

К вопросу назначения отдельных параметров нагрбающих звезд погрузочных органов проходческих комбайнов

Н.Б. Афонина¹, А.В. Отроков¹✉, Г.Ш. Хазанович²

¹ Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) им. М.И. Платова, г. Новочеркасск, Российская Федерация

² Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация
✉ oav711@gmail.com

Резюме: Современные проходческие комбайны избирательного действия в большинстве своем оснащаются погрузочными органами с нагрбающими звездами, имеющими более простую конструкцию привода и повышенную надежность. В результате проведенных экспериментальных исследований в ЮРГПУ (НПИ) установлено, что при определенных условиях возможен перевод крупнокускового материала штабеля в псевдосжиженное состояние, что уменьшает энергоемкость погрузки материала. Увеличение количества лучей нагрбающей звезды снижает влияние остальных параметров погрузочного органа. Анализ процесса взаимодействия луча нагрбающей звезды с бортом приемного конвейера показал, что для исключения заклинивания нагрбающей звезды куском материала с реализацией высоких динамических нагрузок необходимо устанавливать нагрбающие лучи под углом не менее 60° против вращения.

Ключевые слова: проходческий комбайн, погрузочный орган, нагрбающие звезды, математическая модель, текучесть материала

Для цитирования: Афонина Н.Б., Отроков А.В., Хазанович Г.Ш. К вопросу назначения отдельных параметров нагрбающих звезд погрузочных органов проходческих комбайнов. *Горная промышленность*. 2021;(5):90–93. DOI: 10.30686/1609-9192-2021-5-90-93.

On the question of the appointment of separate parameters of the roadheaders gathering-stars loading organs

N.B. Afonina¹, A.V. Otkov¹✉, G.Sh. Khazanovich²

¹ Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI), Novocherkassk, Russian Federation

² Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russian Federation
✉ oav711@gmail.com

Abstract: Most modern roadheaders of selective action are equipped with loading devices with gathering-stars, which have a simpler drive design and increased reliability. As a result of the experimental studies carried out at SRSPU (NPI), it was found that under certain conditions, it is possible to transfer large lump material of a pile into a fluidized state, which reduces the energy consumption of material loading. An increase in the number of beams of the gathering-stars reduces the influence of the other parameters of the loader. Analysis of the process of interaction of the gathering-star's beam with the receiving conveyor's side edge to avoid jamming of the picking gathering-star by a lump of material with the implementation of high dynamic loads, it is necessary to set the gathering-beams at an angle of at least 60 degrees against rotation.

Keywords: roadheader, loading organ, gathering-star, mathematical model, bulk material fluidization

For citation: Afonina N.B., Otkov A.V., Khazanovich G.Sh. On the question of the appointment of separate parameters of the roadheaders gathering-stars loading organs. *Gornaya promyshlennost = Russian Mining Industry*. 2021;(5):90–93. (In Russ.) DOI: 10.30686/1609-9192-2021-5-90-93.

Введение

Погрузочные органы с нагрбающими звездами широко применяются в составе подземных погрузочных машин и горнопроходческих комбайнов избирательного действия. Такие погрузочные органы отличаются простотой конструкции и повышенной надежностью в сравнении с более традиционными погрузочными органами с нагрбающими лапами с приводом от кривошипно-кулисного или кривошипно-рычажного механизмов.

Однако многообразие конструкций погрузочных органов с нагрбающими звездами выпускаемых проходческих комбайнов и непрерывно ведущиеся научные исследова-

ния в России и за рубежом [1–6] подтверждают важность разработки инженерной методики проектирования таких погрузочных органов.

В результате проведенных в ЮРГПУ (НПИ) исследований [7] разработана инженерная методика [8] выбора основных параметров погрузочных органов с нагрбающими звездами. Но в разработанной методике не обоснован выбор количества лучей нагрбающих звезд и угла их установки. От этих параметров значительно зависит разгрузочная способность нагрбающих звезд на приемный конвейер и, следовательно, производительность погрузки горной массы.

Одной из задач при назначении параметров является снижение вероятности заклинивания куска погружаемого материала между бортом приемного конвейера и лучом нагребающей звезды с возникновением высоких динамических нагрузок. Производители проходческих комбайнов подтверждают наличие этой проблемы, но в отсутствии соответствующих методик увеличивают межосевое расстояние нагребающих звезд и/или устанавливают нагребающие звезды с загнутыми назад (против направления вращения) лучами. Данное решение снижает погрузочную способность погрузочного органа и приводит к непроизводительному перемещению части захваченного и не переданного на конвейер материала вслед за движением лучей нагребающей звезды.

