность обусловлена необходимостью проведения расчетов ряда величин, функционально зависящих от угла поворота шнека, точного определения приведенных углов трения лопасти шнека об уголь, сортового состава, влажности, состояния выгружаемого угля и др. величин, выраженных в неявном виде. Их определение требует проведения

специальных тензометрических исследований процесса выгрузки угля на забойный конвейер каждым рассматриваемым исполнительным органом очистного комбайна.

Проведенный анализ литературных источников показал, по нашим данным, отсутствие количественных оценок  $K_{ц}$  для натуральных образцов малых шнеков: эксперименты проводились в основном на моделях. Это еще раз показывает актуальность рассматриваемой проблемы.

**Постановка задачи:** используя результаты экспериментальных исследований, установить значения коэффициента циркуляции  $K_{ц}$  на выходе его из шнека (на выходном торце) как функции для различных высот погрузки ( $h_{п}$ ), частоты ( $n_{ш}$ ) и направления вращения шнека.

**Характеристика условий экспериментальных исследований.** Экспериментальные исследования проводились на натурном (длинной около 35 м) стенде ДПИ при следующих условиях выгрузки угля на забойный конвейер:

– высота погрузки  $h_{п}$  варьировалась ступенчато 0,75, 133 и 183 мм; отдельные опыты проводились при  $h_{п} = 203$  мм;

– частота вращения шнека принималась равной 40, 62, 80 и 115 об/мин;

– основное направление вращения шнека было принято «от почвы к кровле»; дополнительно проводился эксперимент для сравнения при противоположном направлении вращения;

– погрузочный щит отсутствовал, однако за шнеком на расстоянии 200 мм до резцов (в диаметральной горизонтальной плоскости шнека) устанавливался корпус, имитирующий вынесенный в забой корпус комбайна К-103 с зазорами у почвы, кровли и стенки забоя (115, 115 и 200 мм); этот корпус выполнял своеобразную роль погрузочного неполноразмерного щита (были зазоры); при частотах вращения 80 и 115 об/мин для шнека с консольными лопастями проводился эксперимент с установкой полноразмерного (зазоры по контуру его отсутствовали) погрузочного щита;

– поворотный корпус редуктора привода шнека устанавливался горизонтально;

– использовался натуральный шнек  $D_{ш} = 0,63$  м с консольными лопастями, шагом  $S = 0,842$  м, диаметром ступицы в консольной части  $d_{ст.конс} = 0,18$  м, шириной захвата  $B_3 = 0,85$  м, двухзаходный с вылетом резцов 65 мм; этот же шнек после сварки дополнительной ступи-

цы в консольной части использовался как шнек со сплошной ступицей с  $d_{ст.сплош} = 0,305$  м;

– мощность разрабатываемого пласта была равна диаметру шнека и составляла  $H_{пл} = 0,63$  м;

– в качестве угольного массива использовался антрацит Ак.

При проведении экспериментальных исследований предусматривалось осциллографирование величин: скорости перемещения комбайна, крутящего момента на валу шнека, частоты его вращения, массы угля, поступающего в шнек, выгружаемого на конвейер, остающегося на почве пласта за шнеком. Эксперимент проводился в установившемся режиме работы очистного комбайна.

**Изложение материала и результаты.** В установившемся интенсивном режиме работы очистного комбайна и высоте погрузки не менее 0,1 м заполнение разрушенным углем выходного, торцевого сечения шнека, как установлено при экспериментальных исследованиях выгрузки угля шнеками малого диаметра [4], можно представить зонами «А» и «В» (рис. 1а). Отмеченное определение зон обусловлено, прежде всего, расположением в забое шнека, корпусом поворотного редуктора его привода и борта забойного конвейера, перекрывающих площадь окна выгрузки, особенно в незабойной стороне опережающего шнека.

