УДК 622.692.4 DOI: https://doi.org/10.26518/2071-7296-2021-18-1-42-50

# ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ РЕЗЦА ФРЕЗЕРНОГО РАБОЧЕГО ОБОРУДОВАНИЯ ЭКСКАВАТОРА С ГРУНТОМ

И.С. Кузнецов ФГБОУ ВО «СибАДИ», г. Омск, Россия mrprogamer111@gmail.com

## АННОТАЦИЯ

Введение. Трубопроводный транспорт РФ составляет значительную долю в экономике нашей страны, однако срок эксплуатации многих трубопроводов на сегодняшний момент составляет несколько десятков лет. В связи с этим возрастает количество аварийных ситуаций, причем степень их воздействия на инфраструктуру и окружающую среду год от года возрастает. Важным является решение проблемы своевременности ремонта трубопроводной системы при помощи современных и эффективных методов. Использование средств механизации позволяет существенно сократить сроки проведения ремонтных работ и их себестоимость.

**Материалы и методы.** В результате проведенных исследований разработана математическая модель взаимодействия резца фрезерного рабочего оборудования гидравлического экскаватора с разрабатываемым грунтом. В ней учитываются физико-механические свойства грунта и скорость внедрения резца в точке контакта с грунтом.

**Результаты.** Получена зависимость, позволяющая определить силу внедрения резца фрезерного рабочего оборудования в грунт.

**Обсуждение и заключение.** Результаты проведенных теоретических исследований рекомендуется использовать для расчета конструктивных и режимных параметров при проектировании и создании фрезерного рабочего оборудования.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** экскаватор гидравлический, оборудование рабочее, фреза роторная, математическая модель, трубопровод, ремонт, грунт.

**БЛАГОДАРНОСТИ.** Автор благодарит за поддержку научных исследований коллектив кафедры «ТНКИ» ФГБОУ ВО «СибАДИ», а также рецензентов статьи.

#### Поступила 05.01.21, принята к публикации 26.02.21.

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.

Прозрачность финансовой деятельности: автор не имеет финансовой заинтересованности в представленных материалах и методах. Конфликт интересов отсутствует.

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

© Кузнецов И.С., 2021



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.

42

DOI: https://doi.org/10.26518/2071-7296-2021-18-1-42-50

## THEORETICAL STUDY OF INTERACTION PROCESS OF CUTTER FOR MILLING WORKING EQUIPMENT OF EXCAVATOR WITH SOIL

*Ilia S. Kuznetsov* Siberian State Automobile and Highway University, Russia, Omsk mrprogamer111@gmail.com

## ABSTRACT

**Introduction.** The pipeline transport of the Russian Federation makes up a significant share in the economy of our country. However, the service life of many pipelines at the moment is several decades. In this regard, the number of emergency situations is increasing. Moreover, the degree of their impact on infrastructure and the environment is increasing from year to year. It is important to solve the problem of timely repair of the pipeline system using modern and effective methods. The use of mechanization means can significantly reduce the time of repair work and their cost.

**Materials and methods.** As a result of the research, a mathematical model of the interaction of the cutter of the milling working equipment of a hydraulic excavator with the excavated soil has been developed. It takes into account the physical and mechanical properties of the soil and the speed of penetration of the cutter at the point of contact with the soil.

**Results.** The dependence is obtained, which allows determining the force of penetration of the cutter of the milling working equipment into the soil.

**Discussion and conclusions.** It is recommended to use the results of the performed theoretical studies for calculating the design and operating parameters in the design and creation of milling working equipment.

**KEYWORDS:** hydraulic excavator, working equipment, rotary milling cutter, mathematical model, pipeline, repair, undermining, soil.

Submitted 05.01.21, revised 26.02.21.

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 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. DOI: https://doi. org/10.26518/2071-7296-2021-18-1-42-50

© Kuznetsov I.S., 2021



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

## введение

Трубопроводный транспорт Российской Федерации насчитывает сотни тысяч километров [1, 2, 3, 4, 5]. «Стратегия пространственного развития Российской Федерации на период до 2025 г.»<sup>1</sup> предусматривает необходимость обеспечения даже самых труднодоступных районов нашей страны углеводородным сырьем и другими полезными ресурсами, поэтому актуальной является задача поддержания и восстановления исправного и работоспособного состояния всей трубопроводной системы. Данная научная задача требует решения не только в нашей стране, но и в других странах [6, 7, 8, 9, 10].

