

УДК 624.042.12

DOI: 10.30987/1999-8775-2021-11-66-72

А.Б. Летопольский, П.А. Корчагин, И.А. Тетерина

## РАБОЧЕЕ ОБОРУДОВАНИЕ ЭКСКАВАТОРА ДЛЯ ВЫБОРОЧНОГО РЕМОНТА ТРУБОПРОВОДА

Предложен вариант модернизации конструкции рабочего оборудования экскаватора для выборочного ремонта трубопровода. Основная идея заключается в дополнении основного рабочего оборудования экскаватора конструкцией, состоящей из трех зубьев, образующих в совокупности с ковшом захватный механизм. Представлена расчетная схема. Для подтверждения работоспособности предложенной конструкции

проведены теоретические исследования, направленные на определение устойчивости машины для наиболее опасных расчетных рабочих положений экскаватора, и установлены допустимые типоразмеры труб, при работе с которыми устойчивость машины сохраняется.

**Ключевые слова:** экскаватор, ремонт трубопровода, ковш, рабочее оборудование, захват.

A.B. Letopolsky, P.A. Korchagin, I.A. Teterina

## EXCAVATOR WORKING EQUIPMENT FOR ISLANDS OF PIPELINE REPAIR

Work objective. Modernization of the excavator's working equipment design intended for islands of pipeline repair together with confirmation of its operability by checking the machine for stability, carrying out the necessary calculations of the hydraulic system.

Methods. The main idea is in accessorizing the main working equipment of the excavator with a structure consisting of three teeth, which is in a body with an excavator bucket form a pickup mechanism. To confirm the operability of the proposed design, theoretical studies have been carried out aimed at determining the stability of the machine for the most dangerous design operating positions, and permissible pipe sizes have been established so that working with these sizes provides the stability of the machine.

Results. A variant of improving the design of the excavator working equipment of the third size group has been developed. The equipment is intended for carrying out random repair of the pipeline by the excavator without involving other road construction equipment (for example, a pipelaying crane). The proposed design of the working body allows speeding

pipeline repair by reducing the time spent on changing or relocating the equipment, which as a result reduces the cost of repair work.

Conclusions. Calculations of the excavator hydraulic system have been carried out. In addition, as a result of theoretical studies, calculated dependences have been obtained, which made it possible to establish the stability coefficient of the excavator of the third size group when working with upgraded equipment and the pipeline diameter in the range of 720 ...1420 mm. As a result of the research, it was found that the proposed equipment is effective for carrying out random repairs of pipelines with diameters of 720, 1020 and 1220 mm. The stability of the machine in the most dangerous positions is being carried out. The calculation shows that when the excavator does demolition works of a pipeline with a diameter of 1420 mm, there is a danger of overturning the machine due to a decrease in the Ku coefficient below the permissible value.

**Key words:** excavator, pipeline repair, excavator bucket, working equipment, pickup.

### Введение

Магистральные трубопроводы – сложнейшие инженерные сооружения, предназначенные для транспортировки нефти. Сегодня с использованием магистральных трубопроводов происходит перемещение 100 % всего добываемого газа, 95 % добываемой нефти, более 20 % продуктов нефтепереработки.

Газопроводы и нефтепроводы в Российской Федерации развиваются по двум направлениям: нефтегазопроводы, находящиеся на территории страны, и соответственно находящиеся за ее пределами [1]. Статистические данные свидетельствуют о том, что протяженность российских газопроводов составляет более 162 тыс. км, нефтепроводов – 70 тыс. км, продуктопро-

водов – 20 тыс. км [2]. Правительством РФ приняты решения, которые легли в основу Программы развития трубопроводных сетей страны в период до 2030 года [2]. В рамках программы важнейшими объектами определены строительство новых и ремонт уже действующих магистральных трубопроводов [3].

