

# Модернизация стрелы экскаватора ЭШ-10/70 в условиях технологического суверенитета

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2024-2-47-51>

Кризисные явления в отечественном машиностроении существенно повлияли на темпы своевременного обновления парка горной техники. В результате этого горнодобывающие предприятия столкнулись с проблемой поддержания работоспособности имеющихся горных машин в состоянии, позволяющем достигать намеченных плановых показателей. Для решения этого был предложен методический подход, интегрирующий методы современного оптимального проектирования металлоконструкций экскаваторов и инновационные решения, связанные с модернизацией элементов горных машин, учитывающий влияние внешних факторов, климатических и горно-геологических условий, а также защищенность персонала при ремонтном обслуживании металлоконструкций экскаваторов.

**Ключевые слова:** модернизация, эксплуатация стрелы, защита от намерзаний, пресс-настил, прочность стрелы, настройка геометрии, технологическая и конструкторская документация.

**Для цитирования:** Модернизация стрелы экскаватора ЭШ-10/70 в условиях технологического суверенитета / Л.И. Андреева, П.В. Давыдов, И.М. Шангареев и др. // Уголь. 2024. № 2. С. 47-51. DOI: 10.18796/0041-5790-2024-2-47-51.

## ВВЕДЕНИЕ

Важным фактором поддержания надежности и повышения эффективности эксплуатации выемочно-погрузочной техники, особенно в условиях резко континентального климата, является качественный и своевременный ремонт. Особенно сложным является восстановление металлоконструкций экскаваторов, ремонт которых ввиду большой металлоемкости и габаритов, как правило, производится в полевых условиях, в том числе, и при низких температурах.

Длительные сроки эксплуатации экскаваторов (25-30 лет и более), связанные с необходимостью проведения двух- или трехкратных капитальных ремонтов, ставят вопрос об объективной оценке технического состояния и уровня надежности основных узлов машины на любом этапе эксплуатации [1].



### АНДРЕЕВА Л.И.

Доктор техн. наук, профессор,  
главный научный сотрудник ЧФ  
Института горного дела  
Уральского отделения РАН,  
зав. отделом ремонта ГТО  
Научно-исследовательского института  
эффективности и безопасности  
горных работ,  
454048, г. Челябинск, Россия,  
e-mail: tehnozem74@list.ru



### ДАВЫДОВ П.В.

Директор по инжинирингу и кооперации  
АО «ЭКГСервис»,  
454000, г. Челябинск, Россия,  
e-mail: davidov@ekg-servis.ru



### ШАНГАРЕЕВ И.М.

Технический директор АО «ЭКГСервис»,  
454000, г. Челябинск, Россия,  
e-mail: ildar@ekg-servis.ru



### ЛАПИН В.О.

Коммерческий директор  
АО «ЭКГСервис»,  
454000, г. Челябинск, Россия,  
e-mail: lapin@ekg-servis.ru

Экскаваторы марок ЭШ-10/70, ЭШ-13/50 и ЭШ-14/50 (НKMЗ) находятся в эксплуатации с 1970-х годов, прошли несколько модернизаций и капитальных ремонтов. Большинство из них эксплуатируются на угольных и горнорудных предприятиях по настоящее время.

Все этапы ремонта шагающих экскаваторов являются достаточно сложными технологическими процессами, начиная с демонтажа узлов, ремонта и заканчивая сборкой, наладкой и испытанием.

По сравнению с другими марками выемочно-погрузочной техники шагающие экскаваторы, обладающие значительными габаритами и массой, имеют, как объекты ремонтных воздействий, ряд особенностей: большой объем демонтажно-монтажных операций, значительные трудозатраты, необходимость размещения узлов на большой площади [1].

В настоящее время, по известным причинам, заводы-изготовители, в частности НКМЗ, Донецк-Гормаш, не способны поставлять запасные части к данным моделям экскаваторов, которые по-прежнему востребованы и продолжают эксплуатироваться в горнорудной промышленности России. Особенно остро ощущается дефицит качественных запасных частей.

Следовательно, для сохранения парка шагающих экскаваторов, их целевого использования на горнодобывающих предприятиях (ГДП) необходимо последовательно развивать изготовление запасных частей и металлоконструкций на отечественных площадках с гарантией качества и по приемлемой стоимости.

### ПРОВЕДЕННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Непрерывный рост производственной мощности и глубины карьеров, повышение коэффициента вскрыши и доли крепких пород вызывают необходимость повышения эффективности использования экскаваторов, уровня надежности их узлов, агрегатов и металлоконструкций [2, 3].

Особый интерес представил анализ информации об уровне защищенности металлоконструкций шагающих экскаваторов от внешних условий (туман, изморозь, наледи), особенно в периоды воздействия наиболее низких отрицательных температур, когда высок рост отказов узлов и агрегатов [4]. Так, предельные значения отрицательных температур составляют для экскаваторов ЭКГ-8И, ЭКГ-10 от  $-30^{\circ}\text{C}$  до  $-35^{\circ}\text{C}$ , ЭШ 10/70, ЭШ 15/90 –  $-35^{\circ}\text{C}$ . Такие ограничения связаны главным образом с низким уровнем хладостойкости применяемых сталей, большим сроком эксплуатации данных машин и частыми ремонтными воздействиями. В связи с этим уровень активированного простоя экскаваторов должен устанавливаться техническими службами в соответствии со значениями критических температур.

Основным ограничивающим фактором работы экскаваторов является предельный уровень ударной вязкости базовых узлов и металлоконструкций, определяющий предел их хладноломкости (рис. 1).

Понятия хладноломкости и хладостойкости характеризуют взаимосвязь прочности металлоконструкций экскаватора ЭШ-10/70, в данном случае стрелы, с уровнем низ-

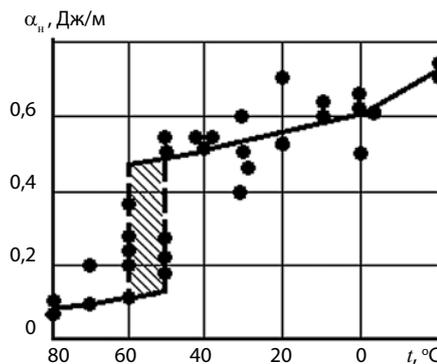


Рис. 1. Зависимость ударной вязкости  $\alpha_n$  стали от температуры  $t$  испытания

Fig. 1. Dependence of the steel impact strength  $\alpha_n$  on the test temperature

ких отрицательных температур. Согласно данным академика А.Ф. Иоффе, изменение свойств металла и переход его из вязкого состояния в хрупкое происходят в узком интервале температур, разброс значений которых составляет  $2-7^{\circ}\text{C}$ , условно принимаемом за порог хладноломкости стали [4, 5].

В частности, исследованиями установлено, что с увеличением габаритов металлоконструкций резко возрастает вероятность появления в них опасных зон, ослабленных дефектами кристаллической решетки (влияние знакопеременных динамических нагрузок), которые являются потенциальными очагами развития хрупких трещин в местах соединения элементов конструкций и сварочных швов.

Возрастание частоты отказов в зимний период также связано с резким изменением суточных температур при значительных амплитудах их колебаний [6, 7].

В массивных узлах экскаватора (опорная база, роликотворный круг, стрела и др.) перепады температур вызывают перераспределение напряжений по сечению узлов, усиливаемое действиями внешних нагрузок. Это приводит к резким концентрациям напряжений, что является дополнительной причиной возникновения хрупких разрушений металлоконструкций экскаватора даже в интервале температур  $-20^{\circ}\text{C}$  –  $-25^{\circ}\text{C}$ .

Следует также учитывать, что в условиях резко континентального климата частые изменения суточных температур являются дополнительными причинами хрупких разрушений, которые могут проявляться в любом диапазоне отрицательных температур, включая и критические [8, 9, 10].

### МЕТОДИЧЕСКИЙ ПОДХОД

Проблема повышения надежности карьерных экскаваторов, в частности экскаватора ЭШ- 10/70, может быть решена следующими шагами:

- применением современных методов оптимального проектирования узлов и металлоконструкций экскаватора на базе системного многокритериального подхода [11, 12];
- разработкой решений, направленных на совершенствование материалов, узлов и деталей, ресурс которых

лимитируется их техническим состоянием. Это осуществляется внедрением прогрессивных упрочняющих технологий, принципиально новых видов защиты конструкций от наледи и, соответственно, безопасности обслуживающего персонала;

– использованием средств оценки напряженно-деформированных состояний металлоконструкций, контроля и диагностики элементов экскаватора на стадиях проектирования, производства, испытаний и эксплуатации [13, 14, 15].

