

Математическая модель формирования потоков горной массы комбайнами со шнековыми исполнительными органами малого диаметра

Шабаев О. Е.¹, Нечепавев В. Г.¹, Бридун И. И.¹, Зинченко П. П.^{1*}

¹ Донецкий национальный технический университет, г. Донецк, Россия

*e-mail: pawel.zin4enko@yandex.ru

Реферат

Цель работы – разработка математической модели формирования потоков выгруженной, переброшенной, циркулирующей и остающейся на почве пласта разрушенной горной массы при ее выгрузке из очистных комбайнов со шнековыми исполнительными органами малого диаметра.

Методика. Достижение поставленной цели обеспечивалось на основе системного подхода, при рациональном сочетании теоретических и экспериментальных методов исследований. Математическая модель формирования и взаимодействия потоков разрушенной горной массы базируется на общепризнанных положениях теории выгрузки разрушенной горной массы, а также стендовых исследованиях процесса погрузки шнековыми исполнительными органами малого диаметра.

Результаты. Математическая модель позволяет устанавливать основные закономерности рабочего процесса выгрузки разрушенной горной массы шнековым исполнительным органом и определять для заданных структуры, конструктивных и режимных параметров очистных комбайнов объем разрушенной горной массы, выгружаемый лопастью шнека в течение одного оборота исполнительного органа; объем разрушенной горной массы, перебрасываемый выгружающей лопастью шнека в течение одного оборота исполнительного органа; объем разрушенной горной массы, циркулирующей в рабочем объеме опережающего шнека в течение одного оборота исполнительного органа; объем разрушенной горной массы, остающейся на почве пласта после прохода комбайна; производительность процессов выгрузки, переброса и циркуляции разрушенной горной массы при функционировании шнекового исполнительного органа очистного комбайна, предназначенного для выемки тонких пологих пластов.

Выводы. Разработана адекватная математическая модель формирования потоков погруженной, переброшенной, циркулирующей и оставшейся на почве пласта горной массы, позволяющая с учетом влияния структуры, конструктивных и режимных параметров очистного комбайна определять значения производительности погрузки, переброса, циркуляции и оставшейся на почве пласта горной массы.

Ключевые слова: очистной комбайн; выемка тонких пластов; шнек малого диаметра; процесс выгрузки; циркуляция; поток горной массы.

Введение. В настоящее время уголь является основным энергоносителем, позволяющим полностью удовлетворить потребности экономики и промышленности Донецкого региона. Промышленные запасы угля в регионе, по данным Донецкого государственного научно-исследовательского угольного института (ДонУГИ), составляют 6,84 млрд т, при этом 83,2 % всех угольных пластов имеют мощность 0,55–1,2 м [1]. При добыче угля из пластов такой мощности наиболее рентабельной является выемка с использованием струговых механизированных комплексов [2].

В Донецком регионе применение струговой выемки весьма затруднительно ввиду сложных горно-геологических и горнотехнических условий залегания угольных

пластов. Лишь 127 из 1092 разведанных шахтопластов являются пригодными к выемке с использованием струговых механизированных комплексов [1]. Поэтому при выемке углей в Донбассе преимущественное применение нашли очистные комбайны в составе механизированных комплексов.

При этом наиболее часто применяют очистные комбайны, оснащенные шнековыми исполнительными органами (ИО) малого диаметра. Это обусловлено простотой их конструкции, низкой энергоемкостью, высокой надежностью и приемлемой сортностью добываемого угля, а также хорошей приспособляемостью к обработке границы «уголь–боковые породы».

Однако шнеки малого диаметра характеризуются существенным недостатком – ограниченной погрузочной способностью вследствие малой площади окна выгрузки. В интенсивных режимах работы комбайна часть разрушенной горной массы в процессе выгрузки может перебрасываться через ступицу шнека в его нерабочую зону. Переброшенная горная масса частично размещается в зазорах дополнительного погрузочного устройства [3], а оставшаяся часть повторно перемещается в рабочее пространство шнека, т. е. циркулирует. При этом существенно возрастает энергоемкость процесса выгрузки, снижается сортность угля вследствие дополнительного измельчения, скорость перемещения комбайна ограничивается значениями 1–3 м/мин [4, 5].

Обоснование рациональных структуры и параметров шнековых исполнительных органов малого диаметра, обеспечивающих повышение погрузочной способности, может быть осуществлено на основе математического моделирования.

Анализ последних исследований и публикаций. Созданием математической модели рабочего процесса погрузки отделенной горной массы занимались многие ученые и специалисты [4–12].