Исходя из вышесказанного можно сделать вывод, что вопросам, связанным с обеспечением строительства и ремонта трубопроводов соответствующими средствами механизации, в том числе экскаваторами, еще долгое время будет уделяться повышенное внимание [3]. Кроме этого, в

### Цель исследования

Усовершенствовать конструкцию рабочего оборудования экскаватора для выборочного ремонта трубопровода, подтвердив ее работоспособность

### Материалы и методы исследования

С целью увеличения скорости ремонта и снижения себестоимости работ авторами была разработана конструкция рабочего оборудования экскаватора, позволя-

ющая проводить выборочный ремонт трубопровода без привлечения дополнительной техники (рис.1).

ющая проводить выборочный ремонт трубопровода без привлечения дополнительной техники (рис.1).

ющая проводить выборочный ремонт трубопровода без привлечения дополнительной техники (рис.1).

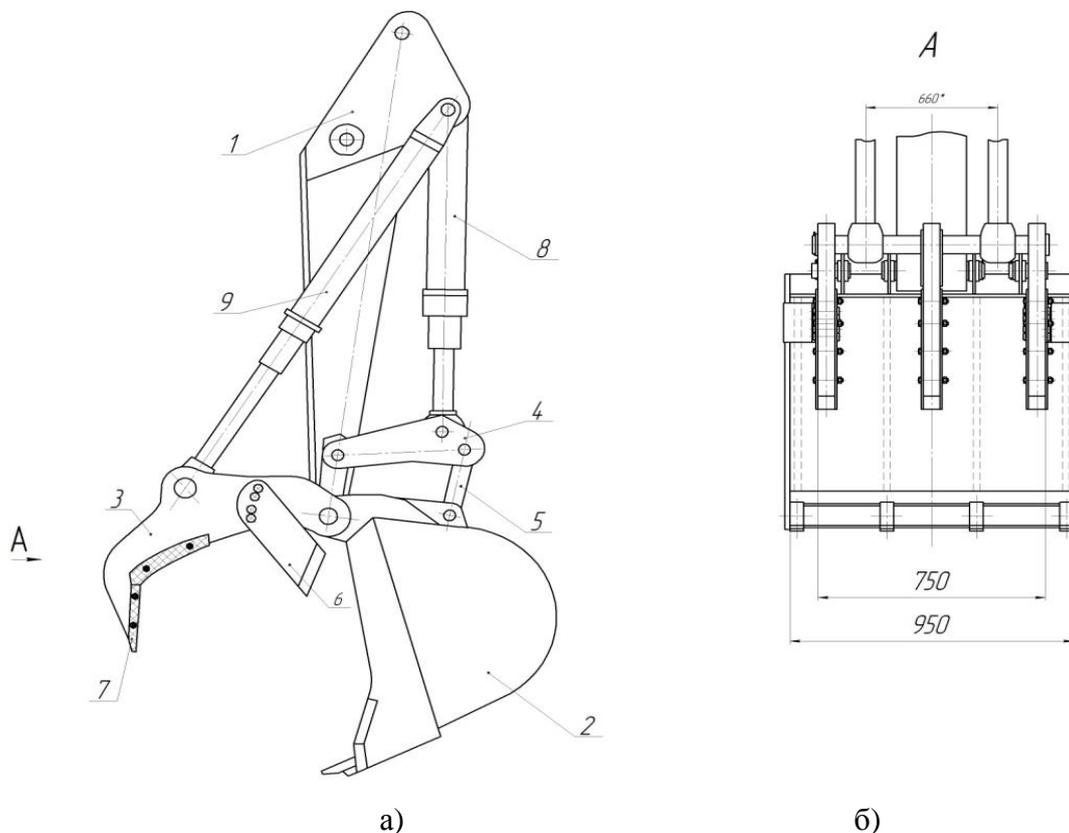


Рис. 1. Общий вид рабочего оборудования: а – главный вид; б – вид слева

Предлагаемый вариант конструкции рабочего оборудования представляет собой: 1 – рукоять; 2 – ковш; 3 – захват; 4 – тяга; 5 – тяга ковша; 6 – ограничитель; 7 – резиновая накладка; 8 – гидроцилиндр ковша; 9 – гидроцилиндр захвата. Сварка всех элементов рабочего оборудования производится в соответствии с ГОСТ 5264-80 [5].

