

ГЕОТЕХНОЛОГИЯ, ГОРНЫЕ МАШИНЫ GEOTECHNOLOGY, MINING MACHINES

Научная статья

УДК 622.232

DOI: 10.26730/1816-4528-2022-6-3-9

Комиссаров Анатолий Павлович^{1,2}, Маслеников Олег Александрович¹,
Набиуллин Рустем Шафкатович¹,

¹ Уральский государственный горный университет

² Уральский Федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина

*E-mail: horoshavin.s@gmail.com

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ В ЭКСКАВАТОРОСТРОЕНИИ

Аннотация.

Карьерные одноковшовые экскаваторы являются основным средством механизации выемочно-погрузочных операций на открытых горных работах. Рассмотрены инновационные технические решения рабочего оборудования карьерного экскаватора, защищенные патентами РФ: рычажное рабочее оборудование (без стрелы) и оборудование с поворотным ковшом. Главными механизмами экскаватора с рычажным рабочим оборудованием, осуществляющими рабочие перемещения ковша, является механизм напора и механизм перемещения несущей рукояти, выполненные с зубчато-реечной системой и имеющие аналогичное исполнение. Механизм перемещения несущей рукояти выполняет функции механизма подъема (при стандартном рабочем оборудовании). Показаны достигаемые результаты и технико-экономический эффект при реализации разработок. Цель исследования – выявление резервов повышения эффективности эксплуатации карьерных экскаваторов. Выполнен кинематический анализ общего передаточного механизма приводов главных механизмов. Получены зависимости для кинематических передаточных функций рычажного механизма, определяющих соотношения между скоростями рабочих движений и скоростью копания в зависимости от координат вершины режущей кромки ковша. Применение в карьерных экскаваторах рычажного рабочего оборудования с увеличенными линейными параметрами элементов оборудования (рукоять и несущая рукоять) позволит перейти на схему отработки забоя с двумя подступами.



Информация о статье

Поступила:

15 сентября 2022 г.

Одобрена после

рецензирования:

01 октября 2022 г.

Принята к печати:

14 октября 2022 г.

Ключевые слова:

карьерный экскаватор, главные механизмы, рычажное рабочее оборудование, поворотный ковш.

Для цитирования: Комиссаров А.П., Маслеников О.А., Набиуллин Р.Ш. Инновационные технические решения в экскаваторостроении // Горное оборудование и электромеханика. 2022. № 6 (164). С. 3-9. DOI: 10.26730/1816-4528-2022-6-3-9

Введение

Карьерные одноковшовые экскаваторы являются основным средством механизации выемочно-погрузочных операций на открытых горных работах.

Карьерные экскаваторы представляют собой уникальные технические объекты. Однако опыт их эксплуатации показывает, что эксплуатационная производительность экскаватора существенно ниже расчетной ввиду увеличения длительности черпания и в целом продолжительности цикла экскавации [1, 2, 3, 6]. Основной причиной снижения про-

изводительности является низкий уровень автоматизации процессов контроля и управления машиной, существенная зависимость качества ручного управления от квалификации машиниста экскаватора.

Одним из основных факторов, определяющих данный феномен, является противодействие главных механизмов (механизмов подъема и напора), обусловленное в основном противоположными направлениями усилий подъема и напора, а именно усилие подъема направлено к подъемной лебедке (в сторону экскаватора), а усилие напора – к отрабо-

