

Обоснование геометрических и режимных параметров шнековых исполнительных органов, обеспечивающих эффективность погрузки угля на забойный конвейер

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2018-2-00-00>

ГАБОВ Виктор Васильевич

Доктор техн. наук,
профессор кафедры Машиностроения
ФГБОУВО «Санкт-Петербургский горный университет»,
199106, г. Санкт-Петербург, Россия

НГУЕН Кхак Линь

Аспирант кафедры Машиностроения
ФГБОУВО «Санкт-Петербургский горный университет»,
199106, г. Санкт-Петербург, Россия,
e-mail: khaclinhhumg@gmail.com

НГУЕН Ван Суан

Аспирант кафедры Машиностроения,
ФГБОУВО «Санкт-Петербургский горный университет»,
199106, г. Санкт-Петербург, Россия

ЛЕ Тхань Бинь

Аспирант кафедры Машиностроения
ФГБОУВО «Санкт-Петербургский горный университет»,
199106, г. Санкт-Петербург, Россия

ЗАДКОВ Денис Александрович,

Канд. техн. наук,
доцент кафедры Машиностроения
ФГБОУВО «Санкт-Петербургский горный университет»,
199106, г. Санкт-Петербург, Россия

Анализируются процессы выгрузки угля из зоны разрушения и погрузки его на забойный конвейер шнековыми исполнительными органами очистных комбайнов в комплексно-механизированных очистных забоях угольных шахт. Рассмотрены возможности повышения эффективности погрузки угля на забойный конвейер по критериям снижения дополнительного измельчения угля и удельного расхода энергии, что достигается увеличением площади сечения погрузочного окна и объема зоны погрузки на конвейере.

Ключевые слова: подземная добыча угля, комплексно-механизированный очистной забой, комбайн, шнековый исполнительный орган, забойный конвейер, уголь, погрузка, измельчение, эффективность.

ВВЕДЕНИЕ

Шнековый исполнительный орган очистного комбайна в очистных механизированных комплексах (ОМК) выполняет основную функцию – отделение угля от массива и погрузку его на забойный конвейер. Шнековые исполнительные органы отличаются технологичностью работы, компактностью, простотой конструкции, надежностью и долговечностью [1, 2, 3]. Однако отстающим по ходу движения комбайна шнековым исполнительным органам свойственна **неудовлетворительная зачистка почвы**, которая приводит к снижению производительности комбайна, повышению удельного расхода энергии и к дополнительному измельчению угля при погрузке его на конвейер. Основными причинами такого положения являются ограниченные размеры погрузочного окна и большое расстояние между шнеком и конвейером [1, 4, 5]. Проблема заключается в том, что нет технических решений и апробированных методик определения структуры и параметров шнековых исполнительных органов очистных комбайнов, их вписываемости совместно с конвейером и погрузочными щитами в пространство забоя с требуемыми значениями показателей эффективности процесса погрузки отбитого угля на забойный конвейер.

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ШНЕКОВЫХ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ ОРГАНОВ ОЧИСТНЫХ КОМБАЙНОВ

Исследование процесса погрузки и обоснование параметров шнековых исполнительных органов очистных комбайнов, обеспечивающих повышение эффективности погрузочно-транспортирующего процесса, являются актуальной научной задачей.

Перемещение сыпучего материала в горизонтальных и слабонаклонных шнековых погрузочных и транспортирующих механизмах с относительно небольшим коэффициентом заполнения рабочего пространства (до 0,3-0,4) сопровождается формированием перед каждой лопастью тела волочения. Внутри тела волочения происходят циркуляционные процессы, вызванные разнонаправленными силами тяжести, инерции и трения [6, 7]. Этим обусловлен основной недостаток шнековых транспортеров – повышенные энергозатраты на перемещение материала и его дополнительное, вторичное (часто нежелательное) измельчение. Интенсивность циркуляции транспортируемого материала в объеме тела волочения резко возрастает