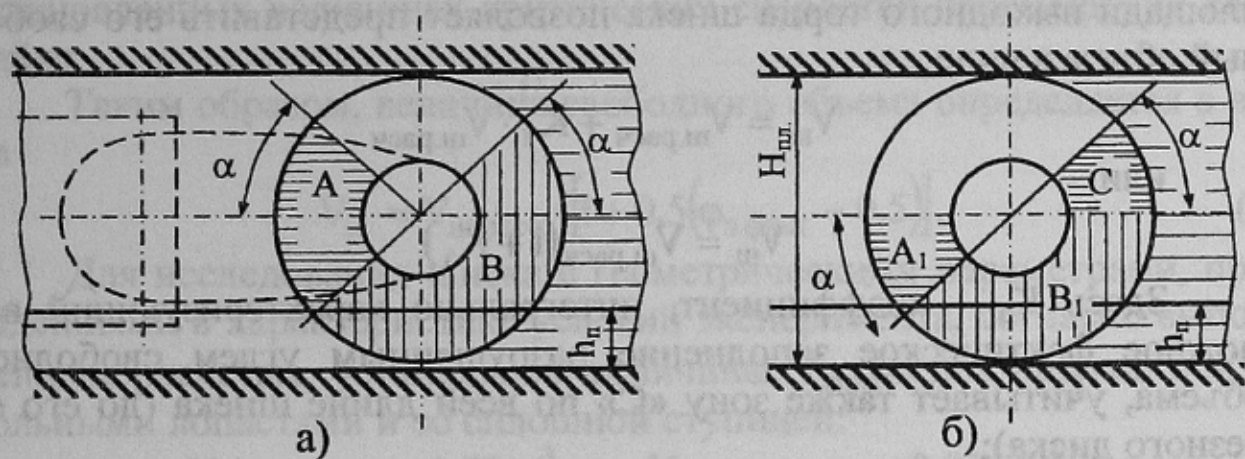


Рисунок 1 – Схемы заполнения выходного торца шнека разрушенным углем:

- а) согласно эксперименту
- б) принятая расчетная схема

В связи с этим масса выгружаемого на конвейер угля из зоны «А» весьма незначительна. Это подтверждается результатами эксперимента, согласно которым из зоны «А» через корпус поворотного редуктора привода шнека на забойный конвейер выгружается не более 5% (подчеркиваем: в интенсивном режиме работы очистного

комбайна) общей массы выгружаемого шнеком угля. Поэтому без особого значения ошибки можно принять допущение: верхней половиной зоны «А» можно пренебречь (см. рис.1б).

Следовательно

$$A_1 = \frac{A}{2} = C. \quad (1)$$

Тогда зону «В» площади выходного торца шнека можно представить как сумму

$$B = B_1 + C, \text{ или } B = B_1 + \frac{A}{2}. \quad (2)$$

Величина угла  $\alpha$  в интенсивных режимах работы комбайна обусловливается трением разрушенного угля при его перемещении к забойному конвейеру о рабочие элементы шнека, почву (или берму), разрушаемую резами поверхность забоя, а также зависит от высоты погрузки, направления и частоты вращения шнека. Согласно результатам экспериментальных исследований выгрузки угля шнеком  $D_n = 0,63$  м, при наиболее интенсивных режимах работы очистного комбайна (скорости перемещения его до  $7 \div 8$  м/мин) и высоте погрузки  $h_n \approx 0,1$  м и более), величина угла составляла примерно  $\alpha \approx 30 \div 40$  град.

Принятая расчетная схема заполнения выгруженным углем площади выходного торца шнека позволяет представить его свободный объем в виде

$$V_{ш} = V_{ш.расч} + K_3 \cdot V_{ш.расч} \quad (3)$$

или

$$V_{ш} = V_{ш.расч} (1 + K_3) \quad (4)$$

Здесь  $K_3$  – коэффициент, интегрально характеризующий возможное фактическое заполнение разрушенным углем свободного объема, учитывает также зону «С» по всей длине шнека (до его отрезного диска);

$V_{ш.расч}$  – расчетный свободный полезный объем шнека, определяется согласно его геометрическим размерам с учетом 100% возможного заполнения зон «А<sub>1</sub>» и «В<sub>1</sub>» по всей длине шнека до отрезного диска (в нашем случае это расстояние  $B = 0,745$  м).