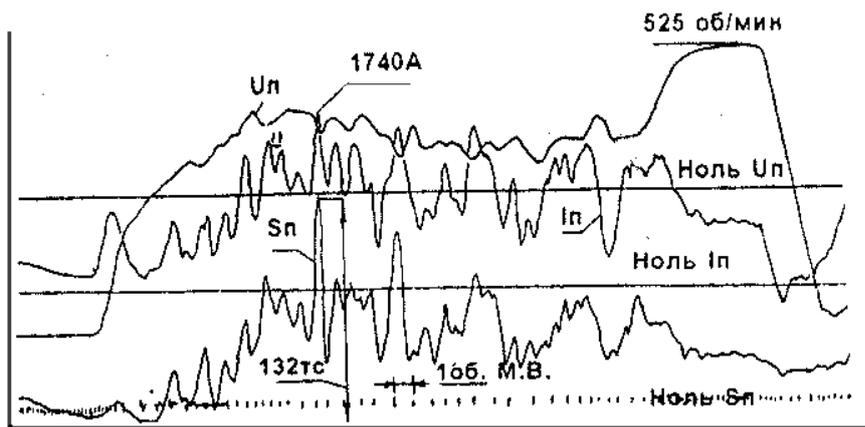


Рис. 1. Осциллограмма нагружения механизма подъема:
 S_p – усилие подъема в канатах; U_p – скорость подъема; I_p – ток двигателя подъема

Fig. 1. Oscillogram of loading of the lifting mechanism:
 S_p – lifting force in ropes; U_p – lifting speed; I_p – lifting motor current

тываемому забою. В этом случае при совместном функционировании главных механизмов имеют место резкие колебания скоростей рабочих движений и нагрузок (рис. 1) [9, 10].

Существенное влияние на эффективность эксплуатации карьерного экскаватора в составе экскаваторно-автомобильного комплекса оказывает система разгрузки ковша. Разгрузка ковша при свободно падающем днище производится при повышенной высоте разгрузки, что приводит к росту ударных нагрузок на транспортные средства и обуславливает необходимость увеличения грузоподъемности транспортного средства.

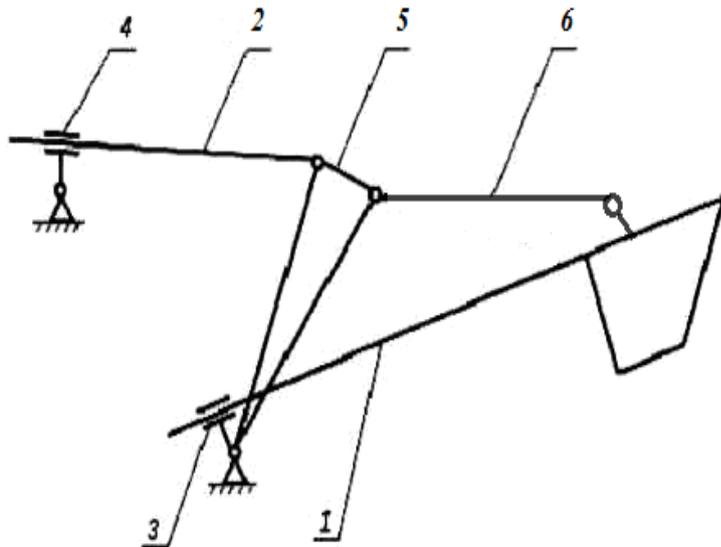


Рис. 2. Схема рычажного рабочего оборудования:
 1 – рукоять, жестко соединенная с ковшом; 2 – несущая рукоять; 3, 4 – седловой подшипник;
 5 – рама; 6 – тяга

Fig. 2. Diagram of lever working equipment:
 1 – handle rigidly connected to the bucket; 2 – bearing handle; 3, 4 – saddle bearing;
 5 – frame; 6 – traction

Цель и задачи исследования

Целью исследования является выявление резервов повышения эффективности эксплуатации карьерного экскаватора.

Задачи исследования:

- анализ предложенных технических решений и предварительное определение основных показателей работы экскаватора с новыми схемами рабочего оборудования;
- оценка степени влияния на эффективность эксплуатации карьерного экскаватора

предложенных технических решений.

Решение задач исследования

Объектами исследования являются схемы рабочего оборудования типа прямая лопата:

- рычажное рабочее оборудование [19];
- рабочее оборудование с поворотным ковшом [20].

Предмет исследования – выявление технических и технологических особенностей работы карьерного экскаватора с новыми схемами рабочего оборудования.