Захват представляет собой три зуба, расположенных параллельно и закрепленных на одном основании. Грани зубьев имеют прорезиненное покрытие для предотвращения деформации трубы в процессе подъема [6]. Спроектированное рабочее оборудование позволяет разрабатывать грунт в местах ремонта

трубопроводов и вести демонтаж вскрытого трубопровода с помощью захватного устройства. Рабочее оборудование позволяет производить выборочный ремонт трубопроводов диаметром 720...1220 мм [7].

При проведении теоретических исследований необходимо решить две задачи:

1. Провести расчеты гидросистемы рабочего оборудования.

2. Провести расчеты по определению устойчивости машины [8].

Определить усилия на штоке гидроцилиндров захвата возможно, сделав проекцию на ось  $u$  равной  $u_i = 0$ .

$$-G_{c1} + F \sin 60^\circ - G_{c2} - G_p - G_{k+m} - G_o = 0, \quad (1)$$

где  $F$  – сила прижатия зубьев к поверхности трубопровода, Н;  $G_{c1}$  – вес стрелы 1;  $G_{c2}$  – вес стрелы 2;  $G_p$  – вес рукояти;  $G_{k+m}$  – вес ковша и трубы;  $G_o$  – вес экскаватора.

$$F = \frac{G_{c1} + G_{c2} + G_p + G_{k+m} + G_o}{\sin 60^\circ}. \quad (2)$$

Для определения полезной мощности, развиваемой гидроцилиндром, применима формула [9,10]

$$P = F \cdot V, \quad (3)$$

где  $F$  – усилие на штоке, Н;  $V$  – скорость перемещения штока, м/с.

Реальная скорость движения штока рассчитана по формуле [11]

$$V_o = \frac{Q_{жс}}{S_{пл}}, \quad (4)$$

где  $Q_{жс}$  – расход жидкости, м<sup>3</sup>/с;  $S_{пл}$  – эффективная площадь поршня, м<sup>2</sup>.

Эффективная площадь поршня для поршневой рабочей полости определена по формуле [12]

$$S_{пл} = \frac{\pi D^2}{4}, \quad (5)$$

где  $D$  – диаметр поршня, м.

Полезная мощность насоса определена по формуле [11]

$$N_{пл} = \Delta p_n \cdot Q_n, \quad (6)$$

где  $\Delta p_n$  – перепад давления на насосе, Па;  $\Delta p_n = p_{ном}$ ;  $Q_n$  – подача давления, м<sup>3</sup>/с.

Для подтверждения работоспособности машины, оборудованной модернизированным рабочим органом, были проведены теоретические исследования, направленные на определение устойчивости машины и предотвращение ее опрокидывания [13]. Данный параметр определен через коэффициент устойчивости  $K_y$  [13]:

$$K_y = \frac{M_y}{M_o}, \quad (6)$$

где  $M_y$  – момент сил, препятствующий опрокидыванию экскаватора;  $M_o$  – момент сил, способствующих опрокидыванию экскаватора.

Определяя коэффициент устойчивости, необходимо учитывать размерную группу машины, рабочее положение машины, тип рабочего оборудования и ряд других параметров [2]. Для разных видов сменных рабочих органов и разных режимов работы принято использовать конкретные интервалы коэффициента устойчивости. Для нормальных условий и рассматриваемого рабочего оборудования применим коэффициент  $K_y = 1,1 \dots 1,2$  [14].

Эффективность работы предлагаемого варианта рабочего оборудования экскаватора рассчитана для работы с трубами диаметрами 720, 1020 и 1220 мм.

### Результаты исследования и их обсуждение

Проверку на устойчивость экскаватора необходимо провести как для условий, которые соответствуют рабочему режиму, так и условий, соответствующих условиям транспортного режима (или транспортирования агрегата) с учетом использования предложенного варианта рабочего оборудования [15].

Теоретические исследования проводились для двух расчетных положений экскаватора с учётом переменных плеч силы тяжести рабочего оборудования и ма-

шины, где ходовое устройство расположено перпендикулярно и параллельно траншее (рис. 2).