### КОНСТРУКТОРСКОЕ РЕШЕНИЕ

К представителям технических служб горнодобывающих предприятий всегда предъявлялись высокие требования по обеспечению работоспособности горной техники, которые усилились в текущих условиях ограничения поставок запасных частей и перенастройки логистических цепочек.

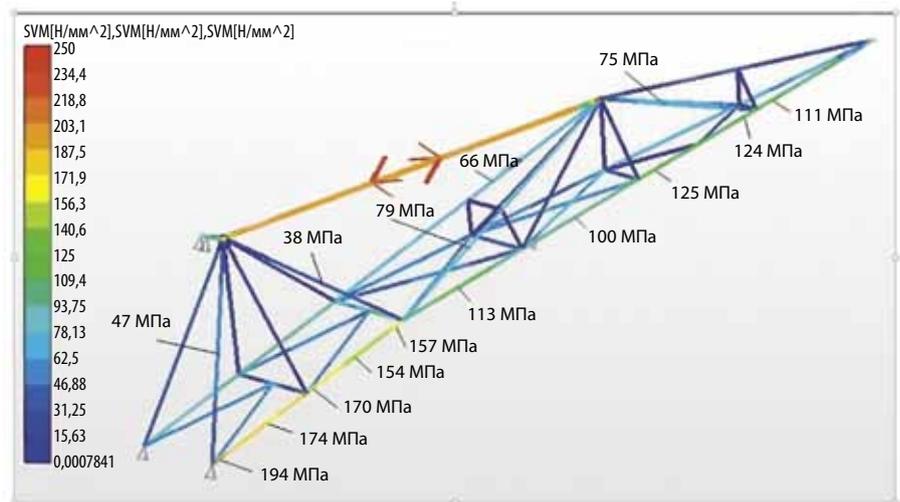
Изучение опыта эксплуатации и модернизации стрел экскаваторов ЭШ-10/70 на многих ГДП позволило специалистам челябинского предприятия АО «ЭКГСервис» зафиксировать основные недочеты, слабые места в конструкциях стрел, неудобства при эксплуатации и ремонтном обслуживании.

Результатом этих исследований стало подписание договора с одним из горнодобывающих предприятий в Красноярском крае об изготовлении и поставке модернизированной стрелы на шагающий экскаватор ЭШ-10/70. Сложность конструкции стрелы и наличие нескольких видов нагрузок требовали применения специальных программ для точного расчета напряжения.

Совместно с учеными кафедры «Горные машины и комплексы» Уральского государственного горного университета (г. Екатеринбург) были проработаны и рассчитаны необходимые изменения в конструкции стрелы с применением новейших технологий 3D-проектирования, позволяющих определить значения напряжений во всех элементах стрелы, подобрать рациональные геометрические параметры и внести элементы модернизации, тем самым улучшить параметры металлоконструкции (рис. 2), а именно:

– разместить лестницы для осмотра по обе стороны стрелы, что позволило сбалансировать металлоконструкцию по нагрузке, определить и применить в конструкции оптимальное значение угла наклона лестниц и площадок для обслуживания (площадка прожекторов, площадки пилонов, площадка головы стрелы) относительно горизонта, что позволит значительно повысить безопасность перемещения персонала при осмотре стрелы и дефектации;

– заменить заводское покрытие ступенек и площадок обслуживания на оцинкованный пресс-настил, что позволит избежать налипания и намерзания снега в осенне-



Условие прочности выполняется. Коэффициент запаса по пределу текучести 1,78.

Условие устойчивости выполняется. Коэффициент запаса по устойчивости > 9.