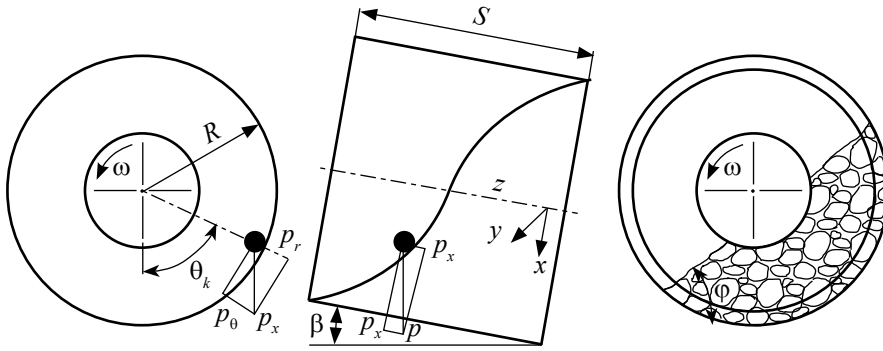


Рис. 1. Массы перемещения в шнеке
Fig. 1. Screw conveyor mass haul

тает при достижении некоторого критического угла отклонения θ_k тела волочения (рис. 1) в направлении вращения шнека, при котором создаются условия для осыпания материала по линии наименьшего сопротивления на его свободной поверхности.

Угол отклонения материала может быть определен по выражению [6]:

$$\theta_x = \arcsin \left[\frac{tg\beta + \frac{f_2 R \omega^2}{g \cos \beta}}{\sqrt{\left[\frac{2\pi R}{S} \left(1 - f_1 \sqrt{ctg^2 \gamma + \left(\frac{S}{2\pi R} \right)^2} + 1 + f_2 ctg \gamma \right) + f_2^2 \right]}} \right] + \arctg \frac{f_2}{\frac{2\pi R}{S} \left(1 - f_1 \sqrt{ctg^2 \gamma + \left(\frac{S}{2\pi R} \right)^2} + 1 + f_2 ctg \gamma \right)}, \quad (1)$$

где: γ – угол наклона оси шнека к горизонтальной плоскости; β – угол наклона оси шнека к горизонтальной плоскости; R – радиус направляющей поверхности, м; S – шаг винтовой линии шнека, м; f_1 – коэффициент трения материала по ограничивающей поток поверхности (поверхности забоя, подпорного щитка, направляющей трубы, скважины); f_2 – коэффициент трения движения материала по лопасти; ω – частота вращения шнека, 1/с; g – ускорение свободного падения, м/с².

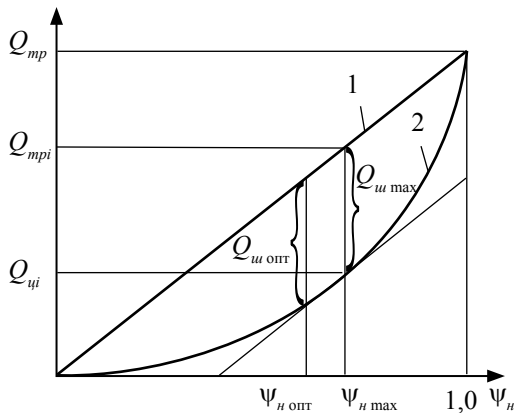


Рис. 2. Зависимость производительности шнекового исполнительного органа по отбитому Q_{mp} и циркулирующему углю $Q_{ци}$ в функции коэффициента заполнения сечения шнека [1]

Fig. 2. Screw operating device broken-down coal Q_{mp} and circulating coal $Q_{ци}$ ratio in the screw conveyor section filling index function [1]

Степень и характер влияния геометрических и режимных параметров шнека и свойств транспортируемого материала на величину θ_k представлены в исследованиях М.С. Сафохина, И.М. Питбаума, В.Н. Вернера и др. [5, 6, 8]. Учитывая приведенные зависимости, можно судить об эквивалентности влияния различных факторов на угол отклонения материала в шнеке по линиям идентичных режимов. Чем больше угол отклонения материала θ_k тем выше интенсивность циркуляции $k_{ци}$.

