

Научная статья

УДК 622.232

DOI: 10.26730/1816-4528-2023-2-41-48

Афони́на Ната́лия Бори́совна^{1*}, Хаза́нович Григо́рий Шне́ерович²,
Отро́ков Алекса́ндр Васи́льевич¹

¹Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) им. М.И.Платова²Донской государственный технический университет

*E-mail: afoninanb20@gmail.com

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПОГРУЗОЧНЫХ ОРГАНОВ НЕПРЕРЫВНОГО ДЕЙСТВИЯ ПРОХОДЧЕСКИХ КОМБАЙНОВ И ПОГРУЗОЧНЫХ МАШИН

**Информация о статье**

Поступила:

02 февраля 2023 г.

Одобрена после

рецензирования:

18 апреля 2023 г.

Принята к печати:

27 апреля 2023 г.

Опубликована:

17 мая 2023 г.

Ключевые слова:

погрузочный орган, система-
тизация технических решений,
физическая картина, кинема-
тический анализ, текучесть
материала.

Аннотация.

Современные погрузочные органы непрерывного действия с исполнительными элементами в виде нагребующих лап различной конструкции и нагребующих звезд широко применяются в проходческих комбайнах избирательного действия и погрузочных машинах. Все разнообразие таких погрузочных органов объединяют общие принципы формирования грузопотока и нагрузок, которые, тем не менее, не до конца изучены. За последние десятилетия различными учеными были изучены физические процессы, происходящие в погрузочных органах различных конструкций. В результате последних исследований установлено, что при определенных условиях на таких погрузочных органах возможен перевод материала штабеля в псевдоожиженное состояние, что снижает формируемые нагрузки на привод. Показано, что выбор целевой функции при оптимизации параметров при проектировании зависит от режима работы погрузочного органа. Также для целей оптимизации конструкций погрузочных органов предложен критерий качества траектории гребков, совершающих сложные движения, например, нагребующих лап с приводом от четырехзвенного или кривошипно-шатунного механизма.

Для цитирования: Афони́на Н.Б., Хаза́нович Г.Ш., Отро́ков А.В. Сравнительный анализ погрузочных органов непрерывного действия проходческих комбайнов и погрузочных машин // Горное оборудование и электромеханика. 2023. № 2 (166). С. 41-48. DOI: 10.26730/1816-4528-2023-2-41-48, EDN: BCFUQB

Введение

Эффективность погрузки горной массы на проходческих работах в первую очередь зависит от конструктивного совершенства погрузочных органов основных технологических машин: проходческих комбайнов и погрузочных машин. Более того, интенсивность грузопотока является фактором, ограничивающим сверху величину эффективности горнопроходческой системы в целом. Таким образом, повышение эффективности погрузочных органов в определенных пределах напрямую влияет на скорость проведения горных выработок.

Краткая история погрузочных машин

Самыми первыми погрузочными машинами непрерывного действия бокового захвата стали машины с нагребующими лапами американского изобретателя и предпринимателя Джозефа Джоя, которые были запатентованы и начали производиться с 1920-х годов. Принципиальная схема взаимодействия погрузочных элементов (нагребующих лап) с материалом оказалась настолько удачной, что используется и поныне.

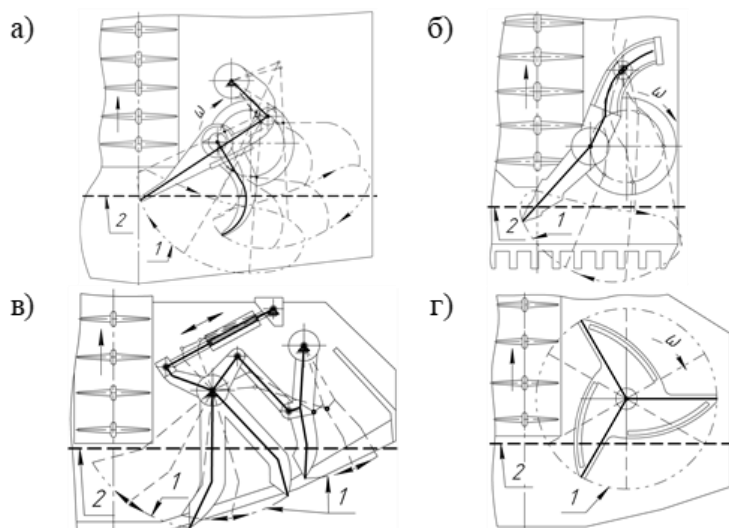


Рис. 1. Разнообразие погрузочных модулей непрерывного действия (показаны правые половины погрузочных органов): 1 – траектория кромки нагребяющего элемента; 2 – передняя кромка штабеля горной массы

Fig. 1. A variety of loading modules of continuous action (right halves are shown): 1 – trajectory of the edge of the gathering element; 2 – the leading edge of the stockpile of rock mass

Тем не менее, с момента своего изобретения погрузочные машины не только активно изучались и совершенствовались. Также появлялись новые конструкции исполнительных органов, например, на угольных складах США применялись машины с рабочим органом в виде бесконечных цепей с консольными скребками.

