



ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПОЛОЖЕНИЯ РАЗРУШАЕМОГО ОБЪЕКТА ОТНОСИТЕЛЬНО КРАЙНЕЙ ОПОРЫ ЭКСКАВАТОРА НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА ГИДРОМОЛОТА

Е. М. Арефьев¹, С. А. Матвиенко², В. В. Комлев³

ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет»,

58, ул. Артема, г. Донецк, ДНР, 83001.

E-mail: ¹ elcross@mail.ru, ² serge-matvienko@yandex.ru, ³ komlev121995@inbox.ru

Получена 24 января 2020; принята 27 марта 2020.

Аннотация. Разработана математическая модель рабочего процесса системы «экскаватор-гидромолот», учитывающая конструктивные параметры гидромолота и свойства разрушаемого объекта. С использованием разработанной математической модели был произведен вычислительный эксперимент, в результате которого построены диаграммы усилий, возникающих в конструктивных элементах экскаватора и гидромолота: в ограничителях хода клина, в ограничителях хода бойка, в подвеске экскаватора и приложенных к разрушаемому материалу. Установлено, что при максимальном выдвигании навесного оборудования (стрелы и рукояти гидромолота) значение приведенной массы экскаватора практически не влияет на усилия в его подвеске, они максимальны для всего диапазона измерений. Установлено, что положение разрушаемого объекта относительно крайней опоры экскаватора оказывает существенное влияние на эффективность рабочего процесса гидромолота; минимальное удаление разрушаемого объекта позволяет реализовать почти в полтора-два раза большие усилия воздействия на разрушаемый материал при минимальных усилиях в подвеске экскаватора.

Ключевые слова: гидромолот, экскаватор, усилие, объект разрушения, подвеска экскаватора.

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПОЛОЖЕННЯ РУЙНОВАНОГО ОБ'ЄКТА ЩОДО КРАЙНЬОЇ ОПОРИ ЕКСКАВАТОРА НА ЕФЕКТИВНІСТЬ РОБОЧОГО ПРОЦЕСУ ГІДРОМОЛОТА

Є. М. Ареф'єв¹, С. А. Матвієнко², В. В. Комлев³

ДОУ ВПО «Донецький національний технічний університет»,

58, вул. Артема, м. Донецьк, ДНР, 83001.

E-mail: ¹ elcross@mail.ru, ² serge-matvienko@yandex.ru, ³ komlev121995@inbox.ru

Отримана 24 січня 2020; прийнята 27 березня 2020.

Анотація. Розроблена математична модель робочого процесу системи «екскаватор-гидромолот» враховує конструктивні параметри гідромолота і властивості об'єкта, що руйнується. З використанням розробленої математичної моделі був проведений обчислювальний експеримент, в результаті якого побудовані діаграми зусиль, що виникають в конструктивних елементах экскаватора і гідромолота: в обмежувачах ходу клина, в обмежувачах ходу бойка, в підвісці экскаватора і прикладених до руйнованого матеріалу. Встановлено, що при максимальному висуванні навесного обладнання (стріли і рукояті гідромолота) значення наведеної маси экскаватора практично не впливає на зусилля в його підвісці, вони максимальні для всього діапазону вимірювань. Встановлено, що положення руйнованого об'єкта щодо крайньої опори экскаватора істотно впливає на ефективність робочого процесу гідромолота; мінімальне видалення руйнованого об'єкта дозволяє реалізувати майже в півтора-два рази більші зусилля впливу на руйнований матеріал при мінімальних зусиллях в підвісці экскаватора.

Ключові слова: гідромолот, экскаватор, зусилля, об'єкт руйнування, підвіска экскаватора.

INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF THE DESTROYED OBJECT POSITION RELATIVE TO THE EXTREME SUPPORT OF THE EXCAVATOR ON THE EFFICIENCY OF THE HYDRAULIC HAMMER WORKING PROCESS

Evgeny Arifyev¹, Sergey Matvienko², Vladislav Komlev³

Donetsk National Technical University,

58, Artema Str., Donetsk, DPR, 83001.