Отмеченное заполнение зон «А<sub>1</sub>» и «В<sub>1</sub>» возможно при условии работы очистного комбайна в установившемся режиме. Очевидно принятая за 100% расчетная величина только нижней части всего свободного объема шнека соответствует возможному заполнению углем этого объема, равному  $\varphi_{з.расч} = 0,5$ . Действительно, фактическое

заполнение свободного объема разрушаемой массой угля с учетом его перемещения к забойному конвейеру (одновременность процессов разрушения и выгрузки как функции угла поворота шнека) происходит от минимума у отрезного диска до максимума у выходного торцевого сечения шнека. Поэтому фактическое изменение возможного заполнения свободного объема углем учитывается величиной  $K_3$ . Кроме этого приведенный коэффициент учитывает возможность использования дополнительного свободного объема, образуемого зоной «С» и длиной шнека  $V$ . В связи с этим коэффициент можно представить в виде

$$K_3 = \frac{1}{2} (\varphi_{3.факт} - \varphi_{3.расч}), \quad (5)$$

где  $\varphi_{3.расч} = 0,5$  – принятый расчетный коэффициент заполнения углем половины площади выходного торцевого сечения шнека при определении расчетной величины свободного его объема;

$\varphi_{3.факт}$  – коэффициент фактического, реального заполнения выходного сечения шнека разрушенным углем, перемещающегося на забойный конвейер.

Величина приведенного коэффициента устанавливается согласно результатам экспериментальных исследований выгрузки угля при определенных схемах работы шнекового исполнительного органа и установленных величинах критических скоростей перемещения комбайна.

Таким образом, величина свободного объема определяется в виде

$$V_{ш} = V_{ш.расч} \cdot [1 + 0,5(\varphi_{3.факт} - 0,5)]. \quad (6)$$

Для исследования шнека с геометрическими параметрами, приведенными в характеристике условий эксперимента, согласно выполненным расчетам, установлены величины  $V_{ш.расч}$  для шнеков с консольными лопастями и со сплошной ступицей:

$$V_{ш.расч.конс} \approx 0,08 \text{ м}^3 \quad \text{и} \quad V_{ш.расч.сплош} \approx 0,074 \text{ м}^3.$$

Следовательно, уравнение (6) примет вид

$$V_{ш.конс} \approx 0,08 \cdot (0,75 + 0,5 \cdot \varphi_{3.факт}) \quad (7)$$

$$V_{ш.сплош} \approx 0,074 \cdot (0,75 + 0,5 \cdot \varphi_{3.факт}) \quad (8)$$

Используя результаты эксперимента и некоторые конструктивные размеры исполнительного органа, величину  $\varphi_{3.факт}$  за один оборот шнека определяем согласно выражению

$$\varphi_{3.факт} = \frac{V_B}{F_{\max} \cdot S \cdot K_{отс}}. \quad (9)$$

Здесь  $F_{\max}$  – максимальная площадь окна выгрузки при заданной высоте погрузки, конструкции ступицы шнека, мощности разрабатываемого пласта;

$V_B$  – объем выгружаемого на забойный конвейер угля за один оборот шнека;

$K_{отс}$  – средний коэффициент отставания в целом массы выгружаемого на конвейер угля от рабочих элементов шнека, определяемый в зоне площади окна выгрузки [5].

При разрушении угольного целика в течение одного оборота шнека образовавшаяся масса разрушенного и поступившего в свободный объем шнека определяется

$$V_p = D_n \cdot B \cdot \lambda_{рыхл} \cdot \frac{V_{Пкр}}{n_{ш}}, \quad (10)$$

где  $B = 0,745$  м – длина шнека; полагается, что уголь, образовавшийся в результате разрушения целика резцами, установленными на отрезном диске, в свободный объем шнека практически не поступает, а остается на почве пласта (или берме);

$\lambda_{рыхл}$  – коэффициент разрыхления угля; для антрацита согласно данным исследований ДонУГИ величина коэффициента принимается равной примерно 1,71;

$V_{Пкр}$  – средняя в оптимальной зоне критическая скорость перемещения комбайна; значение  $V_{Пкр}$  устанавливается согласно результатам эксперимента для исследованных схем работы исполнительного органа, высот погрузки, направления и частот вращения шнека, конструктивного исполнения его ступицы.