На рис. 3 отражены графические зависимости, построенные в ходе проведения теоретических исследований. Из графика следует, что устойчивость экскаватора сохраняется в полной мере как для первого, так и для второго рабочего положения. По оси  $x$  видно, что устойчивость сохраняется при работе с трубами, имеющими диаметры 720, 1020 и 1220 мм.

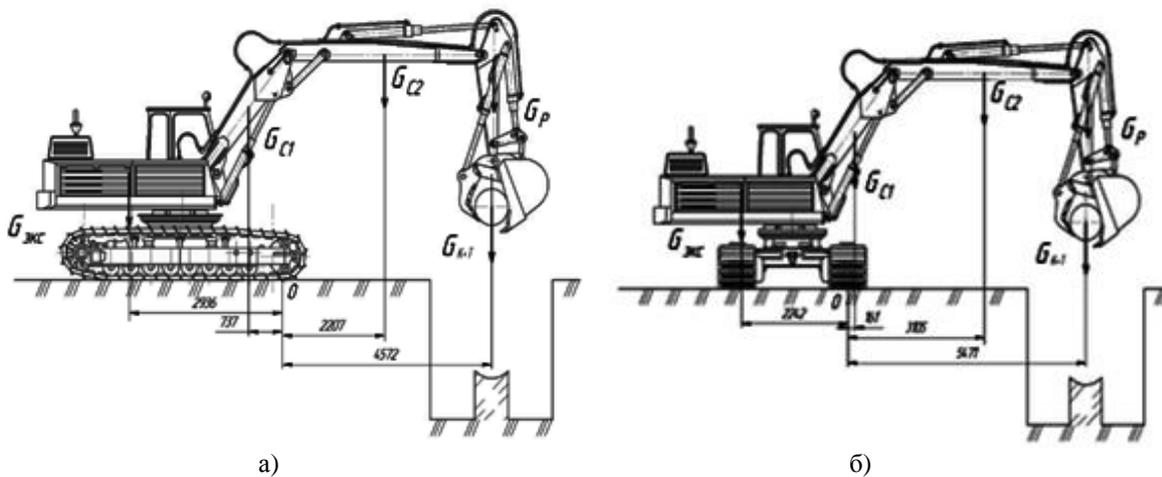


Рис. 2. Расчетные положения экскаватора: а – расположение ходового устройства перпендикулярно траншее; б – расположение ходового устройства параллельно траншее

Также в результате исследований было установлено, что работа машины с трубопроводом, диаметр которого равен 1420 мм, с применением рабочего оборудования в комплектации с захватом приво-

дит к опрокидыванию. Другими словами, коэффициент устойчивости машины в положении 2 ниже установленного коэффициента для машин этой размерной категории.

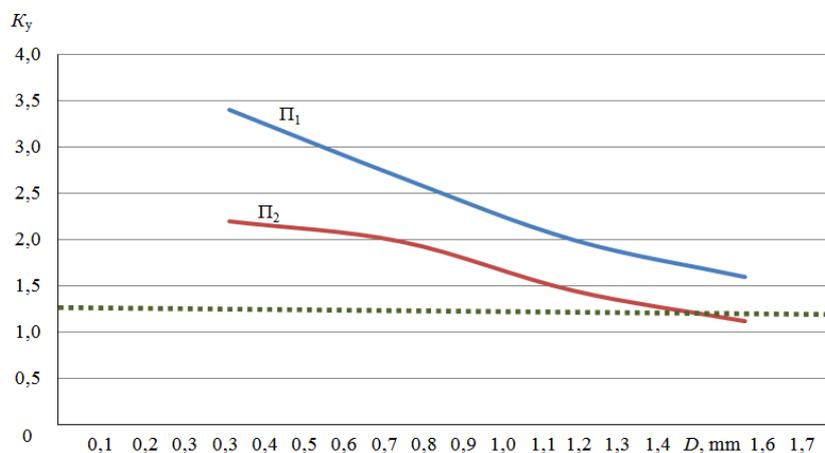


Рис. 3. Зависимость коэффициента устойчивости от диаметра трубы при положениях экскаватора: П<sub>1</sub> – расположение ходового устройства перпендикулярно траншее; П<sub>2</sub> – расположение ходового устройства параллельно траншее