Техническое обслуживание и ремонт трубопроводов требует больших капитальных вложений и трудовых затрат [11, 12, 13, 14, 15, 16]. Необходимо стремиться к высокой степени механизации технологических и совершенствованию рабочего оборудования существующих машин, используемых для сервисных работ при эксплуатации трубопроводов [17, 18, 19, 20, 21, 22, 23].

Согласно нормативным документам для проведения земляных работ, осуществляемых во время ремонта трубопровода, необходимо использовать гидравлический молот. устанавливаемый на гидравлический экскаватор. Кроме того, гидромолот предлагается использовать для рыхления грунта под трубопроводом. Эта операция нужна для освобождения трубопровода от грунта для проведения полотенец трубоукладчика под трубопроводом. Схема производства работ гидравлическим молотом представлена на рисунке 1. Разработку оставшегося грунта на расстоянии 0,2 м от стенки трубопровода следует выполнять вручную с помощью шанцевого инструмента (лом, кирка), не допуская ударов по трубопроводу<sup>22</sup>.



Рисунок 1 – Схема производства земляных работ гидравлическим молотом

Figure 1 – Diagram of earthworks with a hydraulic hammer

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> РД 23.040.00 «Магистральный трубопроводный транспорт нефти и нефтепродуктов» – М.: ОАО «АК «Транснефть», 2014. – 516 с.



<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Стратегия пространственного развития Российской Федерации до 2025 г. [Электронный ресурс]: утверждена распоряжением Правительства РФ от 13.02.2019 г. № 207-р. Доступ из справочной правовой системы «Консультант плюс» (дата обращения: 05.01.2021).

#### TRANSPORT, MINING AND MECHANICAL ENGINEERING

Для выполнение этих операций предлагается использование перспективного фрезерного рабочего оборудования, устанавливаемого на гидравлический экскаватор [24]. Фрезерная головка рабочего оборудования снабжена резцами для разрушения грунта. Установленный на рабочем оборудовании шнек обеспечивает удаление разрыхленного грунта из зоны рыхления. Использование такого оборудования позволяет значительно повысить эффективность земляных работ за счет полной механизации и повышения безопасности их производства.

Рассмотрим процесс взаимодействия резцов фрезерного рабочего оборудования с разрабатываемым грунтом.

#### ОПИСАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

Резец рассматривается в виде трех конических и одной цилиндрической части (рисунок 2).

Заглубление резцов в грунт представляет собой периодически повторяющийся процесс с периодом угла поворота рабочего оборудования

$$\varphi_0 = \frac{2\pi}{n},\tag{1}$$

где *n* – количество резцов в одном ряду.

В конце каждого периода каждый резец врезается в грунт на глубину *h* (рисунок 3), и



Рисунок 2 – Общий вид резца фрезерного рабочего оборудования экскаватора

Figure 2 – A general view of the milling cutter working equipment of excavator

в течение следующего периода заглубления с массива грунта срезается слой грунта с постоянной толщиной *h*. В дальнейшем, при установившемся режиме, все резцы будут снимать грунт постоянной толщиной стружки *h* и формой стружки, показанной на рисунке 3.



Рисунок 3 – Взаимодействие резца с срезаемой стружкой грунта

Figure 3 – Interaction of the cutter with the soil chips



Рассмотрим процесс внедрения в грунт одного из конусов. Естественно предположить, что величина наименьшего сопротивления внедрению будет тогда, когда направление заглубления резца совпадает с осевой линией усеченного конуса, и грунт, контактирующий с усеченным конусом, движется вдоль его образующих.

Поскольку сила внедрения резца в грунт не зависит от направления заглубления, для наглядности рассмотрим внедрение в вертикальном направлении (рисунок 4).