E-mail: ¹ elcross@mail.ru, ² serge-matvienko@yandex.ru, ³ komlev121995@inbox.ru

Received 24 January 2020; accepted 27 March 2020.

Abstract. The developed mathematical model of working process of the system «excavator-hammer» takes into account design parameters of the breaker and properties of the destroyed object. Using the developed mathematical model, a computational experiment was performed, as a result of which diagrams of the forces arising in the structural elements of the excavator and hydraulic hammer were constructed: in the stroke limiters of the wedge, in the stroke limiters of the striker, in the suspension of the excavator and attached to the destroyed material. It was found that with the maximum extension of attachments (boom and hydraulic hammer handle), the value of the reduced weight of the excavator practically does not affect the forces in its suspension, and they are maximum for the entire range of measurements. It is established that the position of the destroyed object relative to outer supports of the excavator has a significant impact on workflow efficiency breaker; minimal removal of the destroyed object allows you to implement almost in half twice great efforts impact on destructible material with minimal effort in the suspension of the excavator.

Keywords: hydraulic hammer, excavator, force, object of destruction, excavator suspension.

Формулировка проблемы

Отбойные гидравлические молоты широко применяются для разрушения строительных материалов, горных пород и прочных грунтов. Опыт эксплуатации машин ударного действия показывает их высокую эффективность при реконструкции и сносе строительных объектов, сооружении транспортных магистралей, проведении тоннелей, подготовке строительных площадок и т. д.

В настоящее время существуют различные конструкции устройств ударного действия, среди которых наибольшее распространение получили пневмогидравлические и гидравлические устройства, к которым относятся и гидромолоты. При этом результаты ряда исследований свидетельствуют, что гидравлические устройства ударного действия обеспечивают относительно высокий коэффициент полезного действия [1, 2].

Широкое распространение гидромолотов ограничивается использованием упрощенных методик расчета, которые не учитывают в полной мере особенности рабочего процесса систе-

мы «экскаватор-гидромолот» и некоторые параметры, влияющие на эффективность работы.

Анализ последних исследований и публикаций

Анализ работ, в которых начато решение данной проблемы и на которые опирается автор, выделяя нерешенные ранее части общей проблемы – которым посвящена статья.

Цели

Целью данной работы является оценка динамических параметров, обеспечивающих эффективное разрушение материала, системы «экскаватор-гидромолот» с учетом возможных положений разрушаемого объекта.

Основной материал

Для достижения этой цели были поставлены и решены следующие задачи: разработка расчетной схемы динамической системы «экскаватор-

гидромолот»; разработка математической модели рабочего процесса гидромолота; получение расчетных зависимостей для определения усилий, возникающих в конструктивных элементах; определение влияния положения разрушаемого объекта относительно крайней опоры экскаватора на эффективность рабочего процесса гидромолота. Расчетная схема для вывода математической модели приведена на рис. 1.

Данная расчетная схема описывается системой дифференциальных уравнений:

$$\begin{cases} Y_{II} = \frac{1}{M_{II}} [S_n - S_{np} + S_{кд2} - S_{кд1} + S_{ки2} - S_{ки1}] \\ Y_{д} = \frac{1}{M_{д}} [S_{np} - S_{тр} + S_{кд1} - S_{кд2}] \\ Y_{и} = \frac{1}{M_{и}} [S_{тр} - S_{мпр} + S_{ки1} - S_{ки2}] \end{cases}, (1)$$

где $Y_{II}, Y_{д}, Y_{и}$ – координаты подвески экскаватора, бойка гидромолота и рабочего органа гидромолота соответственно.

С помощью дифференциальных уравнений на основании расчетной схемы с базовыми пара-

метрами экскаватора ЕК–14 и гидромолота FINE–6BL производства компании «Feel Industrial Engineering Co., ltd» (Ю. Корея) была построена математическая модель рабочего цикла.

