

Научная статья

УДК 622.692.4

DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2023-20-3-316-325>

EDN: HRKZQU



ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ФРЕЗЕРНОГО РАБОЧЕГО ОБОРУДОВАНИЯ ЭКСКАВАТОРА

И. С. Кузнецов*, С. В. Савельев*Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ)**г. Омск, Россия,**mrprogamer111@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0002-6524-4976>**saveliev_sergval@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0002-4034-2457>***ответственный автор*

АННОТАЦИЯ

Введение. Протяженная сеть трубопроводов на территории нашей страны нуждается в своевременном качественном ремонте. Используемый до сих пор шанцевый инструмент повышает трудоемкость работ по капитальному ремонту трубопроводов, что вынуждает создавать решения для механизации процесса подкопа трубопровода. Целью исследования, приведенного в данной статье, является определение производительности и суммарного крутящего момента рабочего оборудования экскаватора. Показан общий вид рабочего оборудования с обозначением позиций, необходимых для выполнения исследования.

Методы и материалы. Введено понятие удельных величин крутящего момента и мощности, приходящихся на один резец рабочего оборудования. Установлены зависимости суммарной производительности резцов и крутящего момента резцов. В связи с особенностью конструкции рабочего оборудования каждая из зависимостей рассмотрена отдельно для передних и задних резцов. Получены поверхности, отражающие влияние угловой скорости вращения фрезерной головки и угла установки резцов на исследуемые параметры.

Результаты. На основе полученной зависимости суммарного крутящего момента фрезерного рабочего оборудования была составлена номограмма. Задавая количество резцов N , скорости вращения рабочего фрезерной головки n и число ударов ударника ДорНИИ, можно определить необходимый крутящий момент гидромотора.

Заключение. По результатам проведенного теоретического исследования процесса резания грунта при помощи фрезерного рабочего оборудования экскаватора установлены зависимости суммарной производительности и суммарного крутящего момента рабочего оборудования. Построенные графические зависимости помогают определить степень влияния конструктивных и режимных параметров оборудования на процесс его работы. Созданная номограмма рекомендуется к применению при проектировании рабочего оборудования.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: ремонт трубопроводов, подземный трубопровод, экскаватор гидравлический, землеройная машина, разработка грунта

БЛАГОДАРНОСТИ: авторы благодарят за поддержку научных исследований коллектив кафедры «Эксплуатация нефтегазовой и строительной техники» ФГБОУ ВО «СибАДИ», а также рецензентов статьи.

Статья поступила в редакцию 01.02.2023; одобрена после рецензирования 27.03.2023; принята к публикации 26.06.2023.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Прозрачность финансовой деятельности: авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах и методах. Конфликт интересов отсутствует.

Для цитирования: Кузнецов И. С., Савельев С. В. Определение характеристик фрезерного рабочего оборудования экскаватора // Вестник СибАДИ. 2023. Т. 20, № 3 (91). С. 316-325. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2023-20-3-316-325>

© Кузнецов И. С., Савельев С. В., 2023



Контент доступен под лицензией
Creative Commons Attribution 4.0 License.

Original article
DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2023-20-3-316-325>
EDN: HRKZQU

CHARACTERISTICS DETERMINATION FOR MILLING WORKING EQUIPMENT OF EXCAVATOR

Ilya S. Kuznetsov*, Sergey V. Saveliev

Siberian State Automobile and Highway University (SibADI)

Omsk, Russia

mrprogamer111@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0002-6524-4976>

saveliev_sergval@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0002-4034-2457>

*corresponding author

ABSTRACT

Introduction. The long network of pipelines on the territory of our country needs timely and high-quality repairs. The trenching tool used so far increases the complexity of work on the overhaul of pipelines, which forces to create solutions for mechanizing the process of digging the pipeline. The purpose of the study conducted in this article is to determine the performance and total torque of the working equipment of the excavator. A general view of the working equipment with the designation of the positions necessary for the study is given.

Methods and materials. The concept of specific values of torque and power per one cutter of working equipment has been introduced. The dependencies of the total productivity of the cutters and the torque of the cutters are established. Due to the peculiarity of the design of the working equipment, each of the dependencies is considered separately for the front and rear incisors. The surfaces that reflect the influence of the angular velocity of rotation of the milling head and the angle of installation of the cutters on the parameters under the study are constructed.

Results. Based on the obtained dependence of the total torque of the milling working equipment, a nomogram was compiled. By setting the number of N cutters, the speed of rotation of n working milling head and the number of strokes of the DorNII (Road Research Institute) striker, it is possible to determine the required torque of the hydraulic motor.

Conclusions. According to the results of the theoretical study of the process of cutting soil with the help of excavator milling working equipment, the dependencies of the total productivity and total torque of the working equipment were established. The constructed graphic dependencies help to determine the degree of influence of design and operating parameters on the work process. The created nomogram is recommended for use in the design of working equipment.

KEYWORDS: pipeline repair, underground pipeline, hydraulic excavator, earthmoving machine, excavation.

GRATITUDES. The authors thanks the scientific research the team of the Operation of Oil and Gas and Construction Equipment Department of the Siberian State Automobile and Highway University (SibADI), as well as the reviewers of the article for their support.