Рисунок 4 – Расчетная схема для определения силы внедрения резца в разрабатываемый грунт: R – больший радиус конической части резца, r – меньший радиус конической части резца, H – высота конической части резца, h – толщина стружки, δ – ход резца, α – угол резания, θ<sub>2</sub> – скорость резания

Figure 4 – Design scheme for determining the force of penetration of the cutter into the developed soil R – larger radius of the conical part of the cutter, r – smaller radius of the conical part of the cutter, H – height of the conical part of the cutter, h – chip thickness, δ – cutter stroke, α – cutting angle, ϑ<sub>a</sub> – cutting speed

Силу внедрения определим из зависимости [25]:

$$W_{\rm B} = \iint_{S} U \cdot P \cdot f(Z) \cdot \sqrt{1 + f'^{2}(Z)} dS, \qquad (2)$$

где *P* – давление грунта на боковую поверхность усеченного конуса; *S* – площадь части поверхности усеченного конуса, отсекаемая боковой стенкой траншеи до прохода резца (площадь области интегрирования 1234) (см. рисунок 4);

$$y = f(Z) = r + Ztg\alpha, \tag{3}$$

$$U = \sin(\operatorname{arctg}(f'(Z)) + \mu_0 \cos(\operatorname{arctg} f'(Z))).$$
(4)

Из зависимости (3) дифференцированием получаем

$$f'(Z) = tg\alpha . (5)$$

С учетом последнего равенства получим

$$U = \sin(\operatorname{arctg} (tg \alpha)) + \mu_0 \cos(\operatorname{arctg} (tg \alpha)) = \sin \alpha + \mu_0 \cos \alpha.$$
 (6)

$$\sqrt{1 + f'^2(Z)} = \sqrt{1 + tg^2\alpha} = \frac{1}{\cos\alpha}.$$
 (7)

Из [25] следует

$$P = \frac{\gamma_0}{1 - b_1} \cdot \dot{L^2},\tag{8}$$

где  $\gamma_0$  – плотность грунта;  $b_1$  – сжимаемость грунта;  $\dot{L}$  – скорость внедрения резца в точке контакта с грунтом.

$$\dot{L} = f'(H) \cdot \dot{H} = tg\alpha \cdot \vartheta_{\rm B},\tag{9}$$

где  $artheta_{
m B}$  – скорость внедрения резца в грунт.

С учетом зависимости (9) выражение (8) принимает вид

$$P = \frac{\gamma_0}{1 - b_1} \cdot \vartheta_{\rm B}^2 t g^2 \alpha. \tag{10}$$

Из анализа зависимостей (5), (7) и (9) видно, что величина  $U \cdot P \cdot \sqrt{1 + tg^2 \alpha}$  является величиной постоянной и может быть выведена за знак интеграла. Таким образом, интеграл (2) принимает вид

$$W_{\rm B} = U \cdot P \cdot \sqrt{1 + f'^2(Z)} \iint_{S} dS = U \cdot P \cdot \sqrt{1 + f'^2(Z)} \cdot S.$$
(11)

46

Из рисунка 4 видно, что

$$\frac{s}{2} = \iint_D \frac{dydz}{\cos(\vec{n} \, ^{OX})},\tag{12}$$

где D – область интегрирования 1234 (см. рисунок 4);  $cos(\vec{n}^{OX})$  – косинус угла между нормалью  $\vec{n}$  в произвольной точке поверхности усеченного конуса и осью ОХ декартовой системы координат.

$$z_1 = (y - r)ctg\alpha, z_2 = (y - r)ctg\alpha,$$
 (13)

$$y_1 = r, y_2 = R.$$
 (14)

Координаты точки поверхности усеченного конуса удовлетворяют уравнению

$$\sqrt{x^2 + y^2} = r + ztg\alpha \tag{15}$$

или

$$\Phi = x^2 + y^2 - (r + ztg\alpha)^2 = 0.$$
 (16)

Берем частные производные по переменным *x*, *y*, *z*:

$$\frac{\partial \Phi}{\partial x} = 2x,\tag{17}$$

$$\frac{\partial \Phi}{\partial y} = 2x,\tag{18}$$

$$\frac{\partial \Phi}{\partial x} = -2(r + ztg\alpha) \cdot tg\alpha, \qquad (19)$$

$$\cos\left(\overline{n^{OX}}\right) = \frac{\partial \Phi/\partial x}{M},$$
 (20)

где М – абсолютная величина вектора нормали, проекции которой обозначены в зависимостях (17) – (19).

$$M = \sqrt{\left(\frac{\partial \Phi}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial \Phi}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial \Phi}{\partial z}\right)^2} =$$
  
=  $2(r + ztg\alpha)\sqrt{1 + tg^2\alpha} = \frac{2(r + ztg\alpha)}{\cos\alpha}.$  (21)