С использованием разработанной математической модели был произведен вычислительный эксперимент, в результате которого построены диаграммы усилий (рис. 2): приложенных к разрушаемому материалу; в ограничителях хода клина; в ограничителях хода бойка; в подвеске экскаватора. Время моделирования составляло 2 секунды.

Рассмотрим каждую из диаграмм для определения основных параметров разрушения массива и анализа процесса работы гидромолота.

Амплитуда усилия воздействия на разрушаемый материал находится в диапазоне от 0 Н до 10^6 Н. Основное рабочее значение усилия составляет $6 \cdot 10^5$ Н и имеет период 0,25 сек.

На диаграмме усилий в подвеске экскаватора отчетливо виден переходной процесс длительностью 0,25 сек., который вызван первым контактом бойка с массивом. После завершения

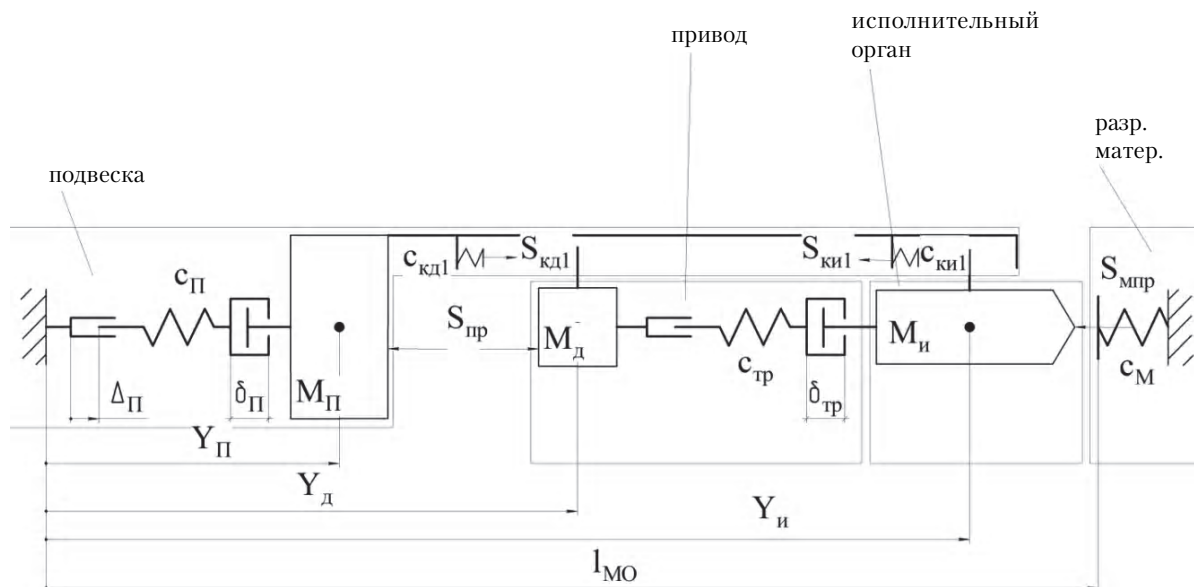


Рисунок 1. Расчетная схема системы «экскаватор-гидромолот»: $C_{II}, \delta_{II}, \Delta_{II}$ – жесткость, коэффициент сопротивления движению и смещение подвески экскаватора соответственно; $l_{МО}$ – текущая координата гидромолота; $S_{кд1}, S_{ки1}, S_n, S_{np}, S_{кд2}, S_{ки2}, S_{тр}, S_{мпр}$ – усилия в заднем ограничителе хода бойка, в заднем ограничителе хода клина, в подвеске экскаватора, приводящее боёк в движение и прижатия гидромолота к разрушаемому материалу соответственно; $M_{II}, M_{д}, M_{и}$ – приведенная масса экскаватора, бойка и клина гидромолота соответственно; $\delta_{тр}, \delta_{II}$ – зазор в соединении боек-клин и в подвеске базовой машины соответственно; $C_{тр}, C_{кд1}, C_{кд2}, C_{ки1}, C_{ки2}, C_{м}$ – коэффициенты жесткости бойка, ограничителя хода клина, ограничителя хода бойка и при контакте рабочего органа с разрушаемым материалом соответственно.