Таким образом, вопрос выбора оптимального сочетания конструктивных и кинематических параметров погрузочных органов с нагребающими звездами является актуальным.

Математические модели производительности и нагрузок

Математическая модель [9] содержит зависимости производительности и крутящего момента на валу нагребающей звезды от частоты вращения нагребающей звезды n , ее диаметра d_{gs} , длины l , эквивалентной высоты h_d луча, количества лучей Z , угла установки лучей Θ , глубины внедрения погрузочного органа, зависящей от номера черпания или оборота звезды N и представляет собой сложные регрессионные зависимости. Причем степень влияния высоты луча, угла его установки и количества лучей учитывается через соответствующие эмпирические зависимости [9].

Математическая модель взаимодействия нагребающей звезды с приемным конвейером

В результате проведенных исследований [10] разработанная математическая модель взаимодействия отдельного выделенного куска материала одновременно с конвейером, лучом нагребающей звезды и бортом конвейера (рис. 1). В модели принято допущение, что на кусок матери-

ала действуют только сила собственного веса, движущие силы конвейера и луча нагребающей звезды, а также силы трения скольжения и сила лобового сопротивления от лежащего выше по конвейеру материала.

При принятых допущениях условием заклинивания куска материала является следующее соотношение [10]:

$$F_c + F_b^{(y)} > F_{f,c} + m \cdot g \cdot \sin(\alpha) + F_p + F_{f,b}^{(y)} + F_{f,c,s}, \quad (1)$$

где F_c – сила взаимодействия скребка приемного конвейера с куском материала, Н; F_b – сила взаимодействия луча нагребающей звезды с куском материала ($F_b^{(y)}$ и $F_b^{(x)}$ ее проекции на оси y и x , соответственно; $F_b^{(N)}$ – проекция на нормаль к лучу нагребающей звезды), Н; $F_{f,c}$ – сила трения между куском материала и днищем конвейера (или между куском материала и слоем материала, находящегося на конвейере), Н; m – масса куска материала, кг; g – ускорение свободного падения, м/с²; α – угол наклона питателя погрузочного органа, град.; F_p – сила сопротивления расположенных выше на конвейере кусков на рассматриваемый кусок материала, Н; $F_{f,b}$ – сила трения скольжения между куском материала и лучом нагребающей звезды, Н; N_b – сила реакции луча нагребающей звезды на воздействие куска материала, Н; $F_{f,c,s}$ – сила трения скольжения между куском материала и бортом конвейера, Н; f – коэффициент сопротивления скольжения куска материала по стали.

Принимая, что движущая сила конвейера всегда больше сил сопротивления движению куска материала по конвейеру, и решая неравенство (1) относительно f , окончательно получаем [10]:

$$f < \frac{\cos(\xi + \lambda)}{\sin(\xi + \lambda) + \cos(\lambda) \cdot \sin(\xi)}. \quad (2)$$

Угол ξ определен (рис. 2) как сумма углов β и Θ , при этом угол β положителен (направление отсчета совпадает с направлением вращения нагребающей звезды), а угол Θ отрицателен.

Выбор рациональных параметров

Как показали исследования процесса взаимодействия нагребающих звезд со штабелем горной массы [7; 9; 11], и это учтено в математических моделях при увеличении количества лучей, наступает момент, когда материал начинает «течь» к приемному конвейеру. Это происходит вследствие того, что при внедрении очередного луча нагребающей звезды материал перед ним начинает смещаться, часть его выталкивается вверх, а часть увлекается лучом и выносится из штабеля. После прохода луча звезды происходит обрушение материала. На первой стадии материал штабеля в активной зоне работы луча падает вертикально, а на второй стадии материал сползает по линиям скольжения, при этом снижается сцепление кусков материала друг с другом. Если в этот момент материал захватывается очередным лучом звезды, то проявляется эффект «текучести» материала в активной зоне штабеля, что приводит к снижению момента сопротивления для нагребающей звезды.

Для установления степени влияния данного эффекта на выбор параметров погрузочных органов с нагребающими звездами необходимо определить целевую функцию и систему ограничений.

В качестве целевой функции выбрана удельная энергоёмкость погрузки горной массы.

Систему ограничений можно разбить на комплексы геометрических, кинематических и силовых соотношений.