Заполнение сечения шнека зависит от разности диаметров шнека и его ступицы. Как указано в работах [1, 6], увеличение заполнения шнека приводит к росту коэффициента циркуляции. Значения коэффициента заполнения ψ_n и интенсивности циркуляции $k_{ци}$ существенно зависят от скорости подачи комбайна и диаметра шнека. Кроме того, интенсивность циркуляции зависит от метательной способности шнека, которая возрастает с ростом угла подъема винтовой линии, так как составляющие усилий p_r и p_θ (см. рис. 1), перебрасывающих материал, возрастают с ростом угла подъема винтовой линии α_i . Кривая имеет минимум при значениях $\alpha_i = 18-23^\circ$ [1].

Интенсивность циркуляции материала в процессе погрузки можно оценить коэффициентом циркуляции $k_{ци}$ для любого значения коэффициента заполнения ψ_n :

$$k_{ци} = \frac{Q_{ци}}{Q_{mp} - Q_{ци}}, \quad (2)$$

где: Q_{mp} – производительность шнекового исполнительного органа по отбойке; $Q_{ци}$ – производительность шнека по циркулирующему материалу (рис. 2).

Линия 1 (см. рис. 2) характеризует зависимость производительности шнека по отбитому углю, а линия 2 – объем угля по циркулирующему материалу. Значение ψ_{nmax} определяет величину коэффициента заполнения, превышение которым критического значения приводит к возрастанию объема циркулирующего материала.

В зависимости от направления вращения отстающего шнекового исполнительного органа очистных комбайнов отбитый материал располагается внутри шнекового пространства определенным образом (рис. 3).

При попутном вращении шнека (от почвы к кровле) по отношению к скорости подачи комбайна (см. рис. 3, а) основная масса отбитого угля падает вниз и подается шнеком на забойный конвейер, оставаясь в призабойном рабочем пространстве. В этом случае измельчение угля снижается.

Угол ϕ (см. рис. 3.) зависит от коэффициента трения угля о поверхность лопастей шнека и ступицы и пропорционален отклонению угла в положении материала θ_k . С ростом производительности шнека уровень его наполнения на выходе увеличивается (см. рис. 3, положения I, II).

При встречном вращении шнека (от кровли к почве), по отношению к скорости подачи (см. рис. 2, б), основная масса погружаемого угля располагается со стороны погрузочного щита, образуя угол ϕ с почвой пласта. По мере увеличения скорости подачи комбайна поток угля в шнеке уве-

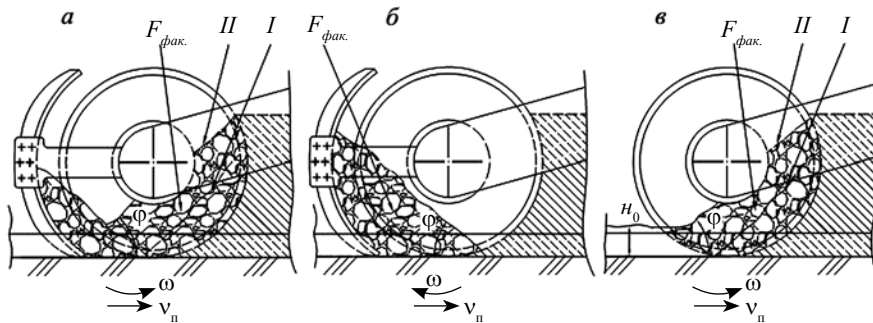


Рис. 3. Схемы расположения отбитого угля в рабочем пространстве отстающего шнека

Fig. 3. Diagrams of broken-down coal layout in the second advance screw conveyor work space