Особенности работы экскаватора с рычажным рабочим оборудованием

Характеристика рычажного рабочего оборудования

Рычажное рабочее оборудование типа прямая лопата (рис. 2) состоит из следующих элементов: двухбалочная рукоять, жестко соединенная с ковшом и установленная в седловом подшипнике; двухбалочная несущая рукоять, установленная в седловом подшипнике; рама, шарнирно соединенная со стойкой (поворотной платформой) и тяга. Несущая рукоять посредством рамы и тяги соединена с ковшом. Седловые подшипники шарнирно соединены со стойкой.

Выполнение рабочего оборудования в виде рычажной системы и исключение из состава рабочего оборудования стрелы позволит упростить конструкцию, а также снизить массу оборудования.

При этом ввиду уменьшения момента опрокидывающих сил, действующего на экскаватор, появляется возможность увеличения размеров рабочей зоны экскаватора (радиуса и высоты копания).

Кроме того, уменьшается момент инерции поворотной части экскаватора и, соответственно, уменьшается длительность

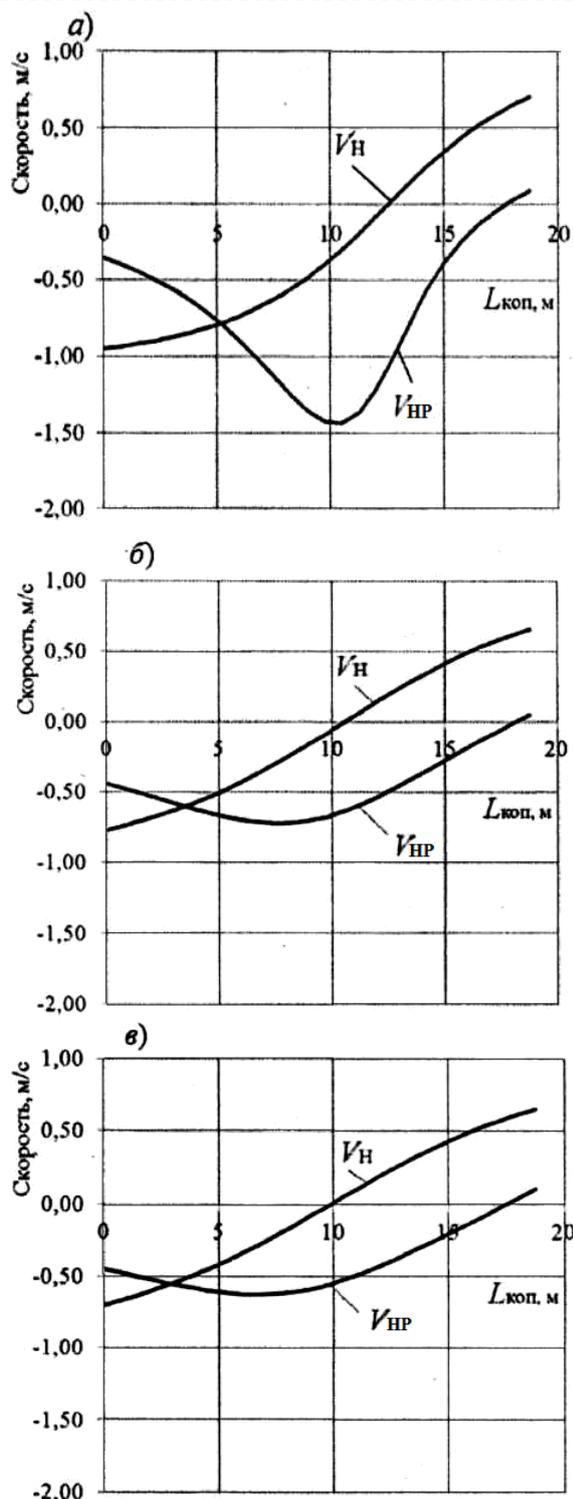


Рис. 3. Графики скоростей рабочих движений:
 а – начальная траектория; б – средняя траектория;
 в – конечная траектория;

V_n – скорость напора; V_{np} – скорость несущей рукояти; L_{kop} – длина пути копания

Fig. 3. Graphs of the speeds of working movements:
 а – initial trajectory; б – mean trajectory; в – final trajectory;

V_n – the pressure speed; V_{np} – the speed of the bearing handle; L_{kop} – the length of the digging path

ность поворотных движений платформы и продолжительность рабочего цикла.