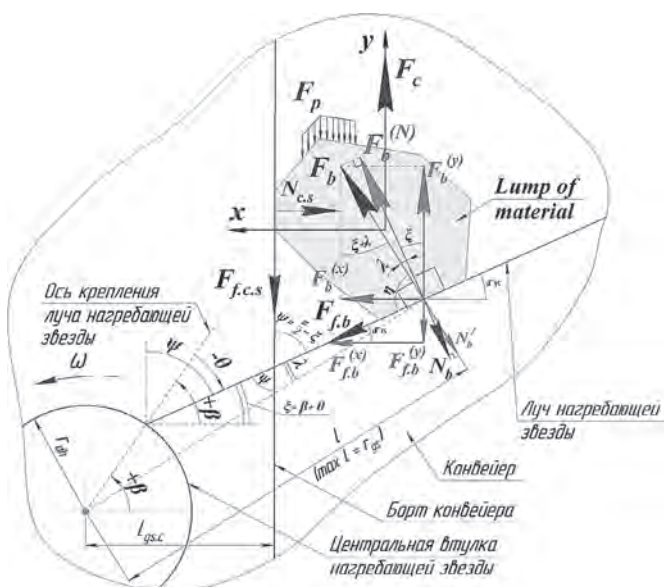


Рис. 1 Силовое взаимодействие куска материала с лучом нагребающей звезды и бортом приемного конвейера

Fig. 1 Force interaction of a lump of material with gathering-star's beam and conveyor's side edge

К геометрическим традиционно относят ширину и угол установки питателя, расстояние от скребкового конвейера до передней кромки питателя, ширину приемного конвейера. Кроме этого, целесообразно ввести дополнительные параметры: площади «мертвых зон» и направление вектора потока погружаемого материала, которые характеризуются углами «встречи» лучей нагребающей звезды с конвейером и с передней кромкой штабеля [8]. Силовые и энергетические ограничения учитывают максимальные и средние моменты сопротивлений на валах нагребающих звезд и энерговооруженность привода погрузочного органа.

Результаты

В процессе поворота нагребающей звезды (увеличения угла β) увеличивается угол ξ , что приводит к увеличению прижимающей силы $F_b^{(z)}$, а значит, к увеличению силы трения $F_{f.c.s}$. Одновременно с этим возрастает продольная составляющая силы трения $F_{f.b}^{(z)}$, что увеличивает вероятность заклинивания куска материала. При этом при повороте нагребающей звезды расстояние до точки пересечения луча с бортом приемного конвейера увеличивается, что приводит к уменьшению угла λ , а следовательно, к снижению негативного влияния вышеперечисленных сил. Однако изменение угла λ в меньшей степени влияет на вероятность заклинивания куска материала по сравнению с углом β при прочих равных условиях. Таким образом, проверка коэффициента трения по (8) должна проводиться для наиболее удаленной точки луча нагребающей звезды, т.е. при $l = r_{gs}$.

С использованием оригинальной программы было получено графическое представление решения (8) для различных сочетаний параметра Θ и угла поворота нагребающей звезды (рис. 2). Расположение кривых ниже линии $f_{к.м} = \text{tg}(\mu)$ свидетельствует о нарушении условия (8) и повышенной вероятности заклинивания куска материала.

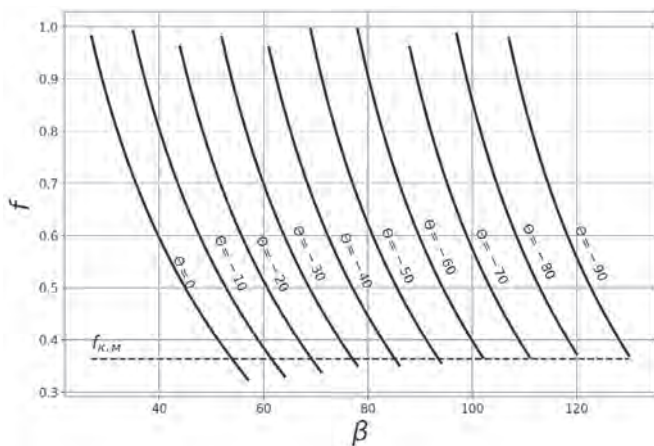


Рис. 2
Кривые изменения коэффициентов сил на луче нагребающей звезды при различных углах установки лучей

Fig. 2
Curves of the forces' coefficients changing on gathering-star beam with different angles of their installation

Очевидно, что практикуемое производителями проходческих комбайнов увеличение расстояния от борта конвейера до оси вращения нагребающей звезды $L_{gs.c}$ приводит к поднятию кривых изменения коэффициентов сил над уровнем коэффициента трения $f_{к.м}$, обеспечивая стабильность работы, но при этом снижается эффективность разгрузки нагребающих звезд.