Величина  $V_{Пкр}$  устанавливается как минимальное значение скорости перемещения комбайна в оптимальной зоне удельных энергозатрат выгрузки угля на забойный конвейер, т.е. до момента времени начала незначительного роста энергозатрат.

Следовательно, для исследованного шнека выражение (10) можно представить

$$V_p = 0,8 \cdot \frac{V_{Пкр}}{n_{ш}}. \quad (11)$$

Принятая расчетная схема определения свободного, полезного объема шнека в установившемся интенсивном режиме работы комбайна (при выявленном значении  $V_{Пкр}$ ) предполагает, что максимальный свободный объем шнека должен быть больше или, как минимум, равным объему разрушенного угля, находящегося внутри шнека

$$V_{ш.мах} \geq V_{ш.угля}. \quad (12)$$

Очевидно, как наиболее худший вариант работы шнека с учетом его заполнения разрушенным углем, можно рассматривать равенство

$$V_{\text{ш.мах}} = V_{\text{ш.угля}} \quad (13)$$

Объем разрушенного угля, находящегося внутри шнека в течение одного его оборота, можно представить в виде

$$V_{\text{ш.угля}} = V_p + V_{\text{ц}} \quad (14)$$

Здесь  $V_{\text{ц}}$  – объем циркулирующей разрушенной массы угля, находящейся внутри шнека в течение одного его оборота.

В дальнейшем  $V_{\text{ш.мах}}$  будем обозначать через  $V_{\text{ш}}$ , имея ввиду как максимальный свободный объем шнека. Следовательно (13) и (14) можно представить равенством

$$V_{\text{ш}} = V_p + V_{\text{ц}} \quad (15)$$

откуда

$$V_{\text{ц}} = V_{\text{ш}} - V_p \quad (16)$$

Выражение (16) позволяет установить отношение объема циркулирующей массы угля, находящейся в шнеке, к объему вновь разрушенной и поступившей в шнек массы за один его оборот. Это отношение принято обозначать как  $K_{\text{ц}}$  – коэффициент циркуляции угля.

Следовательно

$$K_{\text{ц}} = \frac{V_{\text{ц}}}{V_p} \quad (17)$$

Полученные результаты эксперимента позволили установить средние значения коэффициента циркуляции в торцевой плоскости шнека согласно (17).

На рисунке 2 приведены зависимости средних значений  $K_{\text{ц}}$  как функций частоты вращения шнека с консольными лопастями и со сплошной ступицей по всей его длине, высоты погрузки (0 и 133 мм) при направлении вращения шнека «от почвы к кровле» и отсутствии погрузочного щита. За шнеком был установлен неполноразмерный погрузочный щит. Фактический коэффициент заполнения углем выходного сечения окна выгрузки для всех схем работы исполнительного органа изменялся практически незначительно и составлял  $0,9 \div 0,94$ . Значения коэффициента  $\varphi_{\text{з.факт}}$  устанавливались при средних величинах критических скоростей перемещения комбайна.

Приведенные графические зависимости наглядно показывают рост величины коэффициента циркуляции с увеличением частоты вращения шнека как с консольными лопастями, так и со сплошной ступицей. Крутизна кривых, начиная примерно с  $80 \div 90$  об/мин, увеличивается при дальнейшем росте частоты вращений. Сравнивая зна-