The article was submitted 01.02.2023; approved after reviewing 27.03.2023; accepted for publication 26.06.2023.

The authors have read and approved the final manuscript.

Financial transparency: the authors have no financial interest in the presented materials or methods. There is no conflict of interest.

For citation. Kuznetsov Ilya S., Saveliev Sergey V. Characteristics determination for milling working equipment of excavator. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2023; 20 (3): 316-325. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2023-20-3-316-325>

© Kuznetsov I. S., Saveliev S. V., 2023



Content is available under the license
Creative Commons Attribution 4.0 License.

ВВЕДЕНИЕ

Протяженная сеть трубопроводов на территории Российской Федерации нуждается в своевременном ремонте. Качественное и быстрое выполнение ремонта снижает затраты на обслуживание трубопроводной сети и повышает отказоустойчивость всей системы [1, 2, 3, 4, 5, 6]. Для этого необходимо использовать современные разработки в области эксплуатации и ремонта трубопроводов^{1,2,3,4,5,6} [7, 8, 9].

Технологическая карта ремонта трубопроводов до сих пор предусматривает использование шанцевого инструмента, хотя в настоящее время существуют способы механизированного удаления грунта, расположенного под трубопроводом^{7,8} [10, 11, 12, 13, 14, 15]. Одним из перспективных способов является применение ранее предложенного фрезерного рабочего оборудования экскаватора⁹. Оно разработано для установки на одноковшовые гидравлические экскаваторы. Привод гидромотора и гидроцилиндра рабочего оборудования обеспечивается подключением к гидравлическим линиям экскаватора, расположенным на рукояти и предназначенным для питания рабочего оборудования. После откапывания прямиков траншеи ковш экскаватора заменяется предлагаемым рабочим оборудованием. Оператор опускает рабочее оборудование на определенную глубину, запускает вращение фрезерной

головки и производит подачу гидроцилиндра рабочего оборудования до полного удаления грунта под трубопроводом.

В настоящий момент ведется работа по совершенствованию конструкции и созданию математической модели предлагаемого рабочего оборудования. Целью представленного в статье исследования является определение производительности и суммарного крутящего момента рабочего оборудования экскаватора. Фрезерное рабочее оборудование для подкопа трубопровода, установленное на базовую машину – экскаватор, представлено в виде схемы на рисунке 1.

МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ

Для всестороннего понимания процесса взаимодействия резцов с грунтом введем понятие удельных величин крутящего момента и мощности, приходящихся на один резец и определяемых как частные этих величин на толщину рыхления h_p , а также понятие удельной производительности как отношение производительности к мощности.

Толщина рыхления грунта резцами определяется зависимостью

$$h_p = l_p \cdot \sin \alpha_p, \quad (1)$$

где l_p – длина резца; α_p – угол резания.

¹ Современные методы ремонта трубопроводов / Н. Х. Халлыев, Т. Н. Абасова, В. Г. Селиверстов [и др.]. Москва: ИРЦ Газпром, 1997. 44 с. (Газовая промышленность. Обзорная информация. Серия: Транспорт и подземное хранение газа). Текст: непосредственный.

² Решетников А. Д. Технологические процессы строительства и капитального ремонта магистральных газопроводов в сложных природно-климатических условиях / А. Д. Решетников. М.: СИП РИА, 2004. 320 с.

³ Технология сооружения газонефтепроводов / под ред. Ф. М. Мустафина. Т. 1. Уфа: Нефтегазовое дело, 2007. 632 с.

⁴ Аникин Е.А. Эффективные методы ремонта магистральных трубопроводов / Е.А. Аникин, Р.Д. Габелая, В.В. Салюков, Н.Х. Халлыев и др. М.: ИРЦ Газпром 2001. 108 с.

⁵ Кузнецов, И. С. К вопросу автоматизации расчета магистрального нефтепровода / И. С. Кузнецов // Фундаментальные и прикладные исследования молодых учёных: сборник научных трудов II Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных, Омск, 08–09 февраля 2018 года / Министерство образования и науки Российской Федерации; Правительство Омской области; Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ). Омск: Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ), 2018. С. 19–24.

⁶ Лукьянов А. А. Анализ напряженно-деформированного состояния ремонтных конструкций магистральных трубопроводов // Сварка и контроль - 2013: материалы международной научно-технической конференции, посвященной 125-летию изобретения Н. Г. Славяновым электродуговой сварки плавящимся электродом (Пермь, 15–17 мая 2013 г.). 2013. С. 181–188.

⁷ Баталин Ю. П. Организация строительства магистральных трубопроводов / Ю. П. Баталин, В. Л. Березин, Л. Г. Телегин, Б. Н. Ку репин. Москва: Недра, 1980. 344 с.: ил.; 22 см.

⁸ Халлыев Н.Х. Ремонт локальных участков трубопроводов / Н. Х. Халлыев, В. Г. Селиверстов, и др. Обз. Информ. Сер. Ремонт трубопроводов. М.: ИРЦ Газпром, 2001. 73 с.