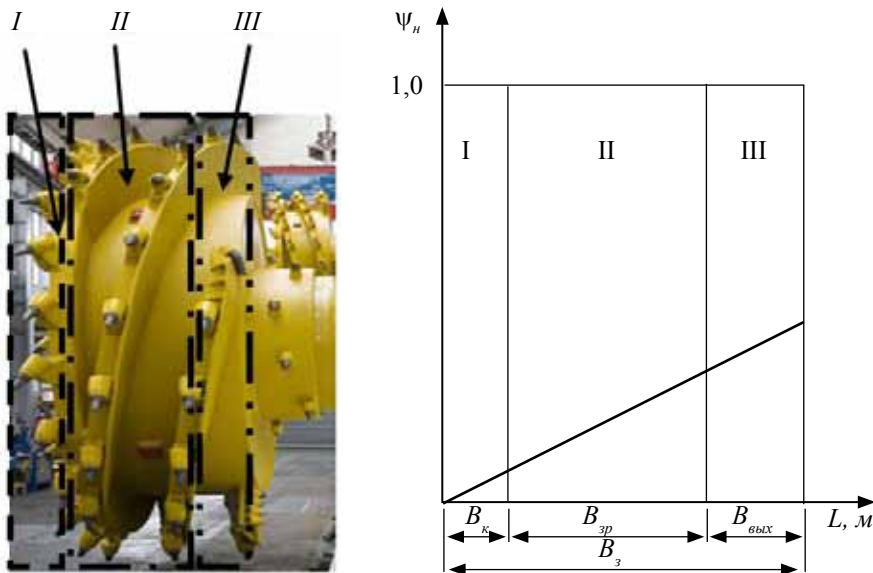


Рис. 4. Коэффициент заполнения сечения шнека по ширине захвата B_3

Fig. 4. Coefficient of screw conveyor cross-section filling by B_3 web width.

личивается. Скорость потока при постоянных значениях частоты вращения, числа заходов и хода шнека будет неизменной. Возможен момент, когда материал будет скатываться на обечайку шнека и перекидываться в зону зачистного щитка. Здесь он или остается на почве пласта при отсутствии зачистного щитка (рис. 3, в), увеличивая высоту непогруженного слоя H_0 [1], либо будет собираться движущимся щитком и подаваться шнеком на конвейер и частично увлекаться в зону рабочего пространства шнека, образуя поток циркулирующего материала.

На рис. 3 показано, что поток угля не выгружается по всей площади сечения шнека. Зона его выгрузки зависит от геометрических и режимных параметров шнека. В реальных конструкциях площадь погрузочного окна ограничена в зоне выгрузки диаметром ступицы шнека, высотой борта забойного конвейера и размерами корпуса редуктора шнека. Ограниченные размеры окна увеличивают сопротивление перемещению угольного потока, что приводит к повышению коэффициента заполнения шнека.

При встречном вращении (см. рис. 3, а, в) и увеличении скорости подачи увеличивается площадь потока угля, расположенного в рабочем пространстве шнека [10, 11, 12]. Увеличение высоты потока приводит к росту циркуляции угля в рабочем пространстве шнекового исполнитель-

ного органа. При детальном рассмотрении процесс погрузки в целом по физической его сущности может быть представлен тремя разными процессами, проходящими в смежных зонах I, II, III (рис. 4).

Значения коэффициента заполнения и интенсивность циркуляции материала в шнеке изменяются по ширине захвата B_3 (см. рис. 4). В кутковой зоне I, поток отделенного от массива угля мал, не сформировано тело волочения, повышены метание, циркуляция и измельчение угля. В зоне II (зона разрушения массива забойными резцами) коэффициент заполнения шнека возрастает, формируется тело волочения. В зоне III (выгрузки угля на конвейер) коэффициент заполнения шнека увеличивается из-за подпора потока, что вызывается ограниченной пропускной способностью погрузочного окна.