Математические модели формирования выгруженной, переброшенной, циркулирующей и оставшейся на почве пласта горной массы, предложенные в [6–11], основаны на теории винтового конвейера. Вместе с тем проведенный на кафедре горных машин Донецкого политехнического института (ДПИ) ряд стендовых экспериментальных исследований процесса погрузки горной массы шнеками малых диаметров показал, что значения погрузочной способности исполнительных органов, полученные экспериментально и с использованием модели винтового конвейера, отличаются между собой в 2–4 раза [4, 5]. Причиной столь значительной разницы является отличие физической картины процесса погрузки разрушенной горной массы шнеками малых диаметров от физической картины функционирования винтового конвейера.

В работах [4, 5] предложено математическое описание формирования потоков погруженной, переброшенной и циркулирующей горной массы с учетом специфики процесса погрузки угля шнековыми исполнительными органами малого диаметра. В этих работах не учитывается формирование остатка непогруженной горной массы на почве пласта, что не дает возможности оценки эффективности шнекового исполнительного органа малого диаметра как погрузочного органа в целом. Установление фактического объема непогруженной и оставшейся на почве пласта горной массы может быть использовано при определении параметров статических лемехов и гидроцилиндров передвижки, которыми оснащается решетчатый став забойных конвейеров.

В работе [12] предложена математическая модель процесса погрузки отделенной горной массы, учитывающая формирование выгруженной, переброшенной, циркулирующей и оставшейся на почве пласта горной массы. Однако в математической

модели остаток горной массы формируется в зоне между разгрузочным торцом шнека и полкой решетки забойного конвейера. Эта зона, как показывает опыт эксплуатации очистных комбайнов, заполнена недогруженной горной массой, оставшейся после передвижки конвейера на «новую машинную дорогу». Объем прошедшего в зазоры угля в предложенной модели определяется в зоне между нерабочей стороной шнека и корпусом поворотного редуктора привода резания. В принятой зоне непогруженная горная масса будет накапливаться в случае интенсивной циркуляции. Все это приводит к неточностям при определении объемов циркулирующей и ушедшей в зазоры горной массы, что скажется на результатах исследований.

Цель исследования – разработка математической модели формирования потоков выгруженной, переброшенной, циркулирующей и оставшейся на почве пласта разрушенной горной массы при ее выгрузке из очистных комбайнов со шнековыми исполнительными органами малого диаметра.

Основной материал исследования. При разработке математической модели формирования потоков погруженной, переброшенной, циркулирующей и оставшейся на почве пласта разрушенной горной массы приняты следующие допущения (обоснованием которых являются обобщение опыта эксплуатации шнековых очистных комбайнов в условиях тонких пологих пластов и общепризнанные положения теории выгрузки разрушенной горной массы в рассматриваемых условиях):

- при перемещении очистного комбайна вдоль линии очистного забоя за ним на почве пласта остается слой разрушенной горной массы высотой $0,5(D_{\text{ио}} - D_y)$, заполняя собой зазоры дополнительного погрузочного устройства ($D_{\text{ио}}$ и D_y – диаметр исполнительного органа и его условный диаметр соответственно, м) [13];

- половина объема горной массы, разрушенной резцами, установленными на отрезном диске шнека, поступает в межлопастное пространство [14]; оставшийся объем остается на почве пласта и располагается в зазорах дополнительного погрузочного устройства [14];

- выгрузка разрушенной горной массы осуществляется без циркуляции при условии, что площадь окна выгрузки и скорость выгружаемого потока обеспечивают полную выгрузку разрушенной и накопленной в рабочем объеме шнека горной массы за один его оборот [4, 5]; в противном случае разница объемов разрушенной и накопленной в рабочем объеме шнека (за вычетом объема горной массы, не захваченной резцами) и выгруженной горной массы будет перебрасываться на его нерабочую сторону;

- переброшенная (на нерабочую сторону шнека) выгружающей лопастью разрушенная горная масса, суммируясь с не захваченной резцами и не поступившей от разрушения отрезным диском шнека горной массой, полностью располагается в зазорах дополнительного погрузочного устройства [4, 5]; при ограниченности площади зазоров (в случаях оснащения комбайна зачистным лемехом или полноразмерным погрузочным щитком) часть не выгруженной после прохода опережающего шнека разрушенной горной массы повторно перемещается в его рабочий объем [14]; остающаяся после прохода опережающего шнека разрушенная горная масса равномерно распределяется по площади зазоров [3];

- переброшенная на нерабочую сторону шнека и не ушедшая в зазоры разрушенная горная масса повторно перемещается в рабочий объем шнека [4, 5]; накоплением горной массы в пространстве между шнеком и вынесенным в уступ забоя корпусом редуктора ввиду малого значения объема можно пренебречь.