⁹ Кузнецов, И. С. Особенности технологии применения фрезерного рабочего оборудования экскаватора для подкопа трубопровода / И. С. Кузнецов, А. И. Демиденко // Архитектурно-строительный и дорожно-транспортный комплексы: проблемы, перспективы, инновации: Сборник материалов VI Международной научно-практической конференции, Омск, 25–26 ноября 2021 года. Омск: Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ), 2021. С. 18–21.

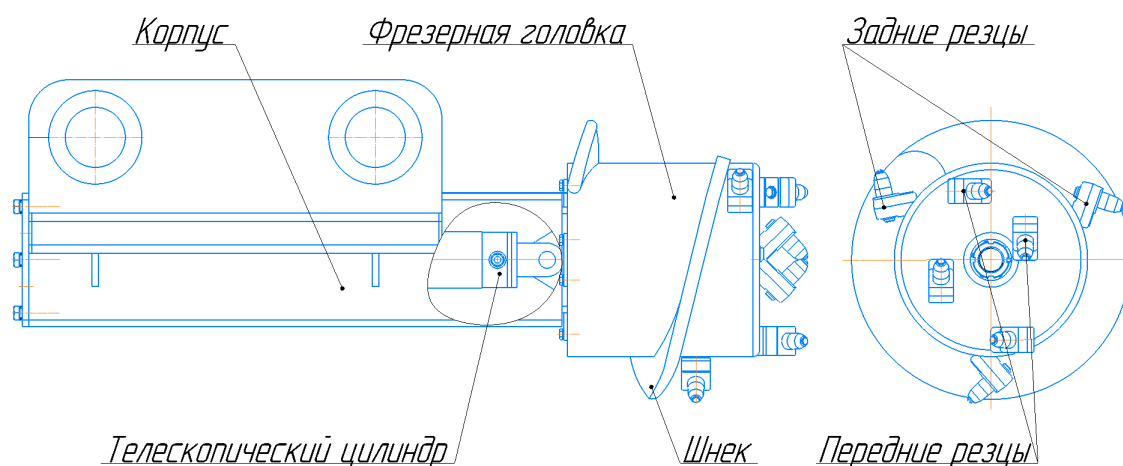


Рисунок 1 – Общий вид фрезерного рабочего оборудования
Источник: составлено авторами.

Figure 1 – General view of the milling working equipment
Source: compiled by the authors.

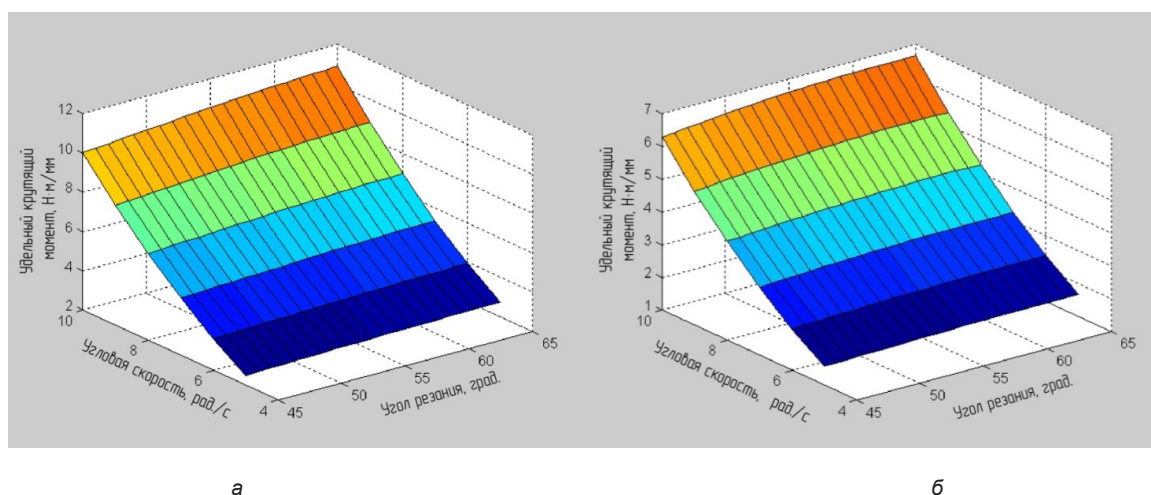


Рисунок 2 – Зависимость удельного крутящего момента от угла резания и угловой скорости:
а – на переднем резце; б – на заднем резце
Источник: составлено авторами.

Figure 2 – Dependence of the specific torque on the cutting angle and angular velocity
a) on the front cutter; b) on the rear cutter
Source: compiled by the authors.

Для заднего резца производительность можно вычислить следующим образом:

$$\Pi_Z = v_{cp} \cdot h_p \cdot (R + 0,5h_p) \cdot \omega, \quad (2)$$

где v_{cp} – средняя ширина резца; R – радиус установки задних резцов; ω – скорость вращения фрезерной головки.

Суммарная производительность передних резцов вычисляется из зависимости

$$\begin{aligned} \Pi_P &= 2v_{cp} \cdot h_p \cdot R_W + 2v_{cp} \cdot h_p \cdot 0,5R_W = \\ &= 3v_{cp} \cdot h_p \cdot R_W, \end{aligned} \quad (3)$$

где R_W – радиус установки передних резцов.