Среди многочисленных конструкций отдельно стоит упомянуть погрузочную машину FL-200 фирмы «Зальцитгер» (ФРГ, 1955 г.) с двумя рифлеными дисками и опытный образец роторного погрузчика РПМ-1, разработанный и исследованный в 1960-х годах в ЮРГПУ (НПИ) [1-5]. Эти погрузочные машины можно рассматривать как некую эволюцию идей, приведшую к современным органам с нагребяющими звездами, имеющими некоторые принципиальные отличия в физической картине погрузки горной массы по сравнению с нагребяющими лапами (гребками).

В 1990-х годах также в ЮРГПУ (НПИ) были предложены различные технические решения с клиновыми многогребковыми лапами, некоторые были реализованы в погрузочных органах проходческого комбайна КП-20 и погрузочной машине МПНК.

Систематизация технических решений

Итак, в результате почти столетней технической эволюции были спроектированы и серийно выпускались разнообразные погрузочные органы непрерывного действия, например, как на Рис. 1 [6].

В основу разработанной классификации погрузочных органов непрерывного действия, например, [6], легли следующие ключевые признаки: кинематика движения и схема компоновки привода исполнительных элементов.

При рассмотрении погрузочных органов проходческих комбайнов и погрузочных машин

следует отметить ключевое различие их режимов работы: штабель горной массы у проходческого комбайна формируется непрерывно, тогда как для погрузочной машины штабель однозначно определяется результатом буровзрывных (или других) работ.

Учет этих особенностей необходим при выборе целевой и ограничительных функций при проектировании и оптимизации погрузочных органов.

Физические процессы погрузки горной массы

Несмотря на то, что научная и методологическая базы исследования погрузочных органов непрерывного действия опираются на общие принципы формирования объема единичного захвата материала [7, 8], вследствие различия форм и кинематики движения исполнительных элементов, а также из-за различий технологических режимов погрузки материала погрузочными машинами и проходческими комбайнами описанных выше.

К настоящему времени практически нет работ, в

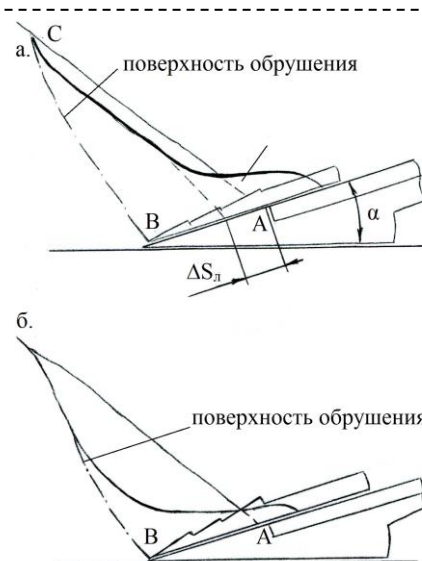


Рис. 2. Характер деформаций штабеля по мере отбора материала: а – после первого черпания; б – после n-го черпания

Fig. 2. The nature of the deformations of the stockpile in the course of material picking: a – after the first scooping; b – after the n-th scooping

которых с единых позиций рассматриваются вопросы определения объемов разового захвата для погрузочных органов различных конструктивно-кинематических групп. Следует выделить исследование д-ра техн. наук Я.Б. Кальницкого [9], выполненные в 60-х годах прошлого столетия, где сделаны попытки дать общую теорию производительности погрузки горной массы. Однако динамические явления, связанные со сдвижением и переформированием объемов

штабеля, в них лишь упомянуты. В последующие годы выполнены экспериментальные исследования процессов при погрузке кусковых материалов Е.А. Крисаченко [10], С.Е. Лоховининым [11] под руководством и при участии Г.Ш. Хазановича, в которых установлено влияние крупности и объема материала в активной зоне на производительность и нагрузки. Вместе с тем, динамика формирования грузопотока с учетом изменения множества конструктивных и технологических факторов остается недостаточно изученной.