С учетом приведенных допущений модель формирования потоков выгруженной, переброшенной, циркулирующей и оставшейся на почве пласта разрушенной

горной массы при выгрузке ее очистным комбайном в условиях эксплуатации в тонких пологих пластах имеет вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} V_{в.об} = \begin{cases} V_{у.об} - V_{р.об} & \text{при } V_{у.об} - V_{р.об} \leq V_{в.ср} \\ \text{иначе } V_{в.ср} \end{cases} \\ V_{п.об} = \begin{cases} 0 & \text{при } V_{у.об} - V_{р.об} \leq V_{в.ср} \\ \text{иначе } V_{у.об} - (V_{р.об} + V_{в.ср}) \end{cases} \\ V_{ц.об} = \begin{cases} 0 & \text{при } V_{р.об} + V_{д.об} + V_{п.об} \leq V_{з.об} \\ \text{иначе } V_{р.об} + V_{д.об} + V_{п.об} - V_{з.об} \end{cases} \\ V_{о.об} = \begin{cases} V_{р.об} + V_{д.об} + V_{п.об} & \text{при } V_{з.об} \geq V_{р.об} + V_{д.об} + V_{п.об} \\ \text{иначе } V_{з.об} \end{cases} \\ Q_{в} = V_{в.об} \cdot n_{об} \cdot N_{зах}; & Q_{пер} = V_{п.об} \cdot n_{об} \cdot N_{зах}; \\ Q_{цир} = V_{ц.об} \cdot n_{об} \cdot N_{зах}; & Q_{ост} = V_{о.об} \cdot n_{об} \cdot N_{зах}. \end{array} \right.$$

где $V_{в.об}$ – объем горной массы, выгруженной через окно выгрузки за один оборот исполнительного органа, м³/об; $V_{у.об}$ – объем горной массы, разрушенной и накопленной за один оборот исполнительного органа, м³/об; $V_{р.об}$ – объем оставшейся на почве пласта разрушенной горной массы (из-за невозможности ее выгрузки резцами опережающего шнека), м³/об; $V_{в.ср}$ – средний объем разрушенной горной массы, выгруженный за оборот шнека, м³/об; $V_{п.об}$ – объем горной массы, переброшенной выгружающей лопастью за один оборот исполнительного органа, м³/об; $V_{ц.об}$ – объем горной массы, циркулирующей в рабочем объеме шнека за один оборот исполнительного органа, м³/об; $V_{д.об}$ – объем горной массы, разрушенной отрезным диском, не попадающей в рабочий объем исполнительного органа, м³/об; $V_{з.об}$ – объем разрушенной горной массы, размещающейся в зазорах дополнительного погрузочного устройства, м³/об; $V_{о.об}$ – объем горной массы, оставшейся на почве пласта за один оборот исполнительного органа, м³/об; $Q_{в}$, $Q_{пер}$, $Q_{цир}$, $Q_{ост}$ – производительность по выгрузке разрушенной горной массы, перебросу, циркуляции и остатку горной массы, не погруженной шнековым исполнительным органом, соответственно, м³/мин; $N_{зах}$ – число лопастей шнека, шт; $n_{об}$ – частота вращения исполнительного органа, об/мин.

Объем горной массы, разрушенной и накопленной в рабочем объеме шнека за один его оборот, определяется по зависимости [5]:

$$V_{у.об} = N_1 \int_{\beta}^{\pi} f_0(\psi) h(\psi) d\psi + N_2 \int_0^{\pi} h(\psi) d\psi + N_3 \int_0^{\beta} h(\psi) d\psi,$$

где N_{1-3} – коэффициенты, $N_1 = ((D_{ио} n_{рез}) / (2N_{зах})) k_p$, м, $N_2 = (D_{ио} / 2) k_d B_d k_p$, м², $N_3 = N_1 (B_3 - B_d)$, м²; ψ – угол поворота исполнительного органа относительно его оси вращения; $f_0(\psi)$ – уравнение расположения резцового инструмента на разрушающей горной массив лопасти [14, 15]; β – угол охвата шнека его лопастью, $\beta = (2C_{ш} - 1)\pi$, рад, $C_{ш}$ – конструктивный параметр шнека [5]; $h(\psi)$ – толщина среза, м; $n_{рез}$ – количество резцов в одной линии резания; k_p – коэффициент

разрыхления разрушенной горной массы; k_d – коэффициент, учитывающий часть отделенной от забоя отрезным диском горной массы, попадающей в рабочее пространство шнека [14]; $B_з, B_d$ – ширина захвата шнека и ширина его отрезного диска соответственно, м.