Ранее были получены зависимости, позволяющие рассчитать крутящий момент и мощность на резцах фрезерного рабочего оборудования [16, 17]. На рисунках 2, 3 представлены поверхности, отражающие зависимость удельного крутящего момента и удельной мощности на один задний и передний резец в зависимости от угла резания и угловой скорости.

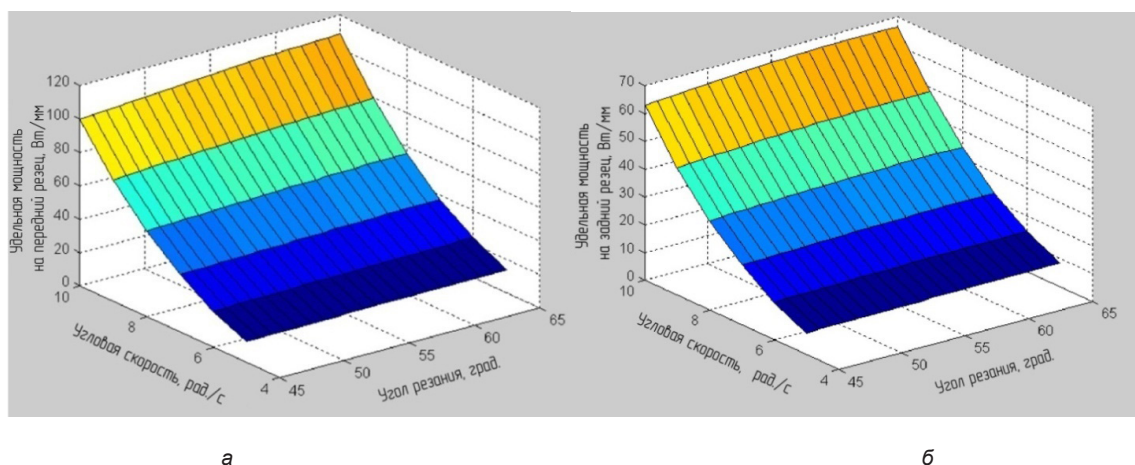


Рисунок 3 – Зависимость удельной мощности от угла резания и угловой скорости:
а – на переднем резце; б – на заднем резце
Источник: составлено авторами.

Figure 3 – Dependence of power density on cutting angle and angular velocity
a) on the front cutter; b) on the rear cutter
Source: compiled by the authors.

На основе зависимости (3) получены поверхности, отражающие зависимость удельной производительности для заднего и переднего резца от угла резания и угловой скорости. Данные зависимости изображены на рисунке 4.

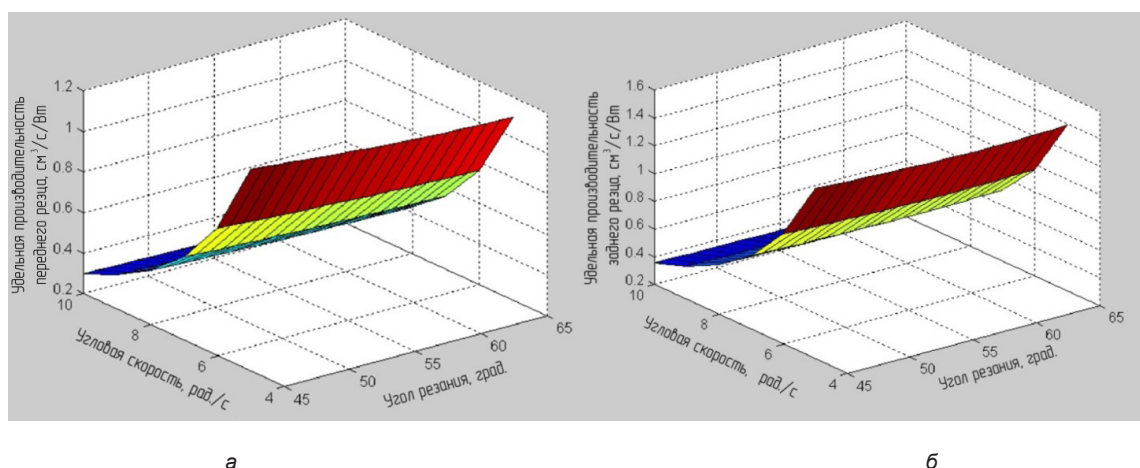


Рисунок 4 – Зависимость удельной производительности от угла резания и угловой скорости:
а – на переднем резце; б – на заднем резце
Источник: составлено авторами.

Figure 4 – Dependence of specific productivity on cutting angle and angular speed
a) on the front cutter; b) on the rear cutter
Source: compiled by the authors.