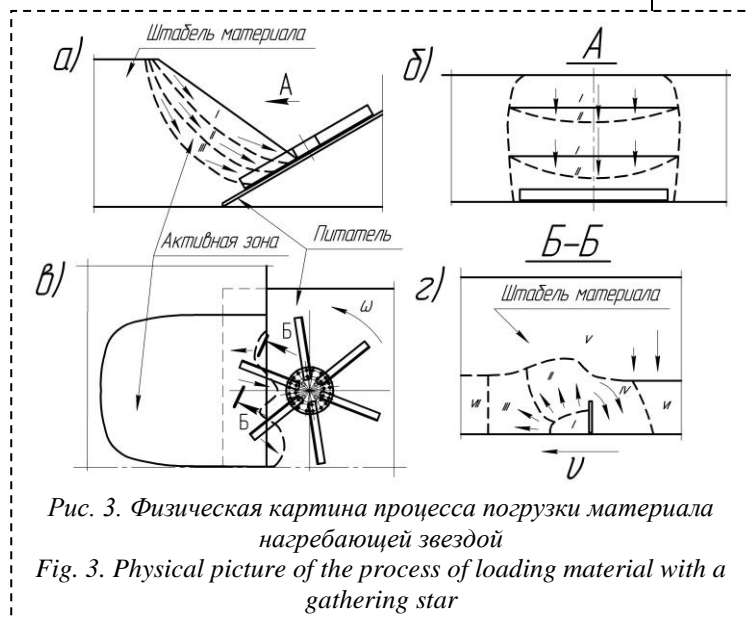


Рис. 3. Физическая картина процесса погрузки материала нагребающей звездой

Fig. 3. Physical picture of the process of loading material with a gathering star

В настоящее время результаты всех исследований, в частности [7-15], можно свести к следующим положениям:

1) при внедрении питателя материал штабеля частично уплотняется и перемещается вверх по поверхности скольжения, формируя новую линию откоса штабеля;

2) в результате циклического отбора материала рабочим элементом погрузочного органа (нагребающие лапы различной конструкции, П-образные и клиновые рамки, нагребающие звезды) происходит опускание тела АВС (Рис. 2) по поверхности скольжения ВС;

3) при движении активного рабочего элемента погрузочного органа в штабеле он воздействует на некоторый объем материала (активная зона) (например, на примере нагребающей звезды, Рис. 3, а, в), формируется призма сдвига. В своем движении рабочий элемент, воздействуя на куски материала, расположенные непосредственно перед ним, уплотняет материал, отдельные куски поднимаются вверх от питателя и смещаются вдоль рабочего элемента к центру вращения (Рис. 3, в, г);

4) в дальнейшем при движении рабочего элемента в штабеле часть материала пересыпается через него и попадает в зону действия следующего за ним рабочего элемента (в случае нагребающих звезд или многогребковых лап);

5) при определенных взаимных конфигурациях погрузочных элементов с приемным конвейером на питателе наблюдается формирование характерного

участка объема штабеля — «валик» материала, образующийся вследствие запаздывания захвата материала приемным конвейером и выполняющий роль своеобразного бункера между штабелем и конвейером;

б) рабочий элемент выносит материал из нижней части штабеля и штабель опускается на питатель. При этом интересно рассмотреть отношение времени опускания штабеля к времени подхода нового рабочего элемента (или гребка): при определенном сочетании параметров погрузочного органа материал штабеля не успевает прийти в новое статическое положение на питателе и «подхватывается» очередным гребком;