С учетом выражений (17) и (21) из зависимости (20) находим

$$\cos(\vec{n}^{\ OX}) = \frac{2x \cdot \cos\alpha}{2(r+ztg\alpha)} = \frac{x \cdot \cos\alpha}{(r+ztg\alpha)}.$$
 (22)

Из выражения (16) следует зависимость

$$x = \sqrt{(r + ztg\alpha)^2 - y^2},$$
 (23)

с учетом которого зависимость (22) принимает вид

$$\cos(\vec{n}^{\ OX}) = \frac{\sqrt{(r+ztg\alpha)^2 - y^2}}{r+ztg\alpha}\cos\alpha.$$
 (24)

## РЕЗУЛЬТАТЫ

Учитывая зависимости (13), (14), (24), вычислим интеграл (12):

$$\frac{S}{2} = \int_{y_1}^{y_2} \int_{z_1}^{z_2} \frac{(r + ztg\alpha)dydz}{\sqrt{(r + ztg\alpha)^2 - y^2}} =$$

$$= \int_{y_1}^{y_2} dy \int_{z_1}^{z_2} \frac{d[(r + ztg\alpha)^2 - y^2]}{\sqrt{(r + ztg\alpha)^2 - y^2} \cdot 2tg\alpha} dz =$$

$$= \frac{1}{2tg\alpha} \int_{y_1}^{y_2} \sqrt{(r + ztg\alpha)^2 - y^2} |_{z_1}^{z_2} dy =$$

$$= \frac{h^{1.5} \cdot tg^{1.5} \alpha \cdot 2^{1.5}}{6tg^2 \alpha h} [(R + 0.5h \cdot tg\alpha)^{1.5} - (r + 0.5 \cdot h \cdot tg\alpha)^{1.5}].$$
(25)

Откуда

$$S = \frac{2 \cdot 2^{1,5} \cdot h^{1,5} t g^{1,5} \alpha}{6ht g^2 \alpha} [(R + 0.5ht g \alpha)^{1,5} - (r + 0.5ht g \alpha)^{1,5}] =$$

$$= 0.94 \sqrt{\frac{h}{tg \alpha}} [(R + 0.5ht g \alpha)^{1,5} - (r + 0.5ht g \alpha)^{1,5}].$$
(26)

С учетом выражений (4), (6), (7), (10), (26) из зависимости (11) окончательно находим

$$W_{\rm B} = \frac{(\sin\alpha + \mu_0 \cos\alpha)}{\cos\alpha} \cdot \frac{\gamma_0}{1 - b_1} \cdot \vartheta_{\rm B}^2 {\rm tg}^2 \alpha \times \\ \times 0.94 \sqrt{\frac{h}{tg\alpha}} [(R + 0.5htg\alpha)^{1.5} - \\ - (r + 0.5htg\alpha)^{1.5}] =$$
(27)

$$=(tg\alpha + \mu_0) \cdot \frac{\gamma_0}{1-b_1} \cdot \vartheta_{\rm B}^2 \cdot h(R-r) \cdot tg^2 \alpha \times \\ \times 0.94 \sqrt{\frac{h}{tg\alpha}} [(R+0.5htg\alpha)^{1.5} - \\ - (r+0.5htg\alpha)^{1.5}].$$

Для резца, показанного на рисунке 3, полное сопротивление внедрению в грунт составит (рисунок 5):

$$W_{\rm B} = \frac{\gamma_0}{1 - b_1} \cdot \vartheta_{\rm B}^2 \cdot 0.94\sqrt{h} \cdot \sum_{i=1}^3 (tg\alpha_i + \mu_0) \cdot tg^2 \alpha_i [(R + 0.5htg\alpha)^{1.5} - (r + 0.5htg\alpha)^{1.5}].$$
(28)

## ОБСУЖДЕНИЕ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные зависимости позволят определить силы сопротивления, действующие на резец фрезерного рабочего оборудования гидравлического экскаватора в процессе взаимодействия с разрабатываемым грунтом. Математическая модель учитывает такие физико-механические свойства грунта, как плотность, сжимаемость, а также скорость внедрения резца в точке контакта с грунтом. Это позволило описать процесс взаимодействия рабочего органа с грунтом наглядно и всесторонне.