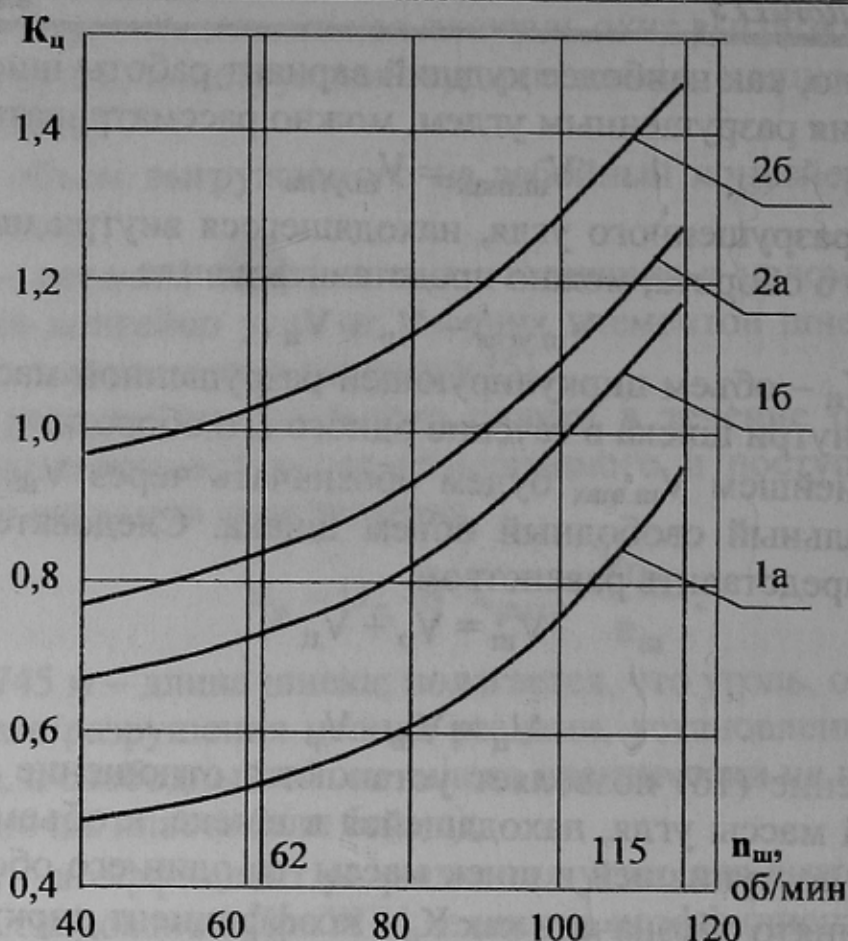


Рисунок 2 – Середні значення коефіцієнта циркуляції угля в залежності від частоти вращения шнека, конструкції його ступиці і висот погрузки, відповідно:

1 і 2 – висоти погрузки 0 мм і 133 мм;

а) і б) – лопасті консольні і сплошна ступиця шнека

чення коефіцієнтів циркуляції угля, установлених для шнеков з консольними лопастями і со сплошної ступицею при рівних висотах погрузки і частотах вращения, можна визначити їх різницю, котра відповідає відношенню

$\frac{D_{ш}^2 - d_{ст.конс}^2}{D_{ш}^2 - d_{ст.сплош}^2}$ . Для досліджуваних

шнеков згідно їх геометричним параметрам  $\frac{0,63^2 - 0,18^2}{0,63^2 - 0,305^2} = 1,2$ .

Дійсно, результат порівняння отриманих коефіцієнтів циркуляції угля показує

$$K_{ц.сплош} \approx 1,2 \cdot K_{ц.конс} \quad (18)$$

В таблиці 1 наведені середні значення коефіцієнтів циркуляції угля для шнека  $D_{ш} = 0,63$  м з консольними лопастями при вращения його «от почвы к кровле». Результати наведені при роботі

очистного комбайна с установленным погрузочным щитом и его отсутствии, но наличии имитирующего корпуса комбайна К-103 (неполноразмерный погрузочный щит).

Анализируя приведенные в таблице данные, можно установить, что установка полноразмерного погрузочного щита обуславливает рост величины коэффициента циркуляции. В частности, при высоте погрузки 183 мм в сравнении с высотой 0 мм коэффициент циркуляции возрастает примерно на 30%. Увеличение частоты вращения шнека с 80 до 115 об/мин и высоте погрузки 183 мм установка полноразмерного погрузочного щита обуславливает рост коэффициента циркуляции угля примерно на 20%.