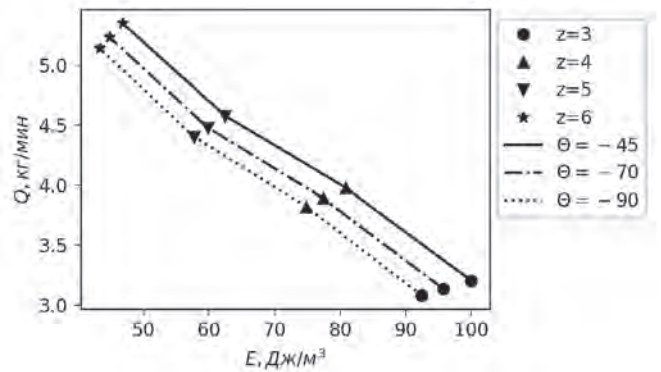


Рис. 3
Соотношение удельной энергоёмкости E и производительности Q погрузки нагребающей звездой с разным количеством лучей z и углов их установки Θ

Fig. 3
The ratio of the specific energy consumption E and the performance Q of loading by a gathering-star with a different number of beams z and angles of their installation Θ

Влияние эффекта «текучести» материала на эффективность погрузочного органа в зависимости от количества лучей и углов их установки на нагребающей звезде показано на рис. 3.

Из рис. 3 видно, что увеличение количества лучей существенно (практически в два раза) увеличивает производительность погрузочного органа, снижая при этом удельную энергоёмкость погрузки. Угол установки лучей на производительность и энергоёмкость погрузки влияет незначительно.

Заключение

1. Качественные и количественные характеристики взаимодействия современных погрузочных органов с нагребающими звездами со штабелем горной массы существенно отличаются от характеристик взаимодействия с материалом традиционных, хорошо изученных, нагребающих лап.
2. Комплекс экспериментальных и теоретических исследований подтвердил эффект перехода погружаемого материала в текучее состояние в рабочей зоне многолучевых нагребающих звезд.
3. В качестве целевой функции при выборе рациональных параметров целесообразно принять энергоёмкость процесса погрузки, а производительность отнести к ограничениям.
4. При проектировании погрузочных органов с нагребающими звездами следует устанавливать не менее четырех лучей с углами установки $\Theta > -90^\circ$, обеспечивающих лучшие показатели разгружаемости на приемный конвейер проходческого комбайна и перевод материала рабочей зоны в псевдосжиженное состояние, что снижает энергоёмкость погрузки.
5. Разработанная математическая модель позволяет изучать влияние геометрических параметров на эффективность функционирования погрузочных органов с нагребающими звездами.

Список литературы

- Li X.-H., Liu C.-H. Dynamics research on star wheel loading machine based on ANSYS. *Journal of Liaoning Technical University*. 2007;(S2).
- Xu Z., Mao J. Research and confirmation structure size for star wheel loading mechanism of roadheader. *Coal Mine Machinery*. 2009;(10).
- Li J. Analysis and research of how to raise loading efficiency that stellated loader owns. *Coal Mine Machinery*. 2011;(03).
- Liang X.-D., Li X.-H. Determination of star wheel loading mechanism's lowest rotating speed of road-headers which don't jam. *Journal of Liaoning Technical University*. 2006;(S2).
- Хиценко Н.В., Хиценко А.И., Борисов Е.В. Моделирование производительности питателя с погрузочными звездами. *Вестник Донецкого национального технического университета*. 2011;(1):166–172. Режим доступа: <http://ea.donntu.edu.ua/bitstream/123456789/8909/1/статья4.pdf>
- Носенко А.С., Исаков В.С., Домницкий А.А., Зубов В.В. Разработка погрузочно-транспортных модулей в составе тоннелепроходческого оборудования. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2018;(4):189–196. <https://doi.org/10.25018/0236-1493-2018-4-0-189-196>
- Отроков А.В., Хазанович Г.Ш., Афонина Н.Б. Исследования погрузочных органов с нагребающими звездами на физической модели. *Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых*. 2015;(2):111–117.
- Отроков А.В., Хазанович Г.Ш., Афонина Н.Б. Инженерная методика выбора основных параметров погрузочных органов с нагребающими звездами. *Известия вузов. Горный журнал*. 2015;(3):101–110.
- Афонина Н.Б. Математическое моделирование рабочих процессов погрузочных органов с нагребающими звездами. *Современные проблемы науки и образования*. 2013;(5):125. Available at: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=10528>
- Otrokov A.V. Mathematical model of the influence of the gathering-stars loading organ's parameters on the choice of the tunnelling machine conveyor speed. In: *2018 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon), Vladivostok, Russia, 3–4 Oct. 2018*. P. 1–4. <https://doi.org/10.1109/FarEastCon.2018.8602770>
- Otrokov A.V., Khazanovich G.S., Afonina N.B. The impact of design parameters on the efficiency of loading organs with gathering-stars of the roadheaders. In: *Proceedings of the 4th International Conference on Industrial Engineering. ICIE 2018. Lecture Notes in Mechanical Engineering*. Springer; 2019. P. 401–410. https://doi.org/10.1007/978-3-319-95630-5_44