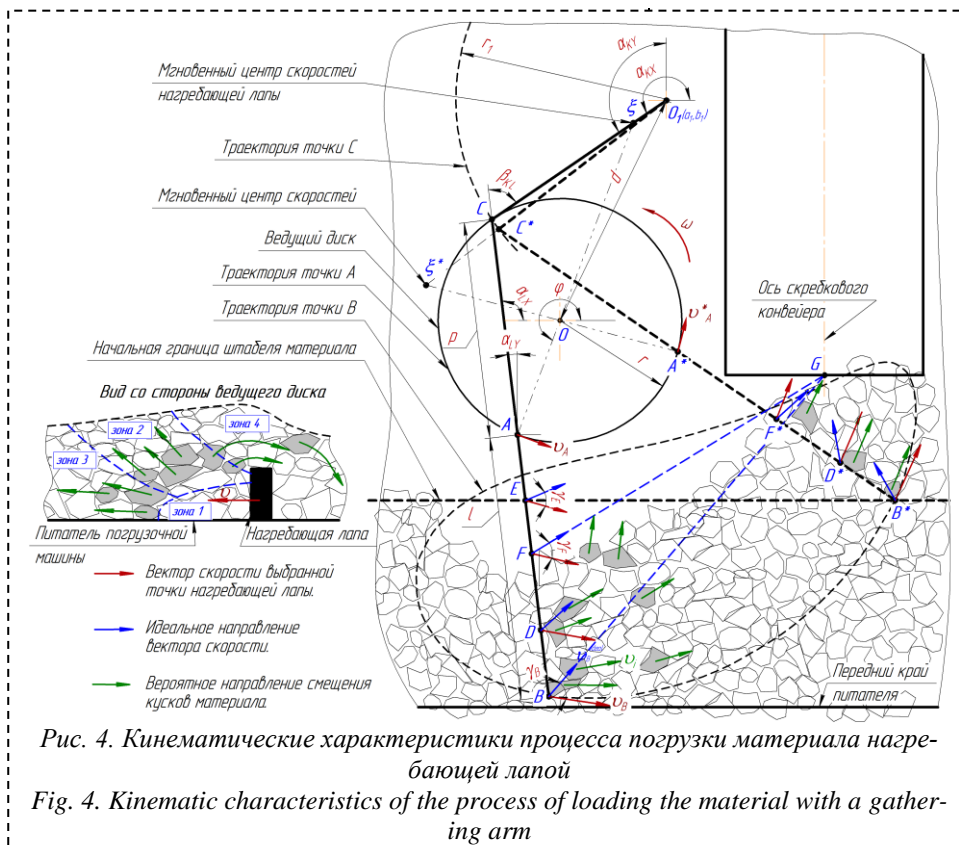
7) «подхват» материала означает, что каждый рабочий элемент участвует в формировании активного объема захвата, а, значит, и нагрузок для следующего за ним гребка, который взаимодействует не со статическим материалом, что принципиально отличается от «классического» анализа взаимодействия с сыпучей средой. Проявляется эффект «текучности» материала, который влияет на рабочий процесс неоднозначно: с одной стороны, снижается крутящий момент и производительности из-за уменьшения плотности захватываемого материала, а, с другой стороны, увеличение количества рабочих элементов приводит к повышению производительности в сравнении с одиночными элементами [14].

Таким образом, установлены общие закономерности, в разной степени присущие погрузочным органам непрерывного действия. Проведенные многими исследователями экспериментальные исследования различных исполнительных органов установили, что грузопоток зависит от объема материала на приемной плите и конструктивных параметров конкретного типа исполнительного органа, к основным из которых можно отнести эквивалентные геометрические размеры рабочих (исполнительных) элементов (зависящие от среднего размера куска погружаемого материала), количество рабочих элементов и их положений в штабеле в каждый момент времени.

Анализ кинематических характеристик погрузочных органов

Одним из самых сложных является учет в математических моделях производительности и нагрузок положения рабочих элементов в штабеле в каждый момент времени. О перспективности этого учета говорят исследования, например [15], в которых показано, что возможна оптимизация формы нагребающей лапы и траектории ее движения с целью увеличения производительности на 35% и снижения энергоемкости погрузки более чем в два раза.

Однако учет формы траектории движения гребка в штабеле затруднен в связи с отсутствием удобного показателя, описывающего эту



траекторию и пригодного для использования в формулах.

Для оценки качества траектории и выработке соответствующего критерия необходимо, опираясь на проведенные исследования [3, 10, 17] по установлению физической картины процесса погрузки, проанализировать поведение штабеля погружаемого материала при взаимодействии с погрузочным органом.

Погрузочный орган проектируется так, чтобы гребок захватил как можно большее количество материала и без потерь передал бы его на приемный конвейер. Траектория гребка должна быть максимально приближена к идеальной [18]: на фазе внедрения гребок движется параллельно оси приемного конвейера, входя в штабель на заданную глубину; на фазе формирования области захвата гребок движется перпендикулярно оси приемного конвейера по направлению к нему, а на фазе черпания-проталкивания гребок перемещает материал кратчайшим путем на конвейер (Рис. 4).

Максимальная производительность в заданных условиях достигается, если материал большую часть своего пути перемещается к приемному конвейеру. В качестве оценки целесообразно выбрать усредненный вектор направления перемещения захваченного груза. Несмотря на то, что при воздействии гребка на материал его куски получают смещения в различных направлениях из-за неравномерности распределения их форм и размеров, обобщенное направление перемещения захваченного материала соответствует перемещению гребка. Поэтому можно ограничиться рассмотрением направления векторов скорости самого гребка. Чем точнее векторы

скоростей рабочей части гребка направлены к центру приемного устройства конвейера, тем выше будет производительность при прочих равных условиях.