Таблица 1 – Средние значения коэффициента циркуляции угля для шнека с консольными лопастями

| № пп  | Частота вращения шнека, $n_{ш}$ , об/мин | Коэффициент циркуляции угля $K_{ц}$ при высотах погрузки $h_{п}$ , в мм |      |      |      |
|---|--|---|------|------|------|
|   |  | 0   | 75   | 133  | 183  |
| <u>Отсутствует полноразмерный погрузочный щит</u> |  |   |      |      |      |
| 1   | 80                                       | 0,6   | 0,65 | 0,9  | 1,3  |
| 2   | 115                                      | 0,95  | 1,0  | 1,25 | 1,6  |
| <u>Установлен полноразмерный погрузочный щит</u>  |  |   |      |      |      |
| 3   | 80                                       | 1,05  | 1,1  | 1,35 | 1,75 |
| 4   | 115                                      | 1,4   | 1,5  | 1,7  | 2,1  |

Влияние на величину коэффициента циркуляции угля направления вращения шнека с консольными лопастями и отсутствие полноразмерного погрузочного щита исследовалось при высоте погрузки 133 мм и частотах вращения 80 и 115 об/мин. Полученные результаты показали, что вращение шнека «от кровли к почве» в сравнении с данными противоположного направления вращения обусловило рост значения коэффициента циркуляции угля примерно на 30%. Мощность при выгрузке угля на забойный конвейер в этом случае также возрастала примерно на 30÷35%.

**Выводы и направления дальнейших исследований.** Проведенные экспериментальные исследования выгрузки угля на забойный конвейер шнеком  $D_{ш} = 0,63$  м с консольными лопастями и со сплошной ступицей, с погрузочным щитом и его отсутствием, выполненные расчеты по определению средней величины коэффициента циркуляции угля с учетом некоторых допущений по формированию расчетной схемы заполнения углем объема шнека, позволили сформулировать следующие основные выводы:

1. Увеличение высоты погрузки от 0 до 183 мм обуславливает рост средней величины коэффициента циркуляции угля для всех исследованных частот вращения шнека.

2. Использование шнека со сплошной ступицей по всей его длине в сравнении со шнеком с консольными лопастями вызывает увеличение коэффициента циркуляции. Величину эту можно установить

согласно 
$$\frac{D_{ш}^2 - d_{ст.конс}^2}{D_{ш}^2 - d_{ст.сплош}^2}$$

3. Изменение направления вращения шнека «от почвы к кровле» на противоположное обуславливает рост коэффициента циркуляции примерно на 30%.

4. Установка за шнеком полноразмерного погрузочного щита вызывает рост коэффициента циркуляции для всех исследованных частот вращения шнека (80 и 115 об/мин) и высот погрузки (0÷183 мм).

5. Увеличение частоты вращения шнека от 40 до 115 об/мин обуславливает рост коэффициента циркуляции: самое малое значение  $K_{ц} = 0,47$  установлено при  $n_{ш} = 40$  об/мин и  $h_{п} = 0$  мм, а самое большое значение коэффициента циркуляции  $K_{ц} = 2,1$  установлено при  $n_{ш} = 115$  об/мин и  $h_{п} = 183$  мм и наличии полноразмерного погрузочного щита (лопасти консольные, вращение «от почвы к кровле»).

Приведенные результаты исследований позволяют в дальнейшем, при конструировании новых шнековых исполнительных органов со шнеками диаметром  $D_{ш} = 0,63$  м, более реально проводить выбор частот вращения, устанавливать оптимальную схему работы комбайна для заданной мощности разрабатываемого пласта, проводить выбор направления вращения шнека и т.д. – в целом, прогнозировать достижение необходимой производительности выгрузки угля на конвейер и установления при этом минимальных величин удельных энергозатрат.

Список источников.

1. Угледобывающие комбайны // Миничев В.И. – М.: Машиностроение, 1976.- 248 с.
2. Кальманович З.З. Исследование транспортирующей способности шнековых исполнительных органов угольных комбайнов (на примере комбайнов 1К-101 и 2К-52) // Автореф. канд. техн. наук.- М., 1968.- 20 с.
3. Погрузка угля очистными комбайнами // Бойко Н.Г.- Донецк, 2002.- 157 с.
4. Тарасевич В.И. Повышение производительности выгрузки угля очистными комбайнами для тонких пластов со шнековыми исполнительными органами // Дис. канд. техн. наук.- Донецк, 1979.- 192 с.
5. Тарасевич В.И., Тарасевич А.В. Отставание угля от лопасти в площади окна выгрузки шнека. // Наукові праці ДонНТУ, Вип. 104 – Донецк, 2006. - с.211-218.

Дата поступления статьи в редакцию: 10.10.06