## Заключение

Предложенный вариант конструкции рабочего органа разработан для проведения выборочного ремонта трубопровода без привлечения дополнительной техники, привлекаемой для подъема трубопровода. Ковш экскаватора, при необходимости работающий как захват, позволяет увеличить скорость ремонта трубопровода. Результат достигается за счет сокращения временных затрат на смену техники, ее перебазировку, что в итоге снижает себестоимость ремонтных работ.

Проведены расчеты гидросистемы экскаватора. Кроме этого, в результате теоретических исследований были получены расчетные зависимости, которые позволили установить

коэффициент устойчивости экскаватора третьей размерной группы при работе с модернизированным оборудованием и диаметром трубопровода в интервале 720...1420 мм.

В результате исследований было установлено, что предложенное оборудование эффективно для проведения выборочного ремонта трубопровода диаметрами 720, 1020 и 1220 мм. Устойчивость машины в наиболее опасных положениях выполняется. Расчет показал, что при работе экскаватора по демонтажу трубопровода диаметром 1420 мм возникает опасность опрокидывания машины из-за снижения коэффициента  $K_y$  ниже допустимого значения.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Веселуха, В. М.** Определение остаточного ресурса труб линейной части нефтепровода на основе диагностической информации о типичных дефектах / В. М. Веселуха, А. В. Богданович // Актуальные вопросы машиноведения. – 2017. – Т. 6. – С. 226-230.
2. **Транспортная стратегия Российской Федерации на период до 2030 года** : утв. распоряжением Правительства Российской Федерации от 22 ноября 2008 года № 1734-р. : введена в действие распоряжением Правительства Российской Федерации от 11 июня 2014 года N 1032-р.
3. **Зорин, А. Е.** Развитие подходов к обслуживанию длительно эксплуатируемых нефтегазопроводов Европейского Севера / А. Е. Зорин, Н. Е. Зорин, А. С. Чернятин // Технологии и экономика освоения. – 2018. – № 3(13). – С. 52-64.
4. **Wermelinger, M.** Grasping and object reorientation for autonomous construction of stone structures / M. Wermelinger, R. Johns, F. Gramazio, M. Kohler, M. Hutter // IEEE Robotics and Automation Letters. – 2021. – Vol. 6(3). – Iss. 9392354. – Pp. 5105-5112. – DOI 10.1109/LRA.2021.3070300
5. **ГОСТ РФ 5264-80.** Ручная дуговая сварка. Соединения сварные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры = Manual arc welding. Welding joints. Main types, design elements and dimensions: Межгосударственный стандарт: изд. офиц.: утв. и введ. в действие постановлением государственным комитетом СССР по стандартам от 24.07.1980 № 3827: введ. впервые: дата введ. 1981-07-01 / Москва: Стандартинформ, 2010. – 35 с.
6. **Letopolsky, A. B.** Working equipment of the single-bucket excavator for the development of frozen ground / A. B. Letopolsky, P. A. Korchagin, I. A. Teterina // IOP Conference Series: Mechanical Engineering and Materials Science (IC-MTMTE 2019). – 2020. – P. 044027. – DOI: 10.1088/1757-899X/709/4/044027.
7. **Треногин, Е. О.** Патентное исследование возможных конструкций рабочего оборудования одноковшового экскаватора / Е. О. Треногин, С. И. Вахрушев // Современные технологии в строительстве. Теория и практика. – 2016. – Т. 2. – С. 303-311.
8. **Suryo, S. H.** Optimization of bucket tooth excavator design using topology optimization and finite element method / S. H. Suryo, R. S. Sastra // Journal of Physics: Conference Series. – 2021. – Vol. 1858(1). – P. 012081. – DOI 10.1088/17426596/1858/1/012081.
9. **Побегайло, П. А.** О пропорциях рабочего оборудования одноковшовых гидравлических экскаваторов / П. А. Побегайло // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2015. – № 2. – С. 143-147.
10. **Zenkov, S. A.** Method of defining rational parameters for excavator buckets vibrating devices in order to reduce soil adhesion / S. A. Zenkov // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. – 2017. – Vol. 87. – P. 082057. – DOI: 10.1088/1755-1315/87/8/0820572017
11. **Кулешов, А. В.** Оптимизация металлоконструкций исполнительного органа гидравлического экскаватора в среде САПР / А. В. Кулешов, В. А. Слепченко, И. В. Слепченко // Вестник Томского государственного архитек-