Рис. 2. Результаты расчета при максимальном вылете грузевого ковша

Fig. 2. Calculation results with the maximum reach of the loaded bucket



Рис. 3. Замена стандартного покрытия площадок обслуживания на пресс-настил

Fig. 3. Replacement of the conventional service area flooring with the press-locked steel grating

зимние периоды и безопасно передвигаться персоналу по лестничным маршам (рис. 3);

– разработать конструкцию переходного конуса с внутренними ребрами жесткости («плавник акулы»), что позволит значительно упрочнить конструкцию и снять внутреннее напряжение узла (рис. 4);

– изменить форму каплевидной серьги, что позволит увеличить ее прочность в два раза;

– заменить ролики на подшипниках на рельсы с возможностью быстрой замены;

– улучшить конструкцию верхнего пояса для упрощения контроля сварных швов. В изготовлении конструкции был применен металлический лист (12 м), что позволит снизить количество сварных швов практически в два раза (рис. 5).

В результате модернизации стрелы ее масса увеличилась всего на 2,8 т (с 52 до 54,8 т, по нормативам допусти-

мо до 60 т). При расчетах была учтена дополнительная внешняя нагрузка на металлоконструкцию (снег, оборудование, персонал, инструмент) до 10% от массы стрелы.

Все реализованные конструктивные решения соответствуют актуальным требованиям ТБ при эксплуатации техники на горнодобывающих предприятиях РФ (Правила безопасности при ведении горных работ и переработке твердых полезных ископаемых от 8 декабря 2020 г. № 505).

К изделию приложен полный комплект ремонтно-технологической и эксплуатационной документации, разработанный Институтом эффективности и безопасности горного производства (НИИОГР, г. Челябинск) на основе действующих ГОСТов и требований Ростехнадзора РФ: «Технологическое руководство на монтаж-демонтаж, сборку-разборку стрелы», паспорт изделия, формуляр, Методика нивелировки стрелы. Расчеты на прочность выполнены кафедрой «Горные машины и комплексы» Уральского государственного горного университета.

### ВЫВОДЫ

Разработанные решения по модернизации стрелы экскаватора ЭШ-10/70, при надлежащей его эксплуатации, позволят значительно повысить срок службы данных моделей машин, продлят ресурс основных металлоконструкций и, что немаловажно, обеспечат безопасность обслуживания экскаватора.

Имеющиеся наработки и технологии, использование современных методов проектирования металлоконструкций, узлов и агрегатов экскаваторов в перспекти-

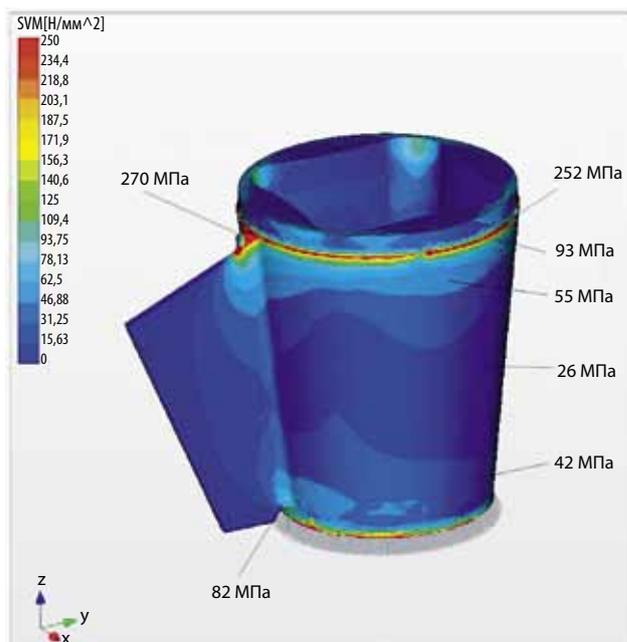


Рис. 4. Результаты расчета напряжения для конуса нижней секции

Fig. 4. Stress calculation results for the bottom section cone

ве позволят наладить изготовление на отечественных площадках и поставку в любой регион необходимых запасных частей в установленные сроки, с гарантией и по приемлемой стоимости.