Таким образом, применение рычажного рабочего оборудования позволит повысить выемочные возможности экскаватора за счет увеличения размеров рабочей зоны и, соответственно, выработку горной массы с одного места стояния экскаватора.

Главными механизмами экскаватора с рычажным рабочим оборудованием, осуществляющими рабочие перемещения ковша, является механизм напора и механизм перемещения несущей рукояти, выполненные с зубчато-реечной системой и имеющие аналогичное исполнение. Механизм перемещения несущей рукояти выполняет функции механизма подъема (при стандартном рабочем оборудовании). Главные механизмы установлены на поворотной платформе.

Применение в карьерных экскаваторах рычажного рабочего оборудования позволит использовать унифицированные узлы и детали (зубчато-реечная система, рукоять, седловой подшипник и др.) в различных комбинациях.

Основными преимуществами использования унифицированных узлов являются взаимозаменяемость, повышенное качество изделий, ремонтнопригодность и малая номенклатура запчастей.

При совместном функционировании главных механизмов в процессе экскавации горных пород образуется общий передаточный механизм приводов главных механизмов, состоящий из главных механизмов и рычажного механизма, соединяющего главные механизмы с ковшом.

Рычажный механизм состоит из звеньев (элементов рабочего оборудования), соединенных кинематическими парами V класса (шарнир) и IV класса (седловой подшипник).

Число степеней подвижности рычажного механизма (число обобщенных координат) составляет

$$S = 3n - 2P_5 - P_4 = 3 \cdot 4 - 2 \cdot 4 - 2 = 2,$$

где n – число подвижных звеньев; P_5 – число одноподвижных пар V класса; P_4 – число двухподвижных пар IV класса.

В механизме с двумя обобщенными координатами может быть одно начальное звено, если оно образует со стойкой двухподвижную кинематическую пару. Начальным звеном рычажного механизма, которому приписываются обобщенные координаты, принято звено «рукоять-ковш».

За обобщенные координаты рычажного механизма приняты координаты вершины режущей кромки ковша (среднего зуба) в системе координат XOY , где ось OX совпадает с уровнем стояния экскаватора, а ось OY – с осью вращения поворотной платформы.

Положение звена «рукоять-ковш», определяемое обобщенными координатами, определяет положение всех подвижных звеньев как рычажного механизма, так и главных механизмов относительно стойки.

Основной характеристикой рычажного механизма, определяющей его кинематические и динамические свойства, являются передаточные функции (аналог передаточного отношения).