Объем оставшейся на почве пласта разрушенной горной массы (из-за невозможности ее выгрузки резцами опережающего шнека) определяется по зависимости:

$$V_{p.об} = 0,25(D_{ио} - D_y) B_з \int_0^{\pi} h(\psi) d\psi.$$

Средний объем разрушенной горной массы, перемещаемый через окно выгрузки за один оборот шнека, находится по зависимости [16]:

$$V_{в.ср} = \frac{1}{\eta} \int_{\varphi_{от}}^{\eta} [S_{ок}(\varphi) - S_{вал}(\varphi)] d\varphi \pi d_{ст} \operatorname{tg} \alpha_{л.ст} k_{отс},$$

где $\eta = \pi + \varphi_{от} + \varphi_в$, рад; $\varphi_{от}, \varphi_в$ – угол начала открытия и закрытия окна выгрузки, соответственно, рад [5]; $S_{ок}(\varphi)$ – площадь окна выгрузки, м² [4, 5]; $S_{вал}(\varphi)$ – площадь окна выгрузки, перекрытая «валком» невыгруженной горной массы, м² [4]; $d_{ст}$ – диаметр ступицы исполнительного органа, м; $\alpha_{л.ст}$ – угол наклона лопасти шнека по диаметру ступицы, град; $k_{отс}$ – коэффициент, учитывающий отставание выгружаемой горной массы относительно лопасти шнека [5].

Зависимость для определения объема разрушенной горной массы, размещающейся в зазорах дополнительного погрузочного устройства, имеет вид:

$$V_{з.об} = S_{зз} \frac{v_{п}}{n_{рез} n_{об}},$$

где $S_{зз}$ – площадь зазоров дополнительного погрузочного устройства [3], м²; $v_{п}$ – скорость перемещения комбайна, м/мин.

Зависимость для определения объема горной массы, разрушенной отрезным диском, не попадающей в рабочий объем исполнительного органа, представлена в виде:

$$V_{д.об} = \frac{D_{ио}}{2} B_d (1 - k_d) k_p \int_0^{\pi} h(\psi) d\psi.$$

Адекватность разработанной математической модели оценивалась путем сравнения значений производительности процессов выгрузки, переброса и циркуляции разрушенной горной массы, полученных на основе модельного эксперимента согласно предложенной математической модели, и данных экспериментальных исследований процесса выгрузки разрушенной горной массы на полноразмерном погрузочном стенде [17].

Стенд состоял из следующих основных составных частей (рис. 1): скребковый конвейер СП63М 1; очистной комбайн 1К-101 (режущая часть без механизма подачи 8); механизм подачи «Урал 37» очистного комбайна 3; ленточные конвейеры 9, 10; приемный бункер 7; подвижный бункер на тензометрических опорах 11; перегружатели 5, 6.

При проведении экспериментальных исследований процесса выгрузки опережающим исполнительным органом с изменяемым диаметром на полноразмерном

стенде имитировались следующие параметры комбайновой выемки в условиях тонких пологих пластов [17]:

- мощность вынимаемого пласта принималась равной диаметру шнека;
- частота вращения исполнительного органа составляла 80 об/мин;
- количество резцов в линии резания и лопастей на шнеке – 2;
- направление вращения шнека – от почвы к кровле;
- за исполнительным органом устанавливался элемент, имитирующий вынесенный в уступ забоя корпус комбайна К103М высотой 0,43 м и шириной 0,65 м, выполняющий функцию погрузочного щитка с зазорами;