При попутном вращении шнека поток расположен между почвой и щитком (см. рис. 3, б). При равной производительности шнеков по отбойке угля высота потока в этом случае ниже, чем при встречном движении, при этом снижается интенсивность циркуляции. Вместе с тем увеличение площади потока снижает его скорость.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исходя из вышеизложенного, можно сделать следующие выводы:

- процесс погрузки угля на конвейер недостаточно исследован, существенно значимые затраты энергии, попутное измельчение угля и пылеобразование оказывают негативное влияние на эффективность процесса добычи;
- исследуемый процесс перемещения угля на конвейер шнековым исполнительным органом следует рассматривать состоящим из трех сопряженных процессов: выгрузки угля из кутковой зоны; транспонирования угля лопастями вдоль шнека по ширине захвата и продавливания сыпучего груза на конвейер через окно погрузки;
- необходимы исследования влияния коэффициента заполнения шнека и размера площади погрузочного окна на интенсивность циркуляции угля и эффективность процесса погрузки;
- необходимы поиск и разработка технических решений, обеспечивающих уменьшение интенсивности циркуляции и измельчения угля, уменьшение сопротивления его перемещению увеличением окна погрузки.

Список литературы

1. Солод В.И., Гетопанов В.Н., Рачек В.М. Проектирование и конструирование горных машин и комплексов. М.: Недра, 1982. 350 с.
2. Wang F., Tu S., Bai Q. Practice and prospects of fully mechanized mining technology for thin coal seams in

China // Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy. 2012. Vol. 112(2). P. 161-170.

3. Peng S.S. Longwall Mining. U.S.: 2nd edition, October 2006. 621 p.

4. Беликов К.Н. Экспериментальные исследования погрузочной способности шнекового исполнительного органа выемочной машины // Сборник научных трудов ПНИУИ. 1973. Вып. 16. С.135-146.

5. Шпитбаум И.М. Определение режимов работы слабо-наклонного винтового конвейера // Вестник машиностроения. 1970. №4. С. 8-14.

6. Вернер В.Н. Исследование и обоснование рациональных параметров шнековых погрузочно-транспортирующих органов выемочных машин: дис. ...доктора. техн. наук. Кемерово, 1999. 319 с.

7. Банников А.А. Снижение усилий отделения угля от массива совершенствованием привода реза выемочного модуля: дис. ...канд. техн. наук. СПб: Горный университет, 2012. 157 с.

8. Машины и инструмент для бурения скважин в угольных шахтах / М.С. Сафохин, Б.А. Катанов, В.Е. Тарасенко, А.А. Алейников. М.: Недра, 1972. 216 с.

9. Ayhan M. и 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.

10. Kuidong Gao, Changlong Du, Jianghui Dong и Qingliang Zeng. Influence of the Drum Position Parameters and the Ranging Arm Thickness on the Coal Loading Performance // Minerals. 2015. Vol. 5. P. 723-736. doi: 10.3390/min5040520

11. Skryabin R.M., Timofeev N.G. Development of an innovative shneko-heat-sink boring shell for drilling of shurfowells in the conditions of a kriolitizona // Eurasian mining. 2016. N 1. P. 33-36.

12. Zvonarev I.E., Shishlyannikov D.I. Efficiency improvement of loading of potassium ore by means of «Ural-20R» heading-and-winning machine // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2017. Vol. 87. 022025.

UDC 622.232.72.054:622.647.1 © V.V. Gabov, K.L. Nguyen, V.X. Nguyen, T.B. Le, D.A. Zadkov, 2018
ISSN 0041-5790 (Print) • ISSN 2412-8333 (Online) • Ugol' – Russian Coal Journal, 2018, № 2, pp. 00-00

COAL MINING EQUIPMENT

Title THE RATIONALE OF GEOMETRIC AND MODAL PARAMETERS OF CUTTER DRUMS ENSURING THE EFFICIENCY OF COAL LOADING ONTO A DOWNHOLE CONVEYOR

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2018-2-00-00>

Authors

Gabov V.V.¹, Nguyen K.L.¹, Nguyen V.X.¹, Le T.B.¹, Zadkov D.A.¹

¹ "Saint-Petersburg Mining University" (Mining University), the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education (FSBEI HE), Saint-Petersburg, 199106, Russian Federation

Authors' Information

Gabov V.V., Doctor of Engineering Sciences, Professor, Department of mechanical engineering,

Nguyen K.L., Postgraduate student of the mechanical engineering, e-mail: khaclinhhumg@gmail.com