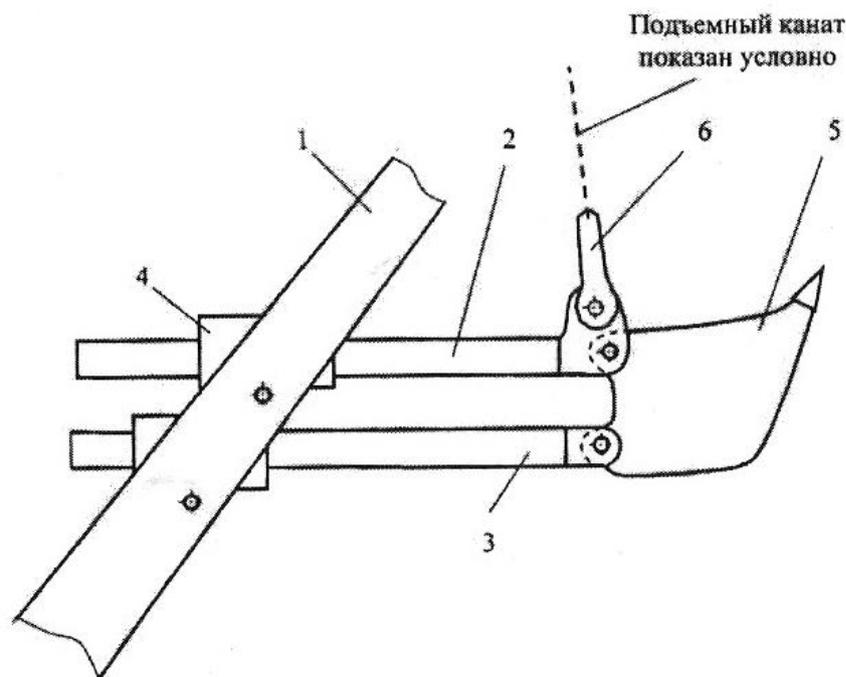


Рис. 4. Схема рабочего оборудования с поворотным ковшом:
1 – стрела; 2, 3 – рукояти; 4 – седловой подшипник; 5 – ковш; 6 – подвеска ковш

Fig. 4. Diagram of working equipment with a rotary bucket:
1 – boom; 2, 3 – handles; 4 – saddle bearing;
5 – bucket; 6 – bucket suspension

Выполнен кинематический анализ общего передаточного механизма приводов главных механизмов.

Получены зависимости для кинематических передаточных функций рычажного механизма, определяющих соотношения между скоростями рабочих движений и скоростью копания в зависимости от координат вершины режущей кромки ковша.

На рис. 3 приведены графики скоростей рабочих движений (скоростей напора и перемещения несущей рукояти) при перемещении ковша по эквидистантным траекториям (начальной, средней и конечной) в процессе отработки экскаваторного забоя.

Как видно из графиков, при совместном функционировании главных механизмов обеспечивается согласование режимных параметров главных механизмов.

Общая оценка эффективности работы карьерного экскаватора с рычажным рабочим оборудованием

Таким образом, рычажное рабочее оборудование обеспечивает высокую степень координации рабочих движений главных механизмов ввиду исключения противодействия механизмов и в конечном счете повышение эффективности эксплуатации карьерного экскаватора.

Применение в карьерных экскаваторах рычажного рабочего оборудования с увеличенными линейными параметрами элементов оборудования (рукоять и несущая рукоять) позволит перейти на схему отработки забоя с двумя подступами. При-

менение данной схемы позволяет получить некоторые преимущества: отрабатывать уступы высотой 30-40 м (в зависимости от принятых моделей экскаваторов), сократить число транспортных горизонтов и увеличить угол откоса рабочего борта карьера.

Особенности работы экскаватора с рабочим оборудованием с поворотным ковшом

Характеристика главных механизмов экскаватора

Рабочее оборудование с поворотным ковшом (рис. 4) включает следующие элементы: стрелу, две рукояти, шарнирно соединенные с задней стенкой ковша и установленные в седловых подшипниках; подвеску ковша, шарнирно соединенную с рукоятью, соединенную с верхней частью задней стенки

ковша.

Поворот ковша осуществляется при перемещении рукояти, соединенной с нижней частью задней стенки ковша.

Рабочее оборудование с поворотным ковшом позволяет машинисту экскаватора дистанционно регулировать угол резания при перемещении ковша за счет изменения угла наклона ковша. Изменение угла наклона ковша улучшает как условия черпания и наполнения ковша, так и его разгрузку в транспортные средства.

Выводы

1. Рычажное рабочее оборудование обеспечивает высокую степень координации рабочих движений главных механизмов.

2. Применение рычажного рабочего оборудования позволит отрабатывать высокие уступы (30-40 м).

3. Применение поворотного ковша улучшает условия наполнения и разгрузки ковша.