Результаты исследований применимы при оптимизации конструктивных и режимных параметров фрезерного рабочего оборудования гидравлического экскаватора.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Аладинский В.В., Малков А.Г., Ушаков А.В. Метод ремонта газопроводов с использованием труб, бывших в эксплуатации // Территория Нефтегаз. 2009. № 8. С. 56–60.

2. 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.

3. Куркин А.С., Бровко В.В., Пономарев П.А. Особенности ремонтных конструкций и технологий, их сварки при ремонте магистральных трубопроводов без замены // Журнал нефтегазового строительства. 2015. № 1. С. 40–43.

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

5. 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.

6. Tiratsoo John About decommissioning of production and transportation of oil: the UK experience // Science & Technologies: Oil and Oil Products Pipeline Transportation. 2017. № 1. pp. 82-83.

7. Ruggieri C., Fernando D. Numerical modelling of ductile crack extension in highpressure pipeline with



Рисунок 5 – Зависимость силы сопротивления внедрению резца в ерунт от угла резания и толщины срезаемой стружки

Figure 5 – Dependence of the resistance force against the penetration of the cutter into the ground on the cutting angle and the thickness of the cut chips

longitudinal flaws // Eng. Struct. 33 (5) (2011) 1423-1438. DOI: 10.1016/j.engstruct.2011.01.001

8. Archibald I.C. Soil stabilizer // Pipeline and qas Journal. 1984. No 11. pp. 44-46.

9. Timashev S., Bushinskaya A. Methods of Assessing Integrity of Pipeline Systems with Different Types of Defects // Diagnostics and Reliability of Pipeline Systems. 2016. pp. 9-43. DOI: 10.1007/978-3-319-25307-7-2.

10. Mourad N., Rabia K. Pipelines Reliability Analysis Under Corrosion Effect and Residual Stress // Arabian Journal for Science and Engineering. 2015, Vol. 40, Iss. 11. pp. 3273-3283. DOI: 10.1007/s13369-015-1723-9.

11. Chen F., Wu Ch. A novel methodology for forecasting gas supply reliability of natural gas pipeline systems // Frontiers in Energy. Issue 2. 2020. DOI: https://doi.org/10.1007/s11708-020-0672-5.

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

13. Набиев Р.Р. Обеспечение надёжности длительно эксплуатируемых нефтепроводов // Трубопроводный транспорт нефти. 2010. № 12. С. 9–11.

14. 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.

15. Лукьянов А.А. Анализ напряженно-деформированного состояния ремонтных конструкций магистральных трубопроводов // Сварка и контроль. 2013. С. 181–188.

16. Большаков А.М., Сыромятникова А.С., Алексеев А.А. Непроектные положения газопроводов, проложенных подземным способом в районах многолетнемерзлых грунтов // Газовая промышленность. 2014. № 4. С. 66–69.

17. Емельянов Р.Т., Султанов Н.С., Закурдаев А.В., Скурихин Л.В. Моделирование динамики регулируемого гидромотора // Вестник КрасГАУ. 2014. № 8. С. 181–185.

18. Мухамедова Д.Ч. Современные технические и технологические решения по повышению эффективности ремонта газопроводов // Молодой ученый. 2011. № 5 (28). Т. 1. С. 86–88.

19. Мустафин Ф.М. Технология сооружения газонефтепроводов / Ф.М. Мустафин, Л.И. Быков – Уфа: Нефтегазовое дело, 2007. 632 с.

20. Аникин Е.А. Эффективные методы ремонта магистральных трубопроводов. - Москва: ИРЦ Газпром, 2001. 108 с.

21. Баталин Ю.П., Березин В.Л., Телегин Л.Г., Курепин Б.Н., Организация строительства магистральных трубопроводов: Москва: Недра, 1980. 344 с.

22. Салюков В.В. Ремонт локальных участков трубопровода / В.В. Салюков, Н.Х. Халлыев, В.Г. Селиверстов и [др.] – Москва: ИРЦ Газпром, 2001. 73 с. 23. Пенчук В.А. Закономерности разрушения грунта рабочими органами машин для земляных работ // Известия ВУЗов. Строительство. 1999. № 1.

24. Демиденко А.И., Кузнецов И.С. Совершенствование конструкции рабочего оборудования гидравлического экскаватора // Вестник СибАДИ. 2020; 17(1): 12–21. https://doi.org/10.26518/2071-7296-2020-17-1-12-21.