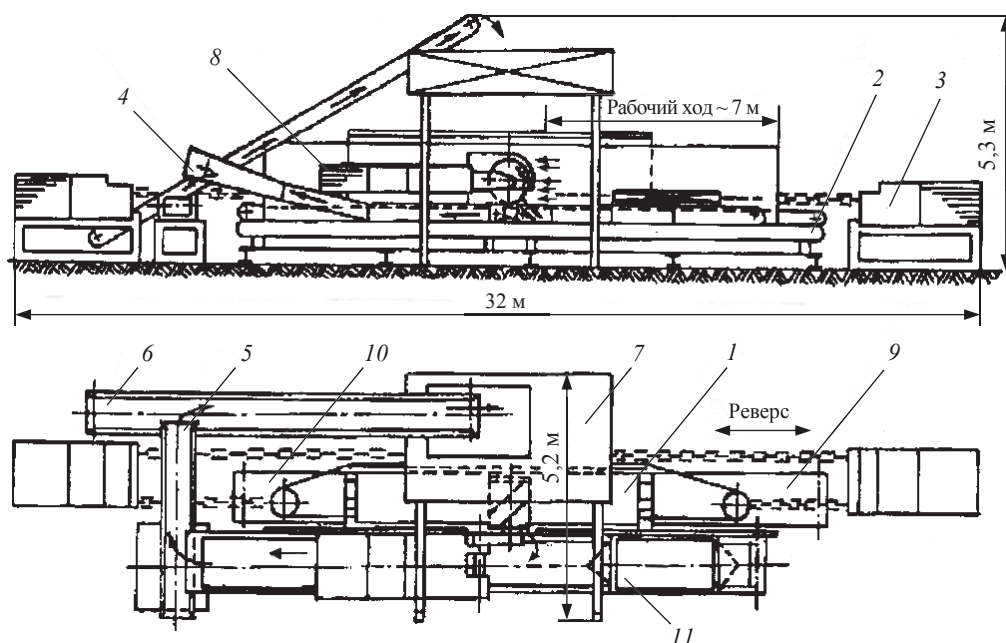


Рисунок 1. Схема полноразмерного погрузочного стенда конструкции Донецкого политехнического института

Figure 1. The scheme of a full-sized loading test bench of the Donetsk Polytechnic Institute design

– при стендовых исследованиях процесса погрузки корпус поворотного редуктора привода исполнительного органа устанавливался горизонтально, имитируя самое неблагоприятное положение для формирования окна погрузки.

Основные геометрические параметры шнековых исполнительных органов при проведении экспериментальных исследований (ИО1 и ИО2) приведены в табл. 1.

Для сравнения результатов стендовых и модельных исследований производительность по выгрузке Q_v , перебросу $Q_{пер}$, циркуляции $Q_{цир}$ и остатку $Q_{ост}$ горной массы, не погруженной шнековым исполнительным органом, приводилась к единой размерности (т/мин) с учетом плотности разрушенного угля в разрыхленном состоянии, которая согласно стендовым исследованиям составила 0,78 т/м³. В табл. 2 приведены результаты модельных и экспериментальных исследований процесса выгрузки разрушенной горной массы шнеками малых диаметров в условиях полноразмерного погрузочного стенда и выполнено их сравнение.

Сравнение показывает, что расхождение результатов модельных и стендовых экспериментов для значений производительности процессов выгрузки, переброса и

циркуляции разрушенной горной массы не превышает 10, 15 и 20 %, соответственно. Следовательно, разработанная математическая модель может быть достоверно использована для установления закономерностей влияния структуры и параметров очистных комбайнов для выемки тонких пологих пластов на показатели эффективности их работы.

Таблица 1. Основные параметры шнекового исполнительного органа
Table 1. The main parameters of the auger executive tool

| Параметр | Исполнительный орган | |
|---|----------------------|-------|
| | ИО1 | ИО2 |
| Диаметр шнека по резцам $D_{ИО}$, м | 0,56 | 0,63 |
| Диаметр ступицы шнека $d_{ст}$, м | 0,30 | 0,32 |
| Угол наклона лопасти шнека по диаметру ступицы $\alpha_{л,ст}$, град | 37 | 40 |
| Ширина захвата шнека $B_з$, м | 0,80 | 0,85 |
| Ширина отрезного диска $B_д$, м | 0,100 | 0,105 |

Таблица 2. Сравнение результатов экспериментальных и модельных исследований
Table 2. Comparison of experimental and model study results

| Скорость $v_{и}$, м/мин | Стенд, т/мин | | | Модель, т/мин | | | | Расхождение результатов, % | | |
|--------------------------|--------------|-----------|-----------|---------------|-----------|-----------|-----------|----------------------------|------------------|------------------|
| | $Q_в$ | $Q_{пер}$ | $Q_{цир}$ | $Q_в$ | $Q_{пер}$ | $Q_{цир}$ | $Q_{ост}$ | $ \Delta_в $ | $ \Delta_{пер} $ | $ \Delta_{цир} $ |
| $D_{ИО} = 0,56 м$ | | | | | | | | | | |
| 2,9 | 1,16 | 1,19 | 0,82 | 1,22 | 1,11 | 0,74 | 0,36 | 5,17 | 6,72 | 9,76 |
| 3,4 | 1,22 | 1,53 | 1,10 | | 1,53 | 1,10 | 0,43 | 0 | 0 | 0 |
| 3,5 | 1,23 | 1,60 | 1,16 | | 1,61 | 1,17 | 0,44 | 0,81 | 0,63 | 0,86 |
| $D_{ИО} = 0,63 м$ | | | | | | | | | | |
| 3,2 | 1,36 | 0,94 | 0,51 | 1,4 | 0,88 | 0,45 | 0,43 | 3,20 | 6,30 | 11,56 |
| 3,4 | 1,44 | 0,96 | 0,51 | | 1,03 | 0,58 | 0,45 | 2,53 | 7,01 | 13,31 |
| 3,5 | 1,44 | 1,06 | 0,59 | | 1,10 | 0,63 | 0,47 | 5,53 | 3,84 | 6,88 |
| 3,6 | 1,28 | 1,32 | 0,84 | | 1,17 | 0,69 | 0,48 | 9,65 | 11,04 | 17,37 |
| 6,0 | 1,44 | 2,86 | 2,06 | | 2,97 | 2,17 | 0,80 | 2,53 | 3,95 | 5,49 |