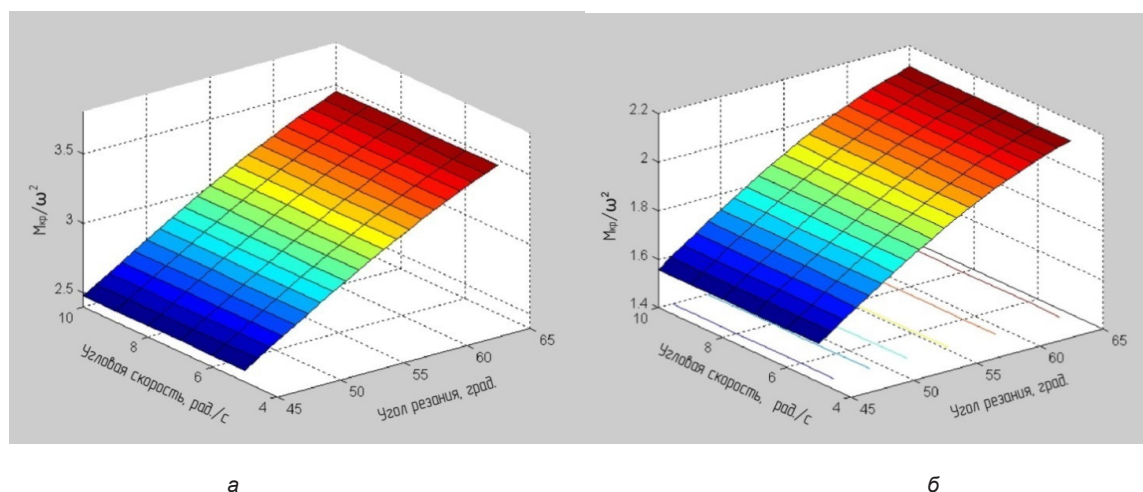


Рисунок 5 – Зависимость $M_{кр}/\omega^2$ от угла резания и угловой скорости:
а – для переднего резца; б – на заднем резце
Источник: составлено авторами.

Figure 5 – $M_{кр}/\omega^2$ dependence on the cutting angle and angular velocity
a) for front cutter; b) for rear cutter
Source: compiled by the authors.

Из анализа графиков зависимостей для резцов следует, что крутящий момент и мощность на задних резцах, а также их удельные величины снижаются с уменьшением угловой скорости и снижением угла резания. При этом возрастает удельная производительность резцов. Однако при больших значениях угла резания ухудшается удаление срезанного грунта из забоя. Поэтому ограничиваем значение угла резания верхним пределом $\alpha_p = 60^\circ$. Из ряда современных высокомоментных гидромоторов принимаем максимальное значение угловой скорости $\omega = 10$ рад/с.

Анализируя исходные теоретические зависимости, можно заметить, что крутящий момент на резцах пропорционален квадрату угловой скорости ω^2 . Для проверки этой гипотезы строим графики зависимостей $M_{кр}/\omega^2$ от

угла резания и угловой скорости для заднего и переднего резцов (рисунок 5).

Анализ полученных графиков показывает, что величина $M_{кр}/\omega^2$ действительно не зависит от угловой скорости. Таким образом, для задних и передних резцов справедливы зависимости:

$$M_Z/\omega^2 = f_1(\alpha_p); \quad (4)$$

$$M_P/\omega^2 = f_2(\alpha_p), \quad (5)$$

где M_Z – крутящий момент на одном заднем резце, M_P – суммарный крутящий момент на передних резцах.

Графики функций $f_1(\alpha_p)$ и $f_2(\alpha_p)$ представлены на рисунке 6.

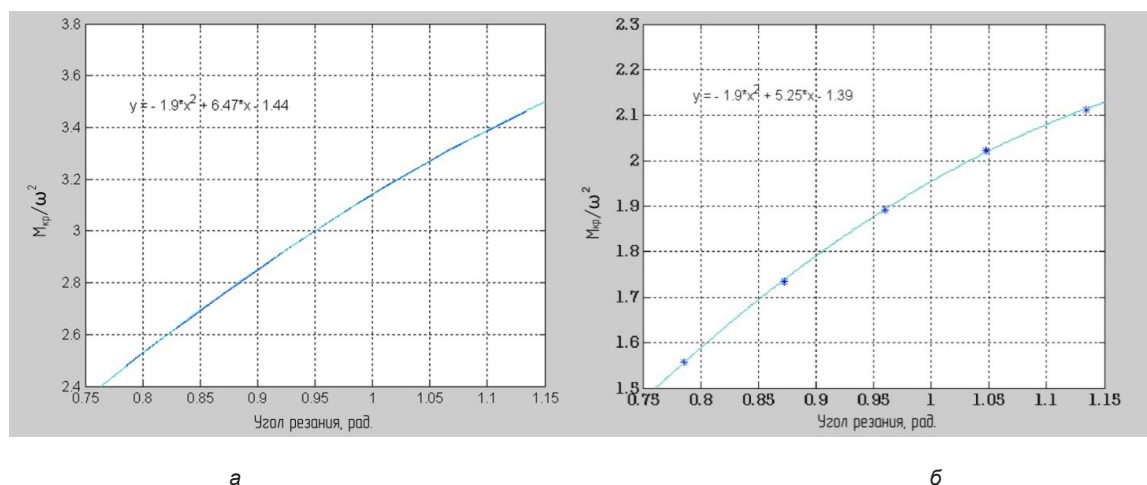


Рисунок 6 – Зависимость $M_{кр}/\omega^2$ от угла резания
а – для переднего резца; б – на заднем резце
Источник: составлено авторами.