References

- Li X.-H., Liu C.-H. Dynamics research on star wheel loading machine based on ANSYS. *Journal of Liaoning Technical University*. 2007;(S2).
- Xu Z., Mao J. Research and confirmation structure size for star wheel loading mechanism of roadheader. *Coal Mine Machinery*. 2009;(10).
- Li J. Analysis and research of how to raise loading efficiency that stellated loader owns. *Coal Mine Machinery*. 2011;(03).
- Liang X.-D., Li X.-H. Determination of star wheel loading mechanism's lowest rotating speed of road-headers which don't jam. *Journal of Liaoning Technical University*. 2006;(S2).
- Khitsenko N.V., Khitsenko A.I., Borisov E.V. Simulation of performance of feeder with loading stars. *Vestnik Donetsk National Technical University*. 2011;(1):166–172. (In Russ.) Available at: <http://ea.donntu.edu.ua/bitstream/123456789/8909/1/статья4.pdf>
- Nosenko A.S., Isakov V.S., Domnitsky A.A., Zubov V.V. Designing loading-and-transport systems for tunneling assemblies. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2018;(4):189–196. (In Russ.) <https://doi.org/10.25018/0236-1493-2018-4-0-189-196>
- Otrokov A.V., Khazanovich G.S., Afonina N.B. Physical simulation of loaders with scooping starwheels. *Journal of Mining Science*. 2015;51(2):292–297. <https://doi.org/10.1134/S1062739115020118>
- Otrokov A.V., Khazanovich G.Sh., Afonina N.B. Engineering technique of choosing the basic settings for loading bodies with shoveling spiders. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal = News of the Higher Institutions. Mining Journal*. 2015;(3):101–110. (In Russ.)
- Afonina N.B. Mathematical modeling workflow of loading mining mass with loading organs with grasping stars. *Modern Problems of Science and Education*. 2013;(5):125. (In Russ.) Available at: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=10528>
- Otrokov A.V. Mathematical model of the influence of the gathering-stars loading organ's parameters on the choice of the tunnelling machine conveyor speed. In: *2018 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon), Vladivostok, Russia, 3–4 Oct. 2018*, pp. 1–4. <https://doi.org/10.1109/FarEastCon.2018.8602770>
- Otrokov A.V., Khazanovich G.S., Afonina N.B. The impact of design parameters on the efficiency of loading organs with gathering-stars of the roadheaders. In: *Proceedings of the 4th International Conference on Industrial Engineering. ICIE 2018. Lecture Notes in Mechanical Engineering*. Springer; 2019, pp. 401–410. https://doi.org/10.1007/978-3-319-95630-5_44

Информация об авторах

Афонина Наталия Борисовна – кандидат технических наук, доцент кафедры технологий горного производства, Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) им. М.И. Платова, г. Новочеркасск, Российская Федерация, e-mail: myshxa@gmail.com

Отроков Александр Васильевич – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры технологий горного производства, Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) им. М.И. Платова, г. Новочеркасск, Российская Федерация, e-mail: oav711@gmail.com

Хазанович Григорий Шнеерович – доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник Центра научных компетенций, Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация, e-mail: hazanovich@mail.ru

Информация о статье

Поступила в редакцию: 11.09.2021
Поступила после рецензирования: 01.10.2021
Принята к публикации: 05.10.2021

Information about the authors

Natalia B. Afonina – Candidate of Science (Eng.), Associate Professor of the chair of Mining Technologies of Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI), Novocherkassk, Russian Federation; e-mail: myshxa@gmail.com

Alexander V. Otrokov – Candidate of Science (Eng.), Associate Professor of the chair of Mining Technologies of Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI), Novocherkassk, Russian Federation; e-mail: oav711@gmail.com

Grigoriy Sh. Khazanovich – Doctor of Science (Eng.), Professor, Chief Researcher of Scientific Competence Centre of Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russian Federation; e-mail: hazanovich@mail.ru

Article info

Received: 11.09.2021
Revised: 01.10.2021
Accepted: 05.10.2021