Выводы. Разработана математическая модель формирования и взаимодействия потоков выгруженной, переброшенной, циркулирующей и оставшейся на почве пласта разрушенной горной массы при выгрузке ее шнековым очистным комбайном в условиях эксплуатации в тонких пологих пластах. Модель позволяет устанавливать основные закономерности рабочего процесса выгрузки разрушенной горной массы шнековым исполнительным органом и определять для заданных структуры, конструктивных и режимных параметров очистных комбайнов:

- объем разрушенной горной массы, выгружаемый лопастью шнека в течение одного оборота исполнительного органа;
- объем разрушенной горной массы, перебрасываемый выгружающей лопастью шнека в течение одного оборота исполнительного органа;
- объем разрушенной горной массы, циркулирующей в рабочем объеме опережающего шнека в течение одного оборота исполнительного органа;
- объем разрушенной горной массы, оставшейся на почве пласта после прохода комбайна;

– производительность процессов выгрузки, переброса и циркуляции разрушенной горной массы при функционировании шнекового исполнительного органа очистного комбайна, предназначенного для выемки тонких пологих пластов.

Установлена адекватность разработанной математической модели. Расхождение результатов моделирования не превышают:

- 10 % для производительности процесса выгрузки разрушенной горной массы;
- 15 % для производительности процесса переброса разрушенной горной массы;
- 20 % для производительности процесса циркуляции разрушенной горной массы.

Разработанная математическая модель может быть достоверно использована для выполнения теоретических исследований, направленных на установление закономерностей влияния структуры и параметров очистных комбайнов для выемки тонких пологих пластов на показатели эффективности их работы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Горные машины для подземной добычи угля / под ред. П. А. Горбатова. Донецк: Норд Компьютер, 2006. 669 с.
2. Гуляев В. Г. Актуальность и проблемы создания автоматизированных струговых комплексов для безлюдной выемки пологих тонких угольных пластов Донецкого бассейна // Вестник Донецкого национального технического университета. 2016. № 6. С. 24–34.
3. Шабаев О. Е., Бридун И. И., Зинченко П. П. Влияние дополнительных погрузочных устройств на производительность очистных комбайнов со шнеками малых диаметров // Социально-экономические и экологические проблемы горной промышленности, строительства и энергетики: матер. 16-й Междунар. конф., 19–20 ноября 2020 г. Тула: ТулГУ, 2020. Т. 1. С. 187–194.
4. Нечепаяев В. Г. Механо-гидравлические шнековые системы выгрузки и транспортирования. Донецк: ДонНТУ, 2005. 215 с.
5. Бойко Н. Г. Очистные комбайны для тонких пластов. Донецк: ДонНТУ, 2010. 476 с.
6. Миничев В. И. Угледобывающие комбайны. Конструирование и расчет. М.: 1976. 248 с.
7. Kuidong Gao, Xin Zhang, Kao Jiang, Yang Yang, Guangjun Yin, Bing Liu. An applied model of minimum rotating speed for drum shearer to avoid drum clogging // Journal of Engineering Research. 2019. Vol. 7. No. 1. P. 1–19.
8. Nguyen K. L., Gabov V. V., Zadkov D. A. Improvement of drum shearer coal loading performance // Eurasian Mining. 2018. No. 2. P. 22–25.
9. Nguyen K. L., Gabov V. V., Zadkov D. A. Improving efficiency of cleanup and coal flow formation on conveyor by shearer loader with accessory blade // Eurasian Mining. 2019. No. 1. P. 37–39.
10. Ayhan M., Eyyuboglu E. M. Comparison of globoid and cylindrical shearer drums' loading performance // The Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy. 2006. Vol. 106. P. 51–56.
11. Nguyen K. L., Gabov V. V., Zadkov D. A., Le T. B. Justification of process of loading coal onto face conveyors by auger heads of shearer-loader machines // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering Volume. 2018. Vol. 327. Art. 042132.
12. Ткачев В. В., Бубликов А. В. Использование имитационного моделирования для исследования системы автоматического управления добычным комбайном. Днепропетровск: НГУ, 2015. 182 с.
13. Тарасевич В. И., Тарасевич А. В. Влияние резцов шнекового исполнительного органа на выгрузку угля из рабочего пространства шнека // Научные труды Донецкого национального технического университета. Сер. Горно-электромеханическая. Вып. 94. Донецк: ДонНТУ, 2005. С. 210–217.
14. Тарасевич В. И. Повышение производительности выгрузки угля очистными комбайнами для тонких пластов со шнековыми исполнительными органами: дис. ... канд. техн. наук. Донецк: 1979. 190 с.
15. Бойко Н. Г., Тарасевич В. И., Нечепаяев В. Г. Заполнение шнека очистного комбайна разрушенным углем // Известия вузов. Горный журнал. 1980. № 4. С. 96–99.
16. Шабаев О. Е., Нечепаяев В. Г., Зинченко П. П. Методика выбора параметров очистных комбайнов со шнеками малых диаметров применительно к заданным горно-геологическим условиям // Вестник Донецкого национального технического университета. 2020. № 3. С. 43–51.
17. Альшиц Я. И., Тарасевич В. И., Нечепаяев В. Г. Стенд для исследования процессов погрузки угля шнековыми исполнительными органами очистных комбайнов // Угольное машиностроение. 1977. № 1. С. 10–12.