Естественно предположить, что отдельные участки гребка вносят неравноценный вклад в формирование объема захвата материала. Для определенности введены весовые коэффициенты – нормированные значения векторов скоростей $w_{i,j}$ расчетных точек гребка в каждый выбранный момент времени.

Тогда в качестве критерия можно использовать средний угол направленности траектории, определенный следующим образом:

$$\Gamma = \frac{1}{m} \cdot \sum_{j=1}^m \frac{\sum_{i=1}^n \gamma_{i,j} w_{i,j}}{\sum_{i=1}^n w_{i,j}},$$

где $\gamma_{i,j}$ – угол направления перемещения материала j -той точкой гребка в i -тый момент времени за период зачерпывания и проталкивания материала; $w_{i,j}$ – весовой коэффициент, отражающий «вклад» рассматриваемой расчетной точки j на общее направление движения материала; n – количество расчетных точек на рабочем участке гребка; m – количество расчетных положений гребка за период зачерпывания и проталкивания материала.

Теоретически угол Γ может изменяться от $-\pi$ до $+\pi$. При этом возможны следующие варианты:

1) $\Gamma > 0$ – гребок формирует малый объем захвата и перемещает его левее целевой точки G , в этом случае есть опасность скопления материала на приводном диске и его возврата обратно в штабель;

2) $\Gamma < 0$ – гребок формирует большой объем захвата, но перемещает его правее целевой точки G , в этом часть материала перемещается в зону работы противоположного гребка, таким образом, определенный объем материала колеблется между рабочими элементами;

3) $\Gamma = 0$ – гребок перемещает захваченный материал к приемному конвейеру с минимальными потерями, желательный вариант.

Взяв по абсолютной величине полученный средний угол направленности и минимизируя его, можно обоснованно подходить к оценке траектории при автоматизированном выборе параметров погрузочных органов непрерывного действия [19, 20].

Комплекс теоретических исследований и результатов компьютерного моделирования позволили подтвердить эффективность

предложенного подхода к оценке траектории движения исполнительных элементов рассматриваемых погрузочных органов [21, 22].

Отмеченные сходства и различия погрузочных органов непрерывного действия нашли отражение в разработанных различными авторами математических моделях. Однако до настоящего времени отсутствует единая теория формирования грузопотоков и нагрузок погрузочных органов непрерывного действия, позволяющая производить оценку новых технических решений.

Заключение

1. Конструкции погрузочных органов непрерывного действия располагают к автоматизации погрузки материала, что в современных реалиях может стать ключевой особенностью дальнейшего совершенствования погрузочных машин.

2. Несмотря на долгую техническую эволюцию, научно-прикладные исследования не охватывают весь спектр актуальных вопросов погрузки горной массы, например, внутренние динамические нагрузки при погрузке крупнокусковых материалов.

3. Процессу погрузки горной массы как стадии технологического цикла проведения горной выработки уделяется недостаточное внимание с точки зрения его ограничивающего фактора на производительность всей горнопроходческой системы и возможности ее увеличения без существенной модернизации процессов разрушения горного массива.

4. Выбор целевой функции при оптимизации параметров погрузочных органов непрерывного действия зависит от характера формирования штабеля для погрузки.

5. Критерий качества траектории движения исполнительных элементов погрузочного органа наряду с величиной площади черпания позволяет использовать его для оптимизации параметров погрузочных органов непрерывного действия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кравченко П. Д. Исследование и выбор режимных параметров погрузочных машин бокового захвата: дис. ... канд. техн. наук. Новочеркасск, 1971.

2. Васильев Ю. А. Исследования двухроторной погрузочной машины с гидравлическим дифференциальным приводом: дис. ... канд. техн. наук. Новочеркасск, 1974.

3. Максимов В. П. Исследование и выбор рационального исполнительного органа погрузочных машин типа ПНБ: Автореф. дисс... канд. техн. наук: 05.05.06. – Защищена 27.05.81 г. Новочеркасск, 1981. 19 с.

4. Максимов В. П., Рюмин И. Ф. Результаты экспериментального исследования формы исполнительного органа погрузочной машины непрерывного действия на энергоёмкость погрузки. // Динамика и надёжность погрузочных и грузоподъёмных машин. Межвузовский сб. – Новочеркасск : изд-во НПИ, 1982. С.10–15.