- турно-строительного университета. – 2017. – № 2 (61). – С. 204-210.
12. **Teterina, I. A.** Investigation of soil destruction by trench chain excavator cutting element process / I. A. Teterina, P. A. Korchagin, A. B. Letopolsky // *Lecture Notes in Mechanical Engineering*. 2019. Pp. 2123-2132. DOI: 10.1007/978-3-319-95630-5\_229
  13. **Трошин, Д. И.** Повышение эффективности ковшей экскаваторов. /Д. И. Трошин, В. А. Николаев // *Строительные и дорожные машины*. – 2019. – № 11. – С. 22-25.
  1. **Veselukha, V. M.** Determination of the remaining life expectancy of the line section pipes based on diagnostic information about typical defects / V. M. Veselukha, A.V. Bogdanovich. *Actual issues of machine science*, 2017, Vol. 6, pp. 226-230.
  2. **Transport Strategy of the Russian Federation** for the period up to 2030: approved by the Order of the Government of the Russian Federation no. 1734-r of November 22, 2008: put into force by the Order of the Government of the Russian Federation no. 1032-r of June 11, 2014
  3. **Zorin, A. E.** Development of approaches to the maintenance of long-term oil and gas pipelines of the European North /A. E. Zorin, N. E. Zorin, A. S. Chernyatin. *Technologies and economics of development*, 2018, no. 3(13), pp. 52-64.
  4. **Wermelinger, M.** Grasping and object reorientation for autonomous construction of stone structures / M. Wermelinger, R. Johns, F. Gramazio, M. Kohler, M. Hutter // *IEEE Robotics and Automation Letters*. – 2021. – Vol. 6(3). – Iss. 9392354. - Pp. 5105-5112. - DOI 10.1109/LRA.2021.3070300
  5. **GOST RF 5264-80.** Shielded metal arc welding. Welding joints. Basic types, structural elements and dimensions = Manual arc welding. Welding joints. Main types, design elements and dimensions: Interstate standard: stated, approved and put into effect by the Resolution of the USSR State Committee on Standards dated 07/24/1980 no. 3827: introduction for the first time: date entered: 1981-07-01, Moscow: Standartinform, 2010, 35 p.
  6. **Letopolsky, A. B.** Working equipment of the single-bucket excavator for the development of frozen ground / A. B. Letopolsky, P. A. Korchagin, I. A. Teterina // *IOP Conference Series: Mechanical Engineering and Materials Science (IC-MTME 2019)*. - 2020. - P. 044027. - DOI: 10.1088/1757-899X/709/4/044027.
  7. **Trenogin, E. O.** Patent investigation of possible designs of working equipment of a single-bucket excavator / E. O. Trenogin, S. I. Vakhrushev. *Modern technologies in construction. Theory and practice*, 2016, vol. 2, pp. 303-311.
  14. **Lukashuk, O. N.** Operation of single-bucket excavator transmission system / O. N. Lukashuk, A. P. Komissarov, K. Yu. Letnev // *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*. 2018. Volume 323(1). P. 012016. DOI:10.1088/1757-899X/323/1/012016.
  15. **Унаспеков, Б. А.** Разработка инновационного оборудования и пути ее использования в технике и технологии машиностроения / Б. А. Унаспеков, Г. М. Абдукаликова, Л. А. Сиваченко // *Современные проблемы теории машин*. – 2017. – № 5. – С. 101-105.
  8. **Suryo, S. H.** Optimization of bucket tooth excavator design using topology optimization and finite element method / S. H. Suryo, R. S. Sastra // *Journal of Physics: Conference Series*. - 2021. – Vol. 1858(1). - P. 012081. - DOI 10.1088/17426596/1858/1/012081.
  9. **Pobegailo, P. A.** Speaking about proportions of the working equipment of single-bucket hydraulic excavators / P. A. Pobegailo. *Mining information and analytical bulletin*, 2015, no. 2, pp. 143-147.
  10. **Zenkov, S. A.** Method of defining rational parameters for excavator buckets vibrating devices in order to reduce soil adhesion / S. A. Zenkov // *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. - 2017. – Vol. 87. - P. 082057. - DOI: 10.1088/1755-1315/87/8/0820572017
  11. **Kuleshov, A.V.** Optimization of metal structures of the hydraulic excavator executive body in the CAD environment / A.V. Kuleshov, V. A. Slepchenko, I.V. Slepchenko. *Bulletin of the Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering*, 2017, no. 2 (61), pp. 204-210.
  12. **Teterina, I. A.** Investigation of soil destruction by trench chain excavator cutting element process / I. A. Teterina, P. A. Korchagin, A. B. Letopolsky // *Lecture Notes in Mechanical Engineering*. 2019. Pp. 2123-2132. DOI: 10.1007/978-3-319-95630-5\_229
  13. **Troshin, D. I.** Improving the efficiency of excavator buckets. / D. I. Troshin, V. A. Nikolaev. *Construction and road machines*, 2019, no. 11, pp. 22-25.
  14. **Lukashuk, O. N.** Operation of single-bucket excavator transmission system / O. N. Lukashuk, A. P. Komissarov, K. Yu. Letnev // *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*. 2018. Volume 323(1). P. 012016. DOI:10.1088/1757-899X/323/1/012016.
  15. **Unaspekov, B. A.** Development of innovative equipment and ways of its use in engineering and technology of mechanical engineering / B. A. Unaspekov, G. M. Abdukulikova, L. A. Sivachenko. *Modern problems of machine theory*, 2017, no. 5, pp. 101-105.