Рис. 5. Установка собранной стрелы на монтажной площадке изготовителя

Fig. 5. Installation of the assembled boom at the manufacturer's assembly site



### Список литературы

1. Анистратов Ю.А., Анистратов К.Ю. Технологические процессы открытых горных работ. М: ООО НТЦ Горное дело, 2008. 448 с.
2. Булес П. эффективность эксплуатации карьерных экскаваторов с электромеханическим и гидравлическим приводом основных механизмов // Горная промышленность. 2014. № 6. С. 36-37.
3. Вэблер Д. Сопоставительный анализ карьерного погрузочно-оборудования // Горный журнал. 1995. № 12. С. 5-8.
4. Махно Д.Е. Эксплуатация и ремонт карьерных экскаваторов в условиях Севера. М: Недра, 1984. 130 с.
5. Доронин С.В. Расчеты на прочность и прогнозирование надежности элементов металлоконструкций карьерных экскаваторов: дисс. ... канд. техн. наук. Красноярск, 1993. 163 с.
6. Зайцев Л.В. Исследование функциональных взаимосвязей и определение рациональных значений основных параметров одноковшовых экскаваторов: дисс. ... канд. техн. наук. М., 1971.
7. Горные машины. Машиностроение. Энциклопедия. Т. IV-24 / Ю.А. Лагунова, А.П. Комиссаров, В.С. Шестаков и др. М.: Машиностроение, 2011. 496 с.
8. Живейнов Н.Н., Карасев Г.Н., Павлов В.П. проектирование одноковшовых экскаваторов с применением ЭВМ и САПР. Красноярск, КГТУ. 1988. 184 с.
9. Корнилов С.В., Яковлев А.В., Маттис А.Р. Некоторые проблемы выпуска мощных отечественных экскаваторов // Известия вузов. Горный журнал. 2011. № 1. С. 12-16.

10. Комиссаров А.П. Новые подходы в создании карьерных экскаваторов // Механизация строительства. 2000. № 2. С. 6-7.
11. Климов С.А., Хаспеков П.Р., Штейнцайг Р.М. О программе кооперативного производства экскаваторов нового поколения // Горная промышленность. 1999. № 2. С. 15-17.
12. Павлов В.П. Методология автоматизированного проектирования рабочего оборудования одноковшовых экскаваторов: дисс. ... докт. техн. наук. Омск, 2012. 350 с.
13. Савченко А.Я. Совершенствование методологии оценки качества высокопроизводительного экскавационного оборудования большой единичной мощности на этапе эксплуатации // Горные машины и автоматика. 2001. № 1. С. 4–6.
14. Geu Flores F., Kecskemethy A., Pottker A. Workspace analysis and maximal force calculation of a face-shovel excavator using kinematical transformers / 12th IFToMM World Congress. Besancon. June 18–21. 207. P. 6.
15. Park B. Development of a virtual reality excavator simulator: a mathematical model of excavator digging and a calculation methodology. PhD Diss. Virginia Polytechnic Institute and State University. Blacksburg, Virginia. USA, 2002. 223 p.

Original Paper

UDC 622.7.621.867.2 © L.I. Andreeva, P.V. Davydov, I.M. Shangareev, V.O. Lapin, 2024  
 ISSN 0041-5790 (Print) • ISSN 2412-8333 (Online) • Ugol' – Russian Coal Journal, 2024, № 2, pp. 47-51  
 DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2024-2-47-51>

#### Title

**MODERNIZATION OF THE ЭШ-10/70 EXCAVATOR BOOM IN TERMS OF TECHNOLOGICAL SOVEREIGNTY**

#### Authors

Andreeva L.I.<sup>1,2</sup>, Davydov P.V.<sup>3</sup>, Shangareev I.M.<sup>3</sup>, Lapin V.O.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Institute of Mining of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, 620219, Russian Federation

<sup>2</sup> Scientific Research Institute of Mining Efficiency and Safety, Chelyabinsk, 454048, Russian Federation

<sup>3</sup> «EKG Servis» JSC, Chelyabinsk, 454000, Russian Federation

#### Authors Information

**Andreeva L.I.**, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Chief Researcher, Head of the TRP Repair Department, e-mail: [tehnorem74@list.ru](mailto:tehnorem74@list.ru)