4. Инновационные технические решения рабочего оборудования карьерного экскаватора позволяют повысить эффективность эксплуатации экскаватора.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Иванова П. В., Иванов С. Л., Кувшинкин С. Ю. [и др]. Анализ технического состояния карьерных экскаваторов // Горное дело в XXI веке: технологии, наука, образование. Материалы Международной научно-практической конференции. Гор-

ный информационно-аналитический бюллетень. Отдельный выпуск № 60-1. 2015. С. 154-162.

2. Глебов А. В., Репин Л. А. Оценка эффективности применения мехлопат и гидравлических экскаваторов в условиях Кузбасса // Горное оборудование и электромеханика. 2013. № 6. С. 20-22.

3. Зырянов И. В. Производительность выемочно-погрузочного оборудования // Известия вузов. Горный журнал. 2016. № 8. С. 11-19.

4. Пучков М. М., Удачина Т. Е., Васильев В. А., Хаспечов П. Р. К вопросу технико-технологического переоснащения открытых горных разработок // Открытые горные работы, 2000. №3. С. 25-28.

5. Комиссаров А. П., Сайтов В. И., Суслов Н. М. Повышение технического уровня выемочно-погрузочного оборудования // Известия вузов. Горный журнал. 1992. № 7. С. 91-95.

6. Комиссаров А. П. Новые подходы в создании карьерных экскаваторов // Механизация строительства. 2000. № 2. С. 6-7.

7. Корнилков С. В., Яковлев А. В., Маттис А. Р. Некоторые проблемы выпуска мощных отечественных экскаваторов // Известия вузов. Горный журнал. 2011. № 1. С. 12-16.

8. Кубачек В. Р. Некоторые особенности развития одноковшовых экскаваторов // Известия вузов. Горный журнал. 1969. № 8. С. 90-94.

9. Кузнецов А. Л., Анистратов К. Ю., Фурин В. О. Карьерный экскаватор ЭКГ-18 с речным напором – базовая модель продуктовой линейки мехлопат ПАО «Уралмашзавод» // Горная Promышленность. 2016. № 4 (128). С. 9-13.

10. Лагунова Ю. А., Хорошавин С. А., Набиуллин Р. Ш., Калянов А. Е. Анализ металлоконструкций стрелы карьерного экскаватора методом неразрушающего контроля // Транспортное, горное и строительное машиностроение: наука и производство. 2022. № 15. С. 115-123.

11. Подэрни Р. Ю., Булес П. Сравнительный анализ гидравлических и механических экскаваторов с прямой лопатой // Горный журнал. 2015. № 1. С. 55-61.

12. Рехтман А. П., Крагель А. А. Комплексные испытания экскаватора ЭКГ-12 // Механизация строительства. 2001. № 1. С. 24-26.

13. Слесарев Б. В., Булес П. Исследование условий и параметров экскавации мощных карьерных экскаваторов // Материалы конференции «Машины и оборудование для открытых горных работ». В рамках 19-й Международной выставки «Горное оборудование, добыча и обогащение руд и минералов», 21 апреля 2015, Москва. С. 3-4.

14. Федоров Л. Н. К вопросу создания горных машин нового поколения: системный подход // Горное оборудование и электромеханика. 2009. № 7. С. 45-48.

15. Фролов К. В. Методы совершенствования машин и современные проблемы машиноведения. М.: Машиностроение, 1984. 224 с.

16. Шестаков В. С., Хорошавин С. А. Составление моделей для расчета рабочего оборудования карьерных экскаваторов производства ОАО «Уралмашзавод» // Горное оборудование и электромеханика. 2013. № 8. С. 14-19.

17. Bender F. A., Sawodny O. A. Predictive Driver Model for the Virtual Excavator // The 13th International Conference on Control, Automation, Robotics and Vision (ICARCV), 2014, pp. 187-192.

18. Lee B., Kim H. J. Trajectory Generation for an Automated Excavator // Proceedings of the 14 International Conference on Control, Automation and Systems (Iccas/14). Seoul, 2014. P. 716-719.