25. Сагомонян А.Я. Проникание. Москва: Изд-во МГУ, 1974. 231 с.

#### REFERENCES

1. Aladinskiy V.V., Malkov A.G., Ushakov A.B. Metod remonta gazoprovodov s ispol'zovaniyem trub, byvshikh v ekspluatatsii [Method of gas pipeline repair using used pipes]. *Territoriya Neftegaz*. 2009; 8: 56-60. (In Russian)

2. Bulavintseva A. D., Mazurkin P. M. Dinamika avariy po prichinennomu ushcherbu na lineynoy chasti magistral'nykh nefteprovodov OAO AK «Transneft'»[-Dynamics of accidents on the damage caused on the linear part of the main oil pipelines of JSC Transneft]. *Sovremennyye naukoyemkiye tekhnologii.* 2011; 4: 64-67. (In Russian)

3. Kurkin A. S., Brovko V.V., Ponomarev P.A. Osobennosti remontnykh konstruktsiy i tekhnologiy ikh svarki pri remonte magistral'nykh truboprovodov bez zameny [Features of repair structures and their welding technologies during repair of main pipelines without replacement]. *Zhurnal neftegazovogo stroitel'stva.* 2015; 1: 40-43. (In Russian)

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

5. Bulavintseva A.D., Mazurkin P.M. Dinamika avarij po prichinennomu ushherbu na linejnoj chasti magistral'nyh nefteprovodov OAO «AK «Transneft'» [Dynamics of accidents on the damage caused on the linear part of the main oil pipelines of JSC "AK Transneft"]. *Sovremennyye naukoyemkiye tekhnologii*. 2011; 4: 64-67. (In Russian)

6. Tiratsoo John About decommissioning of production and transportation of oil: the UK experience // Science Jamp Technologies: *Oil and Oil Products Pipeline Transportation*. 2017; 1: 82 - 83.

7. Ruggieri C., Fernando D. Numerical modelling of ductile crack extension in highpressure pipeline with longitudinal flaws // Eng. Struct. 33 (5) (2011) 1423-1438. DOI: 10.1016/j.engstruct.2011.01.001.

8. Archibald I.C. Soil stabilizer // Pipeline and gas Journal. 1984; 11: 44-46.

9. Timashev S., Bushinskaya A. Methods of Assessing Integrity of Pipeline Systems with Different Types of Defects // *Diagnostics and Reliability of Pipeline Systems*. 2016: 9-43. DOI: 10.1007/978-3-319-25307-7-2.

10. Mourad N., Rabia K. Pipelines Reliability Analysis Under Corrosion Effect and Residual Stress // Arabian Journal for Science and Engineering. 2015; 40(11): 3273-3283. DOI: 10.1007/s13369-015-1723-9.



РАЗДЕЛ І ТРАНСПОРТНОЕ, ГОРНОЕ И СТРОИТЕЛЬНОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ

11. Chen F., Wu Ch. A novel methodology for forecasting gas supply reliability of natural gas pipeline systems // *Frontiers in Energy*. Issue 2. 2020. DOI: https://doi.org/10.1007/s11708-020-0672-5.

12. Zorin Ye.Ye., Tolstov A.E., Yefimov V.M. Napryazhenno-deformirovannoye sostoyaniye truboprovodov podzemnoy prokladki v usloviyakh kriolitozony [Stress-deformed condition of underground gasket pipelines in cryolitosone conditions]. *Neft', gaz i biznes*. 2015; 9: 9-12. (In Russian)

13. Nabiyev R.R. Obespecheniye nadozhnosti dlitel'no ekspluatiruyemykh nefteprovodov [Ensuring reliability of long-term operated oil pipelines]. *Trubo provodnyy transport nefti*. 2010; 12: 9-11. (In Russian)

14. Sharygin YU. M., Romantsov S. V., Sharygin A. M. Povysheniye prochnosti defektnykh trub, usilennykh kompozitnymi muftami s boltovym soyedineniyem [Increased strength of defective pipes reinforced by composite couplings with bolted connection]. *Transport i podzemnoye khraneniye gaza*. 2002; 3:104-107. (In Russian)

15. Luk'yanov A. A. Analiz napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya remontnykh konstruktsiy magistral'nykh truboprovodov [Analysis of stress-strain state of repair structures of main pipelines]. *Svarka i kontrol'*. 2013: 181-188. (In Russian)

16