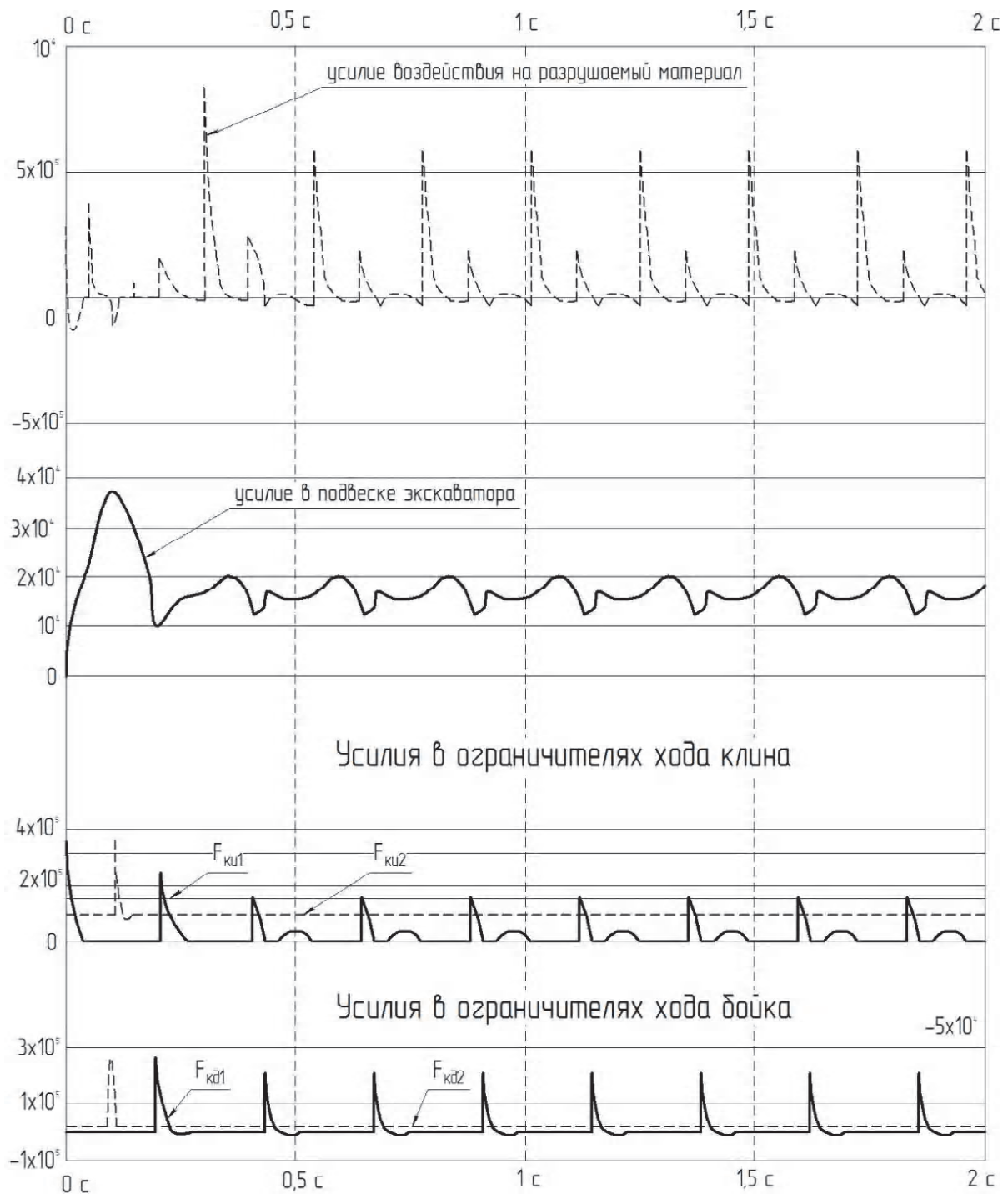


Рисунок 2. Диаграммы рабочего процесса гидромолота и экскаватора.