5. Рюмин И. Ф., Кравченко П. Д. Некоторые результаты исследования модели роторного погрузочного органа. Тр. НПИ. 1970. Т. 218. С. 126–129.

6. Отроков А. В., Хазанович Г. Ш., Колесниченко И. Е., Хазанович В. Г. К вопросу систематизации конструкций и кинематических схем погрузочных органов непрерывного действия // Современные проблемы науки и образования. – 2014. № 4. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=13857> (дата обращения: 06.10.2021).

7. Кальницкий Я. Б., Абрамсон Х. И., Родионов Г. В. Подземная механизированная погрузка. М. : Гос. нуч.-тех. изд-во литературы по горному делу, 1961. 189 с.

8. Родионов Г. В., Костылев А. Д., Михирев П. А., Кальницкий Я. Б., Сороко В. В., Гурков К. С., Соболев А. В. Погрузочные машины для сыпучих и кусковых материалов. Под ред. Родионова Г. В. и Кальницкого Я. Б. М. : Гос. изд-во научно-техн. машиностроительной литературы., 1962. 248 с.

9. Кальницкий Я. Б. Теоретическая производительность шахтных погрузочных машин. Тр. ин-та Гипроникель. Л. : 1961. Вып. 11. С. 3-10.

10. Крисаченко Е. А. Исследование процессов взаимодействия раб бочего органа погрузочных машин с парными нагребающими лапами со штабелем насыпного крупнокускового материала: Дис... канд. техн. наук. 05.174. защищена 23.06..71. Новочеркасск, 1972. 210 с.

11. Хазанович Г. Ш., Лоховинин С. Е. Экспериментальное исследование производительности погрузочного органа с нагребающими лапами. Шахтный и карьерный транспорт. М. : Недра, 1984. Вып. 9. С.159-164.

12. Хазанович Г. Ш. Оптимизация рабочих процессов и параметров шахтных погрузочных машин: Дис... д-ра техн. наук. 05.0.5.06. Защищена 19.10.90. Новочеркасск, 1990. 500 с.

13. Ляшенко Ю. М., Хазанович Г. Ш., Дудко Ю. В. Исследование формирования зон объемных деформаций штабеля при погрузке материала рабочим органом в виде рамки с клиновым носком. Новочеркасск : Новочерк. политехн. ин-т, 1985. 13 с. Рук. деп. в ЦНИИТЭИТЯЖМАШ 28.10.85 г., № 1544-ТМ.

14. 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

15. Гурков К. С., Кальнитский Я. Б., Костылев А. Д., Михирев П. А., Пресс И. М., Родионов Г. В., Соболев А. В., Сороко В. В. Погрузочные машины для сыпучих и кусковых материалов. Конструкция, теория и расчет. Москва : МАШГИЗ, 1962. 288 с.

16. Хазанович В. Г. Разработка и выбор рациональных параметров гидрофицированного погрузочного органа проходческого комбайна избирательного действия: дис. ... канд. техн. наук. Новочеркасск, 1996. 226 с.

17. Мариан И. Д. Требования к исполнительному органу погрузочной машины с загребающими лапами // Науч. тр. / Проект. и науч.-иссл. ин-т. Ги-проникель. 1958. Вып. 2. Горное оборудование. С. 133–161.

18. Otrokov A. V. Computer-aided synthesis of technical solutions for mine loading machines // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Gornyi Zhurnal. 2002. №5. Pp. 27-30.

19. Khazanovich G. S., Otrokov A. V., Afonina N. B. Engineering design technique development of con-

tinuous loading modules / Procedia Engineering. 2015. 129. Pp. 81–86. DOI:10.1016/j.proeng.2015.12.012

20. Otrokov A. V., Khazanovich G. S., Khazanovich V. G. Analysis of Kinetic Characteristics of Continuous Action Loading Organs Mechanisms / Procedia Engineering. 2016. 150. Pp. 173–178. DOI: 10.1016/j.proeng.2016.06.743

21. Афонина Н. Б. Математическое моделирование рабочих процессов погрузочных органов с нагребающими звездами // Современные проблемы науки и образования. 2013. № 5. С. 125.