Nguyen V.X., Postgraduate student of the mechanical engineering,

Le T.B., Postgraduate student of the mechanical engineering

Zadkov D.A., PhD (Engineering), Associate professor, Department of mechanical engineering,

Abstract

Processes of coal unloading from destruction zone and its loading onto the downhole conveyor by cutter drum of shearer in complex-mechanized clearing faces of coal mines are analyzed. Possibilities of increasing efficiency of coal loading on the downhole conveyor by reduction criteria of additional grinding and specific energy consumption by increasing of the sectional area of loading window and volume of the loading zone on the conveyor are considered.

Figures:

Fig. 1. Screw conveyor mass haul

Fig. 2. Screw operating device broken-down coal Q_{mp} and circulating coal Q_u ratio in the screw conveyor section filling index function [1]

Fig. 3. Diagrams of broken-down coal layout in the second advance screw conveyor work space

Fig. 4. Coefficient of screw conveyor cross-section filling by B_1 web width.

Keywords

Coal, Underground mining, Clearing face, Shearer, Cutter drum, Conveyor, Loading, Efficiency.

References

1. Solod V.I., Getopanov V.N. & Rachek V.M. *Proektirovanie i konstruirovaniye gornyh mashin i kompleksov* [Mining machines and complexes design and construction]. Moscow, Nedra Publ., 1982, 350 p.

2. Wang F., Tu S. & Bai Q. Practice and prospects of fully mechanized mining technology for thin coal seams in China. *Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy*, 2012, Vol. 112(2). pp. 161-170.

3. Peng S.S. Longwall Mining. U.S.: 2nd edition, October 2006. 621 p.

4. Belikov K.N. Eksperimentalnye issledovaniya pogruchnoy sposobnosti shnekovogo ispolnitelnogo organa vyemochnoy mashiny [Experimental studies of mining machine screw operating device loading capacity]. *PNIUI collection of scientific papers*, 1973, issue 16, pp.135-146.

5. Shpitbaum I.M. Opredelenie rezhimov raboty slabonaklonnogo vintovogo konveyera [Low inclined screw conveyor operation modes determination]. *Vestnik mashinostroyeniya – Machine Building Newsletter*, 1970, No. 4, pp. 8-14.

6. Vermer V.N. *Issledovanie i obosnovanie ratsionalnykh parametrov shnekovykh pogruchno-transportiruyushchih organov vyemochnykh mashin*. Diss. dokt. techn. nauk [Mining machines screw loading and conveying devices rational parameters investigation and substantiation. Dr. eng. sci. diss.]. Kemerovo, 1999, 319 p.

7. Bannikov A.A. *Snizhenie usilii otdeleniya uglya ot massiva sovershenstvovaniem privoda reztsa vyemochnogo modulya*. Diss. kand. techn. nauk. [Coal breaking off force reduction through mining block cutter actuator improvement. PhD (Eng.) diss.]. St-Petersburg, Mining University Publ., 2012, 157 p.

8. Safokhin M.S., Katanov B.A., Tarasenko V.E. & Aleinikov A.A. *Mashiny i instrument dlya bureniya skvazhin v ugolnykh shahtah* [Coal mines borehole drilling machines and tools]. Moscow, Nedra Publ., 1972, 216 p.

9. 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, pp. 51-56.

10. Kuidong Gao, Changlong Du, Jianghui Dong & Qingliang Zeng. Influence of the Drum Position Parameters and the Ranging Arm Thickness on the Coal Loading Performance. *Minerals*, 2015, Vol. 5, pp. 723-736. doi: 10.3390/min5040520

11. Skryabin R.M. & Timofeev N.G. Development of an innovative shneko-heat-sink boring shell for drilling of shurfowells in the conditions of a kriolitizona. *Eurasian mining*, 2016, No. 1, pp. 33-36.

12. Zvonarev I.E. & Shishlyannikov D.I. Efficiency improvement of loading of potassium ore by means of "Ural-20R" heading-and-winning machine. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2017, Vol. 87.