переходного процесса усилия в подвеске экскаватора приобретают периодический характер с амплитудой колебаний $2 \cdot 10^4$ Н, увеличение усилия в подвеске возникает после ударов бойка и клина.

На диаграмме усилий в ограничителях хода клина представлены усилия двух ограничителей. Поскольку в данных расчетах наличие переднего ограничителя не предусматривалось, его жесткость была принята равной нулю и роль этого

ограничителя выполнял разрушаемый материал (прямая линия на диаграмме).

Задний ограничитель представляет собой пружину, которая воспринимает удар при обратном движения клина. Усилие в этом ограничителе составляет около $3 \cdot 10^5$ Н, и период его колебаний соответствует периоду движения бойка.

Последняя диаграмма описывает усилия в ограничителях хода бойка. Как и в предыдущей диаграмме, роль переднего ограничителя исполняет клин. Амплитуда усилий составляет $2 \cdot 10^5$ Н.

С использованием разработанной математической модели (1) были проведены исследования влияния положения разрушаемого объекта относительно крайней опоры экскаватора на эффективность рабочего процесса гидромолота, которая оценивалась усилиями воздействия гидромолота на материал при разрушении и усилиями в подвеске экскаватора.

Исследование влияния приведенной массы на эффективность работы гидромолота проводилось для двух положений горного массива относительно экскаватора: при максимальном удалении – 5 м и при минимальном удалении – 2 м.

Моделирование проводилось в диапазоне изменения приведенной массы экскаватора от + 100 % до – 50 % от номинальных значений. График влияния приведенной массы на усилия воздействия гидромолота на разрушаемый материал представлены на рис. 3.

Анализ этого графика позволяет сделать выводы о том, что разрушение вблизи экскаватора является более эффективным, чем на максимальном удалении от него для всех значений его приведенной массы. При этом усилие воздействия гидромолота на разрушаемый материал вблизи экскаватора составляет 850...1 080 кН, а на максимальном удалении 600.. 740 кН. Следовательно, при минимальном удалении от разрушаемого объекта (2 м) эффективность разрушения в полтора-два раза выше по сравнению с максимальным удалением (5 м).

Зависимость усилия в подвеске экскаватора от его приведенной массы представлены на рис. 4.

Как видно из графика, при различных значениях приведенной массы экскаватора усилия в его подвеске изменяются в диапазоне 15... 29 кН. При максимальном удалении разрушаемого объекта диапазон изменения усилия в подвеске

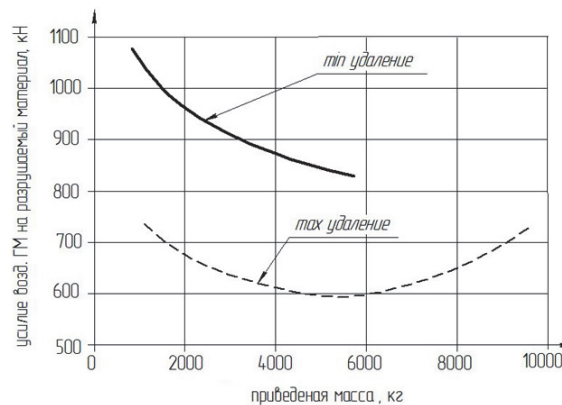


Рисунок 3. График зависимости усилия воздействия гидромолота на разрушаемый материал от приведенной массы.

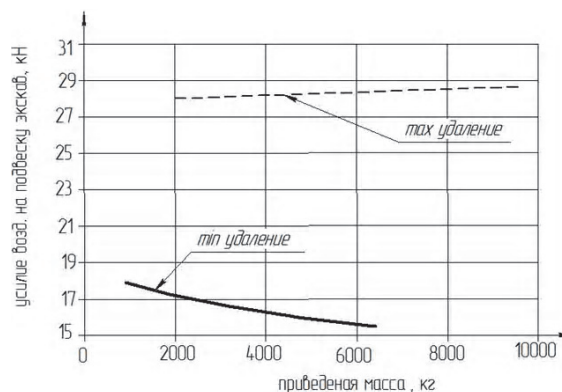


Рисунок 4. График зависимости усилия в подвеске экскаватора от его приведенной массы.