Figure 6 – Dependence of $M_{кр}/\omega^2$ on the cutting angle
a) for front cutter; b) for rear cutter
Source: compiled by the authors.

Установлено, что графики функций успешно аппроксимируются квадратичной зависимостью

$$f_1(\alpha_p) = 5,25\alpha_p - 1,9\alpha_p^2 - 1,39; \quad (6)$$

$$f_2(\alpha_p) = 6,47\alpha_p - 1,9\alpha_p^2 - 1,44. \quad (7)$$

С учетом зависимостей (4) и (5) получим суммарный крутящий момент резцов

$$\Sigma M = \omega^2 [n(5,25\alpha_p - 1,9\alpha_p^2 - 1,39) + (6,47\alpha_p - 1,9\alpha_p^2 - 1,44)], \quad (8)$$

где n – количество задних резцов.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Для удобства использования зависимости (8) была составлена номограмма, которая позволяет определить необходимый крутящий

момент гидромотора при проектировании спецоборудования без необходимости выполнения расчетов (рисунок 7).

Использовать номограмму необходимо следующим образом. На шкалах N и n отмечаем точки a и b , соответствующие числу задних резцов и частоте вращения фрезерной головки. Через отмеченные точки проводим прямую и продолжаем ее до пересечения со шкалой M/C_y (точка b). На шкале C_y отмечаем точку r , которая соответствует числу ударов ударника ДорНИИ. Через точки b и r проводим прямую, находим точку ее пересечения со шкалой M (точка d), соответствующую суммарному моменту сопротивления резанию. Требуемый крутящий момент гидромотора находим, прибавляя к полученному значению требуемый крутящий момент для привода шнека. По каталогу выбираем гидромотор, задаваясь значениями крутящего момента и частоты вращения рабочего органа.

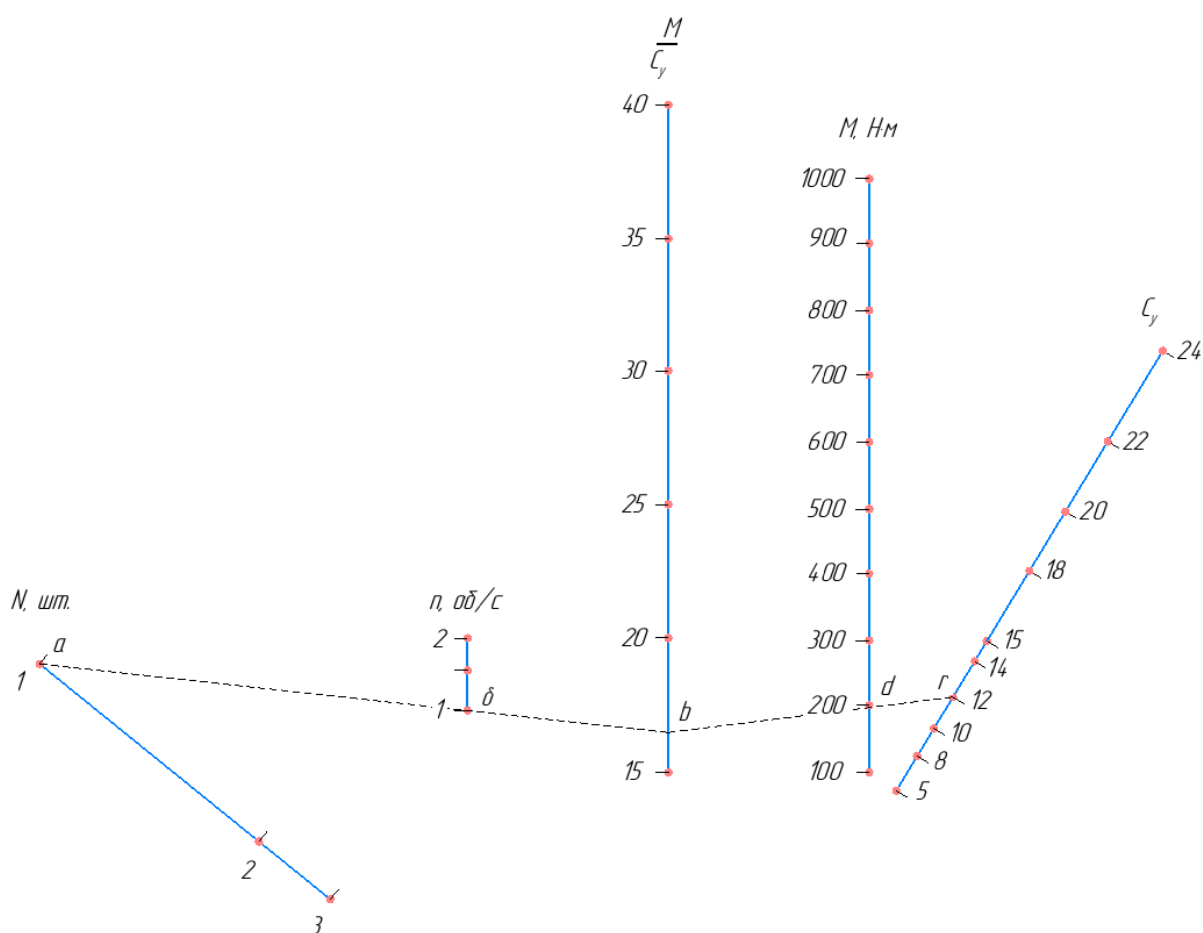


Рисунок 7 – Номограмма выбора крутящего момента гидромотора
Источник: составлено авторами.