© 2023 Автор. Эта статья доступна по лицензии Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Об авторах:

Афонина Наталия Борисовна, кандидат техн. наук, доцент, Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) им. М.И.Платова, (346428, Россия, Ростовская обл., г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132), e-mail: afoninanb20@gmail.com

Хазанович Григорий Шнеерович, доктор техн. наук, профессор, Донской государственный технический университет, (344000, Россия, Ростов-на-Дону, Площадь Гагарина, 1)

Отроков Александр Васильевич, кандидат техн. наук, доцент, Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) им. М.И.Платова, (346428, Россия, Ростовская обл., г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132)

Заявленный вклад авторов:

Афонина Н.Б., Хазанович Г.Ш., Отроков А.В. – постановка исследовательской задачи; научный менеджмент; обзор соответствующей литературы; концептуализация исследования; написание текста, сбор и анализ данных выводы; написание текста.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Original article

DOI: 10.26730/1816-4528-2023-2-41-48

Natalia B. Afonina^{1,*}, Grigoryi S. Khazanovitch², Aleksandr V. Otrokov¹

¹Platov South-Russian state polytechnic university (NPI)

²Don state technical university

*E-mail: afoninanb20@gmail.com

COMPARATIVE ANALYSIS OF CONTINUOUS LOADING UNITS OF ROADHEADERS AND LOADERS



Article info

Received:

02 February 2023

Accepted for publication:

18 April 2023

Accepted:

27 April 2023

Abstract.

Modern loading organs of continuous action with executive elements in the form of gathering-arms of various designs and gathering-stars are widely used in roadheaders of selective action and loaders. All the variety of such loading units is united by the general principles of the formation of the flow of material and loads, which, however, are not fully understood. Over the past decades, various scientists have studied the physical processes occurring in the loading units of various designs. As a result of recent studies, it has been established that, under certain conditions, on such loading units, it is possible to transfer the stockpile material into a fluidized state, which reduces the generated loads on the drive. It is shown that the choice of the objective function when optimizing parameters during design depends on the operating mode of the loading unit. Also, to optimize the designs of the

Published:
17 May 2023

loading units, a criterion for the quality of the trajectory of strokes performing complex movements, for example, gathering-arms are driven by a four-link or crank mechanism, is proposed.

Keywords: loading unit, systematization of technical solutions, physical picture of the loading process, kinematic analysis, bulk material fluidization

For citation: Afonina N.B., Khazanovitch G.S., Otrokov A.V. Comparative analysis of continuous loading units of roadheaders and loaders. *Mining Equipment and Electromechanics*, 2023; 2(166):41-48 (In Russ., abstract in Eng.). DOI: 10.26730/1816-4528-2023-2-41-48, EDN: BCFUQB