составляет 1 кН. Это позволяет сделать вывод о том, что при максимальном выдвигании навесного оборудования (стрелы и рукояти гидромолота) значение приведенной массы экскаватора практически не влияет на усилия в его подвеске, они максимальны для всего диапазона измерений. Работа в таком режиме приводит к большим нагрузкам на элементы конструкции экскаватора и является не рациональной. Соответственно при минимальном удалении гидромолота от экскаватора усилия в подвески минимальны и составляют от 15 кН до 18 кН.

Выводы

Таким образом, положение разрушаемого объекта относительно крайней опоры экскаватора

оказывает существенное влияние на эффективность рабочего процесса гидромолота. Минимальное удаление разрушаемого объекта позволяет ре-

ализовать почти в полтора-два раза большие усилия воздействия на разрушаемый материал при минимальных усилиях в подвеске экскаватора.

Литература

1. Галдин, Н. С. Основы теории многоцелевых гидродударных рабочих органов дорожно-строительных машин [Текст] : дис... д-ра техн. наук : 05.05.04 / Галдин Николай Семенович. – Омск, 2000. – 325 с.
2. Лепешкин, А. В. Гидравлические и пневматические системы [Текст] : учебник / А. В. Лепешкин, А. А. Михайлин ; под ред. Ю. А. Беленкова. – М. : Издательский центр «Академия», 2004. – 336 с.
3. Глотов, Б. Н. Проектирование, изготовление и испытание опытных образцов ручных гидромолотов [Текст] / Б. Н. Глотов : материалы II международ. науч. симп. (21–23 октября 2003 г., Орел). – Орел : ГТУ, 2003. С. 492–493.
4. Горин, А. В. Экспериментальные исследования гидромолотов с высокой энергией удара [Текст] / А. В. Горин, Д. А. Юрьев, С. Н. Семенюк // Механизмы и машины ударного, периодического и вибрационного действия : материалы Международного науч. симп. (17–19 октября 2000 г., Орел). – Орел : ГТУ, 2000. С. 128–130.
5. Жуков, И. А. Развитие научных основ повышения эффективности ударных машин для бурения скважин в горных породах [Текст] : автореф. дис... д-ра техн. наук. / И. А. Жуков. – Новосибирск, 2017. – 39 с.
6. Климов, В. Е. Разработка функциональной схемы процесса построения критериальных уравнений для создания математической модели разрушения минеральных сред ударным инструментом [Текст] / В. Е. Климов // Ударно-вибрационные системы и машины для строительной и горной отраслей : материалы VI Междунар. научн. симпозиума (25–26 апреля 2017 г., Орел). – Орел : ОГУ им. И. С. Тургенева, 2017. С. 121–127.
7. Лагунова, Ю. А. Специфические особенности эксплуатации механизмов ударного действия [Текст] / Ю. А. Лагунова, А. А. Митусов, О. С. Решетникова // «Горная и нефтяная электромеханика – 2016» : мат-лы III Междунар. научно-практ. конф. (10–13 октября 2016 г., Пермь). – Пермь : ПНИПУ, 2016. С. 72–75.
8. Митусов, А. А. Анализ КПД гидравлических молотов горных машин [Текст] / А. А. Митусов // Горный журнал. 2006. № 10. С. 74–76.
9. Митусов, А. А. Исследование процесса раскрытия двухлинейного клапана в фазе рабочего хода гидромолота [Текст] / А. А. Митусов, Ю. А. Лагунова, О. С. Решетникова // Горное оборудование и электромеханика. 2017. № 2. С. 34–40.