19. Экскаватор «Горный». Патент на полезную модель № 178976 МПК E 02F 3/00; опублик. 24.04.18. Бюл. № 12.

20. Рабочее оборудование экскаватора. Патент RU № 2721357 МПК E02F 3/28; опублик. 19.05.2020. Бюл. № 14.

© 2022 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:

Комиссаров Анатолий Павлович, проф., доктор техн. наук, Уральский государственный горный университет (620144, Россия, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30), Уральский Федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина (620002, Россия, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19)

Маслеников Олег Александрович, аспирант, Уральский государственный горный университет (620144, Россия, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30)

Набиуллин Рустем Шафкатович, доцент, канд. техн. наук, Уральский государственный горный университет (620144, Россия, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30)

Заявленный вклад авторов:

Комиссаров А.П. – постановка исследовательской задачи; научный менеджмент; концептуализация исследования, выводы.

Маслеников О.А. – обзор соответствующей литературы; написание текста.

Набиуллин Р.Ш. – концептуализация исследования; сбор и анализ данных.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Anatoly P. Komissarov^{1,2}, Oleg A. Maslennikov¹, Rustem S. Nabiullin¹¹Ural State Mining University²Ural Federal University

*E-mail: horoshavin.s@gmail.com

INNOVATIVE TECHNICAL SOLUTIONS IN EXCAVATOR CONSTRUCTION**Article info**

Received:

15 September 2022

Accepted for publication:

01 October 2022

Accepted:

14 October 2022

Keywords: mining excavator, main mechanisms, lever working equipment, rotary bucket.

Abstract.

quarry single-bucket excavators are the main means of mechanization of excavation and loading operations in open-cast mining. Innovative technical solutions for working equipment of a mining excavator protected by RF patents including lever working equipment (without boom) and equipment with a rotary bucket are considered. The main mechanisms of an excavator with lever working equipment that carry out working movements of the bucket are the pressure mechanism and the mechanism for moving the carrier arm, made with a rack and pinion system and having a similar design. The carrying arm movement mechanism functions as a lifting mechanism (with standard working equipment). The results achieved and the technical and economic effect in the implementation of developments are shown. The purpose of the study is to identify reserves for increasing the efficiency of operation of open-pit excavators. A kinematic analysis of the general transmission mechanism of the drives of the main mechanisms has been carried out. Dependences for the kinematic transfer functions of the lever mechanism are obtained, which determine the relationship between the speeds of working movements and the speed of digging, depending on the coordinates of the top of the cutting edge of the bucket. The use of lever working equipment in mining excavators with increased linear parameters of equipment elements (arm and carrying arm) will make it possible to switch to a face mining scheme with two sub-steps.

For citation: Komissarov A.P., Maslennikov O.A., Nabiullin R.S. Innovative technical solutions in excavator construction. *Mining Equipment and Electromechanics*, 2022; 6(164):3-9 (In Russ., abstract in Eng.). DOI: 10.26730/1816-4528-2022-6-3-9