Figure 7– Motor torque selection nomogram
Source: compiled by the authors.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное исследование позволило определить зависимости суммарной производительности и суммарного крутящего момента фрезерного рабочего оборудования. Построенные графические зависимости помогают определить степень влияния конструктивных и режимных параметров на процесс работы. Созданная номограмма может применяться при проектировании рабочего оборудования для выполнения предварительных расчетов с возможностью быстрого получения результата.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Chen F., Wu Ch. A novel methodology for forecasting gas supply reliability of natural gas pipeline systems // *Frontiers in Energy*. 2020. Issue 2. P. 213–223.

2. Зорин Е. Е., Толстов А. Э., Ефимов В. М. Напряженно-деформированное состояние трубопроводов подземной прокладки в условиях криотозоны // *Нефть, газ и бизнес*. 2015. № 9. С. 9–12.

3. Набиев Р. Р. Обеспечение надежности длительно эксплуатируемых нефтепроводов // *Трубопроводный транспорт нефти*. 2010. № 12. С. 9–11.

4. Шарыгин Ю. М., Романцов С. В., Шарыгин А. М. Повышение прочности дефектных труб, усиленных композитными муфтами с болтовым соединением // *Транспорт и подземное хранение газа*. 2002. № 3. С. 104–107.

5. Непроектные положения газопроводов, проложенных подземным способом в районах многолетнемерзлых грунтов / А. М. Большаков [и др.] // *Газовая промышленность*. 2014. № 4. С. 66–69.

6. Булавинцева А. Д., Мазуркин П. М. Динамика аварий по причиненному ущербу на линейной части магистральных нефтепроводов ОАО АК «Транснефть» // *Современные наукоемкие технологии*. 2011. № 4. С. 64–67.

7. Черняев К. В. Мониторинг технического состояния нефтепроводов // Трубопроводный транспорт нефти. 2000. № 9. С. 14–17.

8. Моделирование динамики регулируемого гидромотора / Р. Т. Емельянов [и др.] // Вестник КрасГАУ. 2014. № 8. С. 181–185.

9. Мухаммедова Д. Ч. Современные технические и технологические решения по повышению эффективности ремонта газопроводов // Молодой ученый. 2011. Т. 1, № 5-1. С. 86–88.

10. Пенчук В. А. Закономерности разрушения грунта рабочими органами машин для земляных работ // Известия ВУЗов. Строительство. 1999. № 1. С. 97–102.

11. Тиратсу Д. О выводе из эксплуатации объектов добычи и транспорта нефти: опыт Великобритании // Наука и технологии трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов. 2017. № 1. С. 82–83.

12. Ruggieri C., Fernando D. Numerical modelling of ductile crack extension in highpressure pipeline with longitudinal flaws // Engineering Structures. 2011. Vol. 33. No. 5. 1423–1438.

13. Archibald I. C. Soil stabilizer // Pipeline and Gas Journal. 1984. No. 11. P. 44–46.

14. Timashev S., Bushinskaya A. Methods of assessing integrity of pipeline systems with different types of defects // Diagnostics and Reliability of Pipeline Systems. 2016. Vol. 30. P. 9–43.

15. Mourad N., Rabia K. Pipelines reliability analysis under corrosion effect and residual stress // Arabian Journal for Science and Engineering. 2015;40(11):3273–3283.

16. Кузнецов И. С. Теоретические исследования процесса взаимодействия резца фрезерного рабочего оборудования экскаватора с грунтом // Вестник СибАДИ. 2021. Т. 18, № 1 (77). С. 42–50. DOI 10.26518/2071-7296-2021-18-1-42-50.

17. Демиденко А. И., Кузнецов И. С. Совершенствование конструкции рабочего оборудования гидравлического экскаватора // Вестник СибАДИ. 2020. Т. 17, № 1 (71). С. 12–21. DOI 10.26518/2071-7296-2020-17-1-12-21.

REFERENCES

1. Chen F., Wu Ch. A novel methodology for forecasting gas supply reliability of natural gas pipeline systems. *Frontiers in Energy*. 2020. Issue 2. P. 213–223.

2. Zorin E. E., Tolstov A. E., Yefimov V. M. Napryazhenno-deformirovannoye sostoyaniye truboprovodov podzemnoy prokladki v usloviyakh kriolitozony [Stress-strain state of underground pipelines in permafrost]. *Neft', gaz i biznes*. 2015; 9: 9–12. (In Russ.)

3. Nabiye R. R. Obespecheniye nadezhnosti dliitel'no ekspluatiruyemykh nefteprovodov [Ensuring the reliability of long-term oil pipelines]. *Truboprovodnyy transport nefti*. 2010; 12: 9–11. (In Russ.)