Reference

1. Galdin, N. S. Fundamentals of the theory of multipurpose hydraulic shock working bodies of road-building machines [Text] : author's abstract of Sc. D. Thesis : 05.05.04. Omsk, 2000. 325 p. (in Russian)
2. Lepeshkin, A. V.; Mikhaylin, A. A. Hydraulic and pneumatic systems [Text] : textbook. Edited by Yu. A. Belenkov. M. : Publishing Center «Academy», 2004. 336 p. (in Russian)
3. Glotov, B. N. Design, manufacture and testing of prototypes of manual hammers [Text]. In: *Materials of the II International scientific symposium*. Oryol : STU, 2003. P. 492–493. (in Russian)
4. Gorin, A. V.; Yuryev, D. A.; Semenyuk, S. N. Experimental studies of hydrohammers with high impact energy [Text]. In: *Mechanisms and machines of shock, periodic and vibrational action : materials of the International scientific symposium*. Oryol : STU, 2000. P. 128–130. (in Russian)
5. Zhukov, I. A. Development of the scientific basis for increasing the efficiency of shock machines for drilling wells in rocks [Text] : abstract Thesis of Sc. D. in Engineering. Novosibirsk, 2017. 39 p. (in Russian)
6. Klimov, V. Ye. Development of a functional diagram of the process of constructing criteria equations for creating a mathematical model of the destruction of mineral media by a percussion instrument [Text]. In: *Shock-vibration systems and machines for the construction and mining industries : materials of the VI International scientific symposium*. Orel : OSU I. S. Turgenev, 2017. P. 121–127. (in Russian)
7. Lagunova, Yu. A.; Mitusov, A. A.; Reshetnikov O. S. Specific features of the operation of shock mechanisms [Text]. In: *Mining and Petroleum Electromechanics – 2016 : materials of the III International scientific and practical conference*. Perm : PNRPU, 2016. P. 72–75. (in Russian)
8. Mitusov, A. A. Efficiency analysis of hydraulic hammers of mining machines [Text]. In: *Mining journal*. 2006. № 10. P. 74–76. (in Russian)
9. Mitusov, A. A.; Lagunova, Yu. A.; Reshetnikova, O. S. Investigation of the process of opening a two-line valve in the phase of the working stroke of a hydraulic hammer [Text]. In: *Mining equipment and electromechanics*. 2017. № 2. P. 34–40. (in Russian)
10. Mitusov, A. A.; Reshetnikova, O. S. Analysis of parameters and designs of modern hydraulic hammers [Text]. In: *University proceedings*. 2015. № 1. P. 32–35. (in Russian)