REFERENCES

- Ivanova P.V., Ivanov S.L., Kuvshinkin S.Yu. [et al.] Analysis of the technical condition of quarry excavators. *Mining in the XXI century: technology, science, education. Materials of the International Scientific and Practical Conference. Mining information and analytical bulletin. Separate issue.* 2015; 60(1):154-162.
- Glebov A.V., Repin L.A. Evaluation of the effectiveness of the use of mechanical shovels and hydraulic excavators in the conditions of Kuzbass. *Mining equipment and electromechanics.* 2013; 6:20-22.
- Zyryanov I.V. Productivity of the dredging and loading equipment. *News of universities. Mining magazine.* 2016; 8:11-19.
- Puchkov M.M., Udachina T.E., Vasiliev V.A., Haspekov P.R. On the issue of technical and technological re-equipment of open-pit mining. M.: Open-pit mining; 2000. No. 3. Pp. 25-28.
- Komissarov A.P., Saitov V.I., Suslov N.M. Improving the technical level of the removal and loading equipment. *News of universities. Mining magazine.* 1992; 7: 91-95.
- Komissarov A.P. New approaches in the creation of quarry excavators. *Mechanization of construction.* 2000; 2:6-7.
- Kornilkov S.V., Yakovlev A.V., Mattis A.R. Some problems of launching powerful domestic excavators. *Izvestiya vuzov. Mining magazine.* 2011; 1:12-16.
- Kubachek V.R. Some features of the development of single-bucket ex-vators. *Izvestiya vuzov. Mining Journal.* 1969; 8:90-94.
- Kuznetsov A.L., Anistratov K.Yu., Furin V.O. Quarry excavator EKG-18 with rack-and-pinion head – a basic model of the mechlopat product line of PJSC Uralmashzavod. *Mining Industry.* 2016; 4(128):9-13.
- Lagunova Yu.A., Khoroshavin S.A., Nabiullin R.Sh., Kalyanov A.E. Analysis of metal structures of the boom of a quarry excavator by non-destructive testing. *Transport, mining and construction engineering: science and production.* 2022; 15:115-123.
- Poderni R.Yu., Boules P. Comparative analysis of hydraulic and mechanical excavators with a straight shovel. *Mining journal.* 2015; 1:55-61.

12. Rekhtman A.P., Kragel A.A. Complex tests of the EKG-12 excavator. *Mechanization of construction*. 2001; 1:24-26.

13. Slesarev B.V., Bules P. Research of conditions and parameters of extraction of powerful quarry excavators. *Materials of the conference "Machines and equipment for open-pit mining"*. Within the framework of the 19th International Exhibition "Mining equipment, mining and processing of ores and minerals", April 21. 2015. Moscow. pp. 3-4.

14. Fedorov L.N. On the issue of creating new generation mining machines: a systematic approach. *Mining equipment and Electromechanics*. 2009; 7:45-48.

15. Frolov K.V. Methods of improving machines and modern problems of machine science. Moscow: Mashinostroenie; 1984. 224 p.

16. Shestakov V.S., Khoroshavin S.A. Compilation of models for calculating the working equipment of

quarry excavators produced by JSC Uralmash-Zavod. *Mining equipment and electromechanics*. 2013; 8:14-19.

17. Bender F.A., Sawodny O.A. Predictive Driver Model for the Virtual Excavator. *The 13th International Conference on Control, Automation, Robotics and Vision (ICARCV)*, 2014. pp. 187-192.

18. Lee B., Kim H. J. Trajectory Generation for an Automated Excavator. *Proceedings of the 14 International Conference on Control, Automation and Systems (Iccas/14)*. Seoul, 2014. p. 716-719.

19. Excavator "Mountain". Utility model Patent No. 178976 IPC E 02F 3/00; publ. 04/24/18. Bul. No.12.

20. Working equipment of the excavator. Patent RU No. 2721357 IPC E02F 3/28; publ. 19.05.2020. Byul. No. 14.

© 2022 The Author. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

The author declare no conflict of interest.

About the author:

Anatoly P. Komissarov, Professor, Dr. Sc. in Engineering, Ural State Mining University (30 Kuibyshev str., Yekaterinburg, 620144, Russia), Ural Federal University (Yekaterinburg, st. Mira, 19, 620002, Russia)

Oleg A. Maslennikov, Postgraduate, Ural State Mining University (30 Kuibyshev str., Yekaterinburg, 620144, Russia)

Rustem S. Nabiullin, Associate Professor, C. Sc. in Engineering, Ural State Mining University (30 Kuibyshev str., Yekaterinburg, 620144, Russia)

Contribution of the authors:

Anatoliy P. Komissarov – research problem statement; scientific management; reviewing the relevant literature; drawing the conclusions.

Oleg A. Maslennikov – reviewing the relevant literature; writing the text.

Rustem Sh. Nabiullin – conceptualisation of research; data collection; data analysis.

Author have read and approved the final manuscript.