Сведения об авторах:

Шабаяев Олег Евгеньевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой горных машин Донецкого национального технического университета. E-mail: oeshabaev@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-0845-7449>

Нечепаяев Валерий Георгиевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой основ проектирования машин Донецкого национального технического университета. E-mail: nechepayev@mech.donntu.ru; <https://orcid.org/0000-0003-4016-1661>

Бридуи Игорь Игоревич – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры горных машин Донецкого национального технического университета. E-mail: ss13835@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-3199-8518>

Зинченко Павел Петрович – кандидат технических наук, доцент кафедры горных машин Донецкого национального технического университета. E-mail: pawel.zin4encko@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-4070-2715>

DOI: 10.21440/0536-1028-2023-5-60-69

Mathematical model of mined bulk flows formation by small-diameter auger executive tools

Oleg E. Shabaev¹, Valerii G. Nechepayev¹, Igor I. Bridun¹, Pavel P. Zinchenko¹

¹ Donetsk National Technical University, Donetsk, Russia.

Abstract

Research objective is to develop a mathematical model of formation of mined bulk flow which was unloaded, shifted, as well as circulating and remaining on the seam floor when it is unloaded from shearers equipped with small-diameter auger executive tools.

Methods of research. The objective has been achieved due to the systems approach under a rational combination of theoretical and experimental research methods. The mathematical model of the mined bulk flows formation and interaction is based on the generally accepted provisions of the mined bulk unloading theory, as well as on bench studies of the process of loading with small-diameter auger executive tools.

Results. The mathematical model makes it possible to establish the main regularities of the mined bulk unloading workflow performed by the auger executive tool. It also allows to determine the volume of the mined bulk unloaded by the auger blade in one revolution of the executive tool for the required structure, design parameters, and operating parameters of shearers; the volume of the mined bulk shifted by the unloading blade of the auger in one revolution of the executive tool; the volume of the mined bulk circulating in the working volume of the leading auger in one revolution of the executive tool; the volume of the mined bulk remaining on the seam floor after shearer's passing; the performance of the processes of the mined bulk unloading, shifting and circulation during the operation of the auger executive tool of the shearer for low flat seams.

Conclusions. An adequate mathematical model has been developed for the flow formation of mined bulk which was unloaded, shifted, as well as circulating and remaining on the seam floor. The model makes it possible to determine the values of the productivity for mined bulk loading, shifting, circulation, as well as for the mined bulk remaining on the seam floor, taking into account the effect of the structure, design parameters, and operating parameters of shearers.

Keywords: shearer; mining of low seams; small-diameter auger; unloading process, circulation; mined bulk flow.

REFERENCES

1. Gorbatov P. A. (ed.) *Mining machines for deep coal mining*. Donetsk: Nord Computer Publishing; 2006. (In Russ.)
2. Guliaev V. G. The relevance and challenges of creating automated plow systems for manless mining of flat thin coal seams of the Donetsk basin. *Vestnik Donetskogo natsionalnogo tekhnicheskogo universiteta* = *Vestnik Donetsk National Technical University*. 2016; 6: 24–34. (In Russ.)
3. Shabaev O. E., Bridun I. I., Zinchenko P. P. The effect of additional loading devices on the capacity of shearers with small-diameter augers. In: *Social-economic and environmental problems of the mining industry*,

construction, and energy industry: Proceedings of the 16th Internat. conf., 19–20 November 2020. Vol. 1. Tula: TulSU Publishing; 2020. P. 187–194. (In Russ.)