10. Митусов, А. А. Анализ параметров и конструкций современных гидромолотов [Текст] / А. А. Митусов, О. С. Решетникова // Труды университета. 2015. № 1. С. 32–35.
11. Орлов, В. А. Гидромолоты для строительства и горнодобывающих карьеров [Электронный ресурс] / В. А. Орлов // Основные средства. 2017. № 5. – Режим доступа : <http://os1.ru/article/10854-gidromoloty-dlya-stroitelstva-i-gornodobyvayushchih-karerov-vashe-slovo-gidromolot-ch-1>.
12. Mohammad influence of increased temperatures on oper-ability of the hydraulic drive [Текст] / A. Mohammad, N. P. Kulikova, E. A. Sorokin [et. al.] // Journal of Siberian federal university engineering and technologies. 2013. № 8. P. 953–956.
13. Romanov, G. Efficiency increase of hard rock destruction with the use of eccentric pulses [Электронный ресурс] / G. Romanov, P. Pushmin // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 2015. № 27. – Режим доступа : doi:10.1088/1755-1315/27/1/012052
14. Petrov, Y. Temporal peculiarities of brittle fracture of rocks and concrete [Текст] / Y. Petrov, I. Smirnov, A. Evstifeev [et. al.] // Frattura ed Integrita Strutturale. 2013. № 24. P. 112–118.
15. Parab, N. Experimental assessment of fracture of individual sand particles at different loading rates [Текст] / N. Parab, B. Claus, M. Hudspeth [et. al.] // Int. J. Impact Eng. 2014. № 68. P. 8–14.
16. Mirone, G. A local viewpoint for evaluating the influence of stress triaxiality and Lode angle on ductile failure and hardening [Текст] / G. Mirone, D. Corallo // International Journal of Plasticity. 2010. № 26. P. 348–371.
17. Kajberg, J. Material characterization using high-temperature Split Hopkinson pressure bar [Текст] / J. Kajberg, K.-G. Sundin // Journal of Materials Processing Technology. 2013. № 213. P. 522–531.
11. Orlov, V. A. Hydrohammers for construction and mining pits [Electronic resource]. In: *Fixed assets*. 2017. № 5. Access mode : <http://os1.ru/article/10854-gidromoloty-dlya-stroitelstva-i-gornodobyvayushchih-karerov-vashe-slovo-gidromolot-ch-1>. (in Russian)
12. Mohammad, A.; Kulikova, N. P.; Sorokin, E. A. [et. al.]. Mohammad influence of increased temperatures on oper-ability of the hydraulic drive [Text]. In: *Journal of Siberian federal university engineering and technologies*. 2013. № 8. P. 953–956. (in English)
13. Romanov, G.; Pushmin, P. Efficiency increase of hard rock destruction with the use of eccentric pulses [Electronic resource]. In: *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. 2015. № 27. Access mode : doi:10.1088/1755-1315/27/1/012052. (in English)
14. Petrov, Y.; Smirnov, I.; Evstifeev, A. [et. al.]. Temporal peculiarities of brittle fracture of rocks and concrete [Text]. In: *Frattura ed Integrita Strutturale*. 2013. № 24. P. 112–118. (in English)
15. Parab, N.; Claus, B.; Hudspeth M. [et. al.]. Experimental assessment of fracture of individual sand particles at different loading rates [Text]. In: *Int. J. Impact Eng*. 2014. № 68. P. 8–14. (in English)
16. Mirone, G.; Corallo D. A local viewpoint for evaluating the influence of stress triaxiality and Lode angle on ductile failure and hardening [Text]. In: *International Journal of Plasticity*. 2010. № 26. P. 348–371. (in English)
17. Kajberg, J.; Sundin, K.-G. Material characterization using high-temperature Split Hopkinson pressure bar [Text]. In: *Journal of Materials Processing Technology*. 2013. № 213. P. 522–531. (in English)

Арефьев Евгений Михайлович – кандидат технических наук, доцент кафедры транспортных систем и логистики ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет». Научные интересы: исследование средств очистки конвейерных лент, обоснование параметров строительных машин.

Матвиенко Сергей Анатольевич – кандидат технических наук, доцент кафедры транспортных систем и логистики ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет». Научные интересы: повышение надежности машин технологическими методами.

Комлев Владислав Витальевич – студент ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет». Научные интересы: строительная техника, энергосбережение.

Ареф'єв Євген Михайлович – кандидат технічних наук, доцент кафедри транспортних систем і логістики ДДУ ВПО «Донецький національний технічний університет». Наукові інтереси: дослідження засобів очищення конвеєрних стрічок, обґрунтування параметрів будівельних машин.

Матвієнко Сергій Анатолійович – кандидат технічних наук, доцент кафедри транспортних систем і логістики ДДУ ВПО «Донецький національний технічний університет». Наукові інтереси: підвищення надійності машин технологічними методами.

Комлев Владислав Віталійович – студент ДОУ ВПО «Донецький національний технічний університет». Наукові інтереси: будівельна техніка, енергозбереження.

Arifyev Evgeny – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Transportation Systems and Logistics Department, Donetsk National Technical University. Scientific interests: research of means of conveyor belts cleaning, substantiation of parameters of construction machines.

Matvienko Sergey – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Transportation Systems and Logistics Department, Donetsk National Technical University. Scientific interests: improving the reliability of machines by technological methods.

Komlev Vladislav – student, Donetsk National Technical University. Scientific interests: construction machinery, energy conservation.