Ссылка для цитирования:

Летопольский, А.Б. Рабочее оборудование экскаватора для выборочного ремонта трубопровода / А.Б. Летопольский, П.А. Корчагин, И.А. Тетерина // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2021. – № 11. – С. 10 - 16 . DOI: 10.30987/1999-8775-2021-11-66-72.

Статья поступила в редакцию 09.07.21.  
Рецензент: д.т.н., доцент Оренбургского государственного университета  
Рассоха В.И.,  
член редсовета журнала «Вестник БГТУ».  
Статья принята к публикации 27.10.21.

#### Сведения об авторах:

**Летопольский Антон Борисович**, к.т.н., доцент кафедры «Техника для строительства и сервиса комплексов и инфраструктур» Сибирского автомобильно-дорожного университета (СибАДИ), e-mail: antooooon-85@mail.ru.

**Корчагин Павел Александрович**, д.т.н., профессор кафедры «Подъемно-тяговые, транспортные машины и гидропривод» Сибирского автомобиль-

но-дорожного университета (СибАДИ), e-mail: korchagin\_pa@mail.ru.

**Тетерина Ирина Алексеевна**, к.т.н., науч. сотрудник НИО НИУ ФГБОУ ВО «СибАДИ» Сибирского автомобильно-дорожного университета (СибАДИ), e-mail: iateterina@mail.ru.

**Letopolsky Anton Borisovich**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department "Equipment for Construction and Maintenance of Complexes and Infrastructures", e-mail: antooooon-85@mail.ru.

**Korchagin Pavel Alexandrovich**, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Lifting and Traction, Transport Machines and Hydraulic Drive of

the Siberian State Automobile and Highway Academy (SibADI), e-mail: korchagin\_pa@mail.ru.

**Teterina Irina Alekseevna**, Candidate of Technical Sciences, academic specialist of the SibADI Research Institute of the Siberian State Automobile and Highway Academy (SibADI), e-mail: iateterina@mail.ru.