4. Nechepaev V. G. *Mechano-hydraulic auger systems of unloading and transportation*. Donetsk: DonNTU Publishing; 2005. (In Russ.)

5. Boiko N. G. *Shearers for low seams*. Donetsk: DonNTU Publishing; 2010. (In Russ.)

6. Minichev V. I. *Coal mining combines. Design engineering*. Moscow; 1976. (In Russ.)

7. Kuidong Gao, Xin Zhang, Kao Jiang, Yang Yang, Guangjun Yin, Bing Liu. An applied model of minimum rotating speed for drum shearer to avoid drum clogging. *Journal of Engineering Research*. 2019; 7(1): 1–19.

8. Nguyen K. L., Gabov V. V., Zadkov D. A. Improvement of drum shearer coal loading performance. *Eurasian mining*. 2018; 2: 22–25.

9. Nguyen K. L., Gabov V. V., Zadkov D. A. Improving efficiency of cleanup and coal flow formation on conveyor by shearer loader with accessory blade. *Eurasian mining*. 2019; 1: 37–39.

10. Ayhan M., Eyyuboglu E. M. Comparison of globoid and cylindrical shearer drums' loading performance. *The Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy*. 2006; 106: 51–56.

11. Nguyen K. L., Gabov V. V., Zadkov D. A., Le T. B. Justification of process of loading coal onto face conveyors by auger heads of shearer-loader machines. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering Volume*. 2018; 327: 042132.

12. Tkachev V. V., Bublikov A. V. *Using simulation modelling to study the automatic control of a mining machine*. Dnipro: NMU Publishing; 2015. (In Russ.)

13. Tarasevich V. I., Tarasevich A. V. The influence of auger executive tool cutters on coal unloading out of the working space. *Nauchnye trudy Donetskogo natsionalnogo tekhnicheskogo universiteta. Ser. gornoelektromekhanicheskaja = Scientific Papers of the Donetsk National Technical University. Series: Mining and Electromechanics*. Issue 94. Donetsk: DonNTU Publishing; 2005. P. 210–217. (In Russ.)

14. Tarasevich V. I. *Improving the capacity of coal unloading with the shearers for low seams equipped with auger executive tools: PhD in Eng. Diss.* Donetsk; 1979. (In Russ.)

15. Boiko N. G., Tarasevich V. I., Nechepaev V. G. Filling the auger of the shearer with crushed coal. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal = News of the Higher Institution. Mining Journal*. 1980; 4: 96–99. (In Russ.)

16. Shabaev O. E., Nechepaev V. G., Zinchenko P. P. The procedure of selecting the parameters of shearers with small-diameter augers as applied to given mining and geological conditions. *Vestnik Donetskogo natsionalnogo tekhnicheskogo universiteta = Vestnik Donetsk National Technical University*. 2020; 3: 43–51. (In Russ.)

17. Alshits Ia. I., Tarasevich V. I., Nechepaev V. G. Research test bench for the processes of coal loading by shearer auger executive tools. *Ugolnoe mashinostroenie = Mechanical Engineering for Coal Industry*. 1977; 1: 10–12. (In Russ.)

Received 19 February 2023

Information about the authors:

Oleg E. Shabaev – DSc (Engineering), Professor, Head of the Department of Mining Machinery, Donetsk National Technical University. E-mail: oeshabaev@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-0845-7449>

Valerii G. Nechepaev – DSc (Engineering), Professor, Head of the Department of Machine Design Foundations, Donetsk National Technical University. E-mail: nechepayev@mech.donntu.ru; <https://orcid.org/0000-0003-4016-1661>

Igor I. Bridun – PhD (Engineering), Associate Professor, associate professor of the Department of Mining Machinery, Donetsk National Technical University. E-mail: ss13835@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-3199-8518>

Pavel P. Zinchenko – PhD (Engineering), associate professor of the Department of Mining Machinery, Donetsk National Technical University. E-mail: pawel.zin4encko@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-4070-2715>

Для цитирования: Шабаяев О. Е., Нечепаяев В. Г., Бридуи И. И., Зинченко П. П. Математическая модель формирования потоков горной массы комбайнами со шнековыми исполнительными органами малого диаметра // Известия вузов. Горный журнал. 2023. № 5. С. 60–69. DOI: 10.21440/0536-1028-2023-5-60-69

For citation: Shabaev O. E., Nechepaev V. G., Bridun I. I., Zinchenko P. P. Mathematical model of mined bulk flows formation by small-diameter auger executive tools. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal = Minerals and Mining Engineering*. 2023; 5: 60–69 (In Russ.). DOI: 10.21440/0536-1028-2023-5-60-69