**Davydov P.V.**, Director of Engineering and Cooperation, e-mail: [davidov@ekg-servis.ru](mailto:davidov@ekg-servis.ru)

**Shangareev I.M.**, Technical Director, e-mail: [ildar@ekg-servis.ru](mailto:ildar@ekg-servis.ru)

**Lapin V.O.**, Commercial Director, e-mail: [lapin@ekg-servis.ru](mailto:lapin@ekg-servis.ru)

#### Abstract

The crisis phenomena in the domestic engineering industry significantly affected the pace of timely renewal of the mining equipment fleet, as a result, mining enterprises faced the problem of maintaining the operability of existing mining machines in a condition that allows them to achieve the planned targets. To solve this, a methodological approach was proposed that integrates the methods of modern optimal design of metal structures of excavators and innovative solutions related to the modernization of elements of mining machines, taking into account the influence of external factors, climatic and mining-geological conditions, the protection of personnel during the repair of metal structures of excavators.

#### Keywords

Modernization, Boom operation, Frost protection, Press flooring, Boom strength, Geometry adjustment, Technological and design documentation.

#### References

1. Anistratov Yu.A. & Anistratov K.Yu. Technological processes of open-pit mining. Moscow, NTC Mining LLC Publ., 2008, 448 p.
2. Boules P. efficiency of operation of quarry excavators with electromechanical and hydraulic drive of the main mechanisms. *Gornaya promyshlennost*, 2014, (6), pp. 36-37.
3. Vabler D. Comparative analysis of quarry loading equipment. *Gornyj zhurnal*, 1995, (12), pp. 5-8.
4. Makhno D.E. Operation and repair of quarry excavators in the conditions of the North. Moscow, Nedra Publ., 1984, 130 p.
5. Doronin S.V. Strength calculations and reliability prediction of elements of metal structures of quarry excavators: diss. ... candidate of technical sciences. Krasnoyarsk, 1993, 163 p.

6. Zaitsev L.V. Investigation of functional relationships and determination of rational values of the main parameters of single-bucket excavators: diss. ... candidate of technical sciences. Moscow, 1971.

7. Lagunova N.A., Komissarov & Shestakov V.S. et al. Mining machines. Mechanical engineering. Encyclopedia. Vol. IV-24. Moscow, Mashinostroenie Publ., 2011, 496 p.

8. Zhiveynov N.N., Karasev G.N. & Pavlov V.P. design of single-bucket excavators using computers and CAD. Krasnoyarsk, KSTU Publ., 1988, 184 p.

9. Kornilkov S.V., Yakovlev A.V. & Mattis A.R. Some problems of production of powerful domestic excavators. *Izvestiya vuzov. Gornyj zhurnal*, 2011, (1), pp. 12-16.

10. Komissarov A.P. New approaches in the creation of quarry excavators. *Mekhanizatsiya stroitelstva*, 2000, (2), pp. 6-7.

11. Klimov S.A., Haspekov P.R. & Steinzeig R.M. On the program of cooperative production of new generation excavators. *Gornaya promyshlennost*, 1999, (2), pp. 15-17.

12. Pavlov V.P. Methodology of computer-aided design of working equipment of single-bucket excavators: diss. ... doct. technical sciences. Omsk, 2012, 350 p.

13. Savchenko A.Ya. Improving the methodology for assessing the quality of high-performance excavating equipment of large unit capacity at the operational stage. *Gornye mashiny i avtomatika*, 2001, (1), pp. 4-6.

14. Geu Flores F., Kecskemeti A. & Pottker A. Analysis of the working space and calculation of the maximum force of a single-bucket excavator using kinematic transformers. 12th IFToMM World Congress. Besancon. June 18-21, 207, pp. 6.

15. Park B. Development of a virtual reality excavator simulator: a mathematical model of digging with an excavator and a calculation method. Doctoral dissertation. Virginia Polytechnic Institute and the State University of Virginia. Blacksburg, Virginia. USA, 2002, 223 p.

#### For citation

Andreeva L.I., Davydov P.V., Shangareev I.M. & Lapin V.O. Modernization of the ЭШ-10/70 excavator boom in terms of technological sovereignty. *Ugol'*, 2024, (2), pp. 47-51. (In Russ.). DOI: [10.18796/0041-5790-2024-2-47-51](https://doi.org/10.18796/0041-5790-2024-2-47-51).

#### Paper info

Received December 18, 2023

Reviewed January 15, 2024

Accepted January 26, 2024

#### MINING EQUIPMENT