REFERENCES

1. Kravchenko P.D. Issledovanie i vybor rezhimnykh parametrov pogruzochnykh mashin bokovogo zahvata: dis. ... kand. tekhn. Nauk/ Novochoerkassk, 1971.
2. Vasil'ev Yu.A. Issledovaniya dvuhrotornoj pogruzochnoj mashiny s gidravlicheskim differentsial'nym privodom: dis. ... kand. tekhn. nauk. Novochoerkassk, 1974.
3. Maksimov V.P. Issledovanie i vybor racional'nogo ispolnitel'nogo organa pogruzochnykh mashin tipa PNB: Avtoref. diss... kand. tekhn. nauk: 05.05.06. – Zashchishchena 27.05.81 g. Novochoerkassk, 1981. 19 s.
4. Maksimov V.P., Ryumin I.F. Rezul'taty eksperimental'nogo issledovaniya formy ispolnitel'nogo organa pogruzochnoj mashiny nepreryvnogo dejstviya na energoemkost' pogruzki. *Dinamika i nadezhnost' pogruzochnykh i gruzopod'emnykh mashin. Mezhvuzovskij sb.* Novochoerkassk, izd-vo NPI, 1982. S. 10-15.
5. Ryumin I.F., Kravchenko P.D. Nekotorye rezul'taty issledovaniya modeli rotornogo pogruzochnogo organa. *Tr. NPI.* 1970; 218:126–129.
6. Otrokov A.V., Hazanovich G.Sh., Kolesnichenko I.E., Hazanovich V.G. K voprosu sistematizacii konstrukcii i kinematicheskikh skhem pogruzochnykh organov nepreryvnogo dejstviya. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya.* 2014. № 4. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=13857> (дата обращения: 06.10.2021).
7. Kal'nickij Ya.B., Abramson H.I., Rodionov G.V. Podzemnaya mekhanizirovannaya pogruzka. M.: Gos. nuch.-tekh. izd-vo literatury po gornomu delu; 1961.
8. Rodionov G.V., Kostylev A.D., Mihirev P.A., Kal'nickij Ya.B., Soroko V.V., Gurkov K.S., Sobol' A.V. Pogruzochnye mashiny dlya sypuchih i kuskovykh materialov. Pod red. G.V. Rodionova i Ya.B. Kal'nickogo. M.: Gos. izd-vo nachno-tekhn. mashinostroitel'noj literatury; 1962.
9. Kal'nickij Ya.B. Teoreticheskaya proizvoditel'nost' shahtnykh pogruzochnykh mashin. *Tr. in-ta Gipronikel'.* 1961; 11:3–10.
10. Krisachenko E.A. Issledovanie processa vzaimodejstviya rabocheho organa pogruzochnykh mashin s parnyimi nagrebayushchimi lapami so shtabelem nasybnogo krupnokuskovogo materiala: dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.174: zashchishchena 23.06.71. Novochoerkassk, 1971. 210 s.
11. Hazanovich G.Sh., Lohovinin S.E. Eksperimental'noe issledovanie proizvoditel'nosti pogruzochnogo organa s nagrebayushchimi lapami. *Shahtnyj i kar'ernyj transport.* 1984; 9:159-164.
12. Hazanovich G.Sh. Optimizaciya rabochnykh processov i parametrov shahtnykh pogruzochnykh mashin: Dis... d-ra tekhn. nauk. 05.0.5.06. Zashchishchena 19.10.90. Novochoerkassk, 1990. 500 s.
13. Lyashenko Yu.M., Hazanovich G.Sh., Dudko Yu.V. Issledovanie formirovaniya zon ob'emnykh deformacij shtabelya pri pogruzke materiala rabochnim organom v vide ramki s klinovym noskom. Novochoerkassk: Novochoerk. politekhn. in-t; 1985. 13 s. Ruk. dep. v CNIITEITYAZHMASH 28.10.85 g., № 1544-TM.
14. 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. *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
15. Gurkov K.S., Kal'nitskij Ya.B., Kostylev A.D., Mikhirev P.A., Press I.M., Rodionov G.V., Sobol' A.V., Soroko V.V. Pogruzochnye mashiny dlya sypuchih i kuskovykh materialov. Konstruktsiya, teoriya i raschet. Moskva: MASHGIZ; 1962. 288s.
16. Hazanovich V.G. Razrabotka i vybor racional'nykh parametrov gidroficirovannogo pogruzochnogo organa prohodcheskogo kombajna izbiratel'nogo dejstviya: dis. ... kand. tekhn. nauk. Novochoerkassk, 1996. 226 s.
17. Marian I.D. Trebovaniya k ispolnitel'nomu organu pogruzochnoj mashiny s zagrebayushchimi lapami. *Nauch. tr. Proekt. i nauch.-issl. in-t. Gipronikel'.* 1958; 2:133–161.
18. Otrokov A.V. Computer-aided synthesis of technical solutions for mine loading machines (2002) *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Gornyi Zhurnal.* 2002; 5:27–30.
19. Khazanovich G.S., Otrokov A.V., Afonina N.B. Engineering design technique development of continuous loading modules. *Procedia Engineering.* 2015; 129:81–86. DOI:10.1016/j.proeng.2015.12.012
20. Otrokov A.V., Khazanovich G.S., Khazanovich V.G. Analysis of Kinetic Characteristics of Continuous Action Loading Organs Mechanisms. *Procedia Engineering.*

neering. 2016; 150:173–178. DOI:
10.1016/j.proeng.2016.06.743

21. Afonina N.B. Matematicheskoe modelirovanie
rabochih processov pogruchnyh organov s nagreby-

ushchimi zvezdami. *Sovremennye problemy nauki i
obrazovaniya*. 2013; 5:125.

© 2023 The Author. This is an open access article under the CC BY license
(<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

The authors declare no conflict of interest.

About the author:

Natalia B. Afonina, C. Sc. in Engineering, Associate Professor, Platov South-Russian state polytechnic university (NPI), (346428, Russia, Rostov region, Novocherkassk, Prosveshenia Street 132), e-mail: afoninanb20@gmail.com

Grigoryi S. Khazanovitch, Dr. Sc. in Engineering, Professor, Don state technical university, (344000, Russia, Rostov-on-Don, Gagarina Square 1)

Otrokov Aleksand Vasilievitch, C. Sc. in Engineering, Associate Professor, Platov South-Russian state polytechnic university (NPI), (346428, Russia, Rostov region, Novocherkassk, Prosveshenia Street 132)

Contribution of the authors:

Natalia B. Afonina, Grigoryi S. Khazanovitch, Aleksandr V. Otrokov – research problem statement; scientific management; reviewing the relevant literature; conceptualisation of research; writing the text, data collection; data analysis; drawing the conclusions; writing the text.

Author have read and approved the final manuscript.