4. Sharygin YU. M., Romantsov S. V., Sharygin A. M. Povysheniye prochnosti defektnykh trub, usilennykh kompozitnymi muftami s boltovym soyedineniyem [Improving the Strength of Defective Pipes

Reinforced with Bolted Composite Couplings]. *Transport i podzemnoye khraneniye gaza*. 2002; 3:104–107. (In Russ.)

5. Bol'shakov A. M. Neproyektnyye polozheniya gazoprovodov, prolozhennykh podzemnym sposobom v rayonakh mnogoletnemerzlykh gruntov [Non-design provisions of gas pipelines laid underground in areas of permafrost soils]. *Gazovaya promyshlennost'*. 2014; 4: 66–69. (In Russ.)

6. Bulavintseva A. D., Mazurkin P. M. Dinamika avari po prichinennomu ushcherbu na lineynoy chasti magistral'nykh nefteprovodov OAO AK «Transneft» [Dynamics of accidents due to damage on the linear part of the main oil pipelines of OAO AK Transneft]. *Sovremennyye naukoymkiye tekhnologii*. 2011; 4: 64–67. (In Russ.)

7. Chernyayev K. V. Monitoring tekhnicheskogo sostoyaniya nefteprovodov [Monitoring of the technical condition of oil pipelines]. *Truboprovodnyy transport nefti*. 2000; 9: 14–17. (In Russ.)

8. Yemel'yanov R. T. Modelirovaniye dinamiki reguliruyemogo gidromotora [Modeling the Dynamics of a Variable Hydraulic Motor]. *Vestnik KrasGAU*. 2014; 8: 181–185. (In Russ.)

9. Mukhammedova D. CH. Sovremennyye tekhnicheskiye i tekhnologicheskkiye resheniya po povysheniyu effektivnosti remonta gazoprovodov [Modern technical and technological solutions to improve the efficiency of gas pipeline repair]. *Molodoy uchenyy*. 2011; T. 1. № 5-1: 86–88. (In Russ.)

10. Penchuk V. A. Zakonomernosti razrusheniya grunta rabochimi organami mashin dlya zemlyanykh rabot [Patterns of soil destruction by the working bodies of machines for earthworks]. *Izvestiya VUZov. Stroitel'stvo*. 1999; 1: 97–102. (In Russ.)

11. Tiratsu D. O vyvode iz ekspluatatsii ob'yektov dobychi i transporta nefti: opyt Velikobritanii [On the decommissioning of oil production and transportation facilities: UK experience]. *Nauka i tekhnologii truboprovodnogo transporta nefti i nefteproduktov*. 2017; 1: 82–83. (In Russ.)

12. Ruggieri C., Fernando D. Numerical modelling of ductile crack extension in highpressure pipeline with longitudinal flaws. *Engineering Structures*. 2011; Vol. 33. No. 5: 1423–1438.

13. Archibald I. C. Soil stabilizer // Pipeline and Gas Journal. 1984; No. 11:44–46.

14. Timashev S., Bushinskaya A. Methods of assessing integrity of pipeline systems with different types of defects. *Diagnostics and Reliability of Pipeline Systems*. 2016; Vol. 30: 9–43.

15. Mourad N., Rabia K. Pipelines reliability analysis under corrosion effect and residual stress. *Ara-bian Journal for Science and Engineering*. 2015; 40 (11): 3273–3283.

16. Kuznetsov I.S. Theoretical study of interaction process of cutter for milling working equipment of excavator with soil. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2021; 18 (1): 42–50. (In Russ.) <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2021-18-1-42-50>

17. Demidenko A.I., Kuznetsov I.S. Improvement of the hydraulic excavator's working equipment. *The Rus-*

sian Automobile and Highway Industry Journal. 2020; 17 (1): 12-21. (In Russ.) <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2020-17-1-12-21>

ВКЛАД СОАВТОРОВ

Кузнецов И.С. – разработка конструкции рабочего оборудования, нахождение аналитических зависимостей и построение графиков.

Савельев С.В. – разработка номограммы на основе полученных данных.

AUTHORS CONTRIBUTION

Ilya S. Kuznetsov (Omsk, Russia) – working equipment design development, finding analytical dependencies and plotting.

Sergey V. Saveliev (Omsk, Russia) – development of a nomogram based on the received data.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Илья Сергеевич Кузнецов – преподаватель кафедры «Эксплуатация нефтегазовой и строительной техники», SPIN-код: 6890-3069.

Савельев Сергей Валерьевич – д-р техн. наук, директор Института дополнительного образования, проф. кафедры «Эксплуатация нефтегазовой и строительной техники», SPIN-код: 4135-8370.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Ilya S. Kuznetsov (Omsk, Russia) – teacher of Oil and Gas and Construction Equipment Operation Department, SPIN-код: 6890-3069.

Sergey V. Saveliev (Omsk, Russia) – Dr. of Sci., Head of the Additional Education Institute, Professor of the Oil and Gas and Construction Equipment Operation Department, SPIN-код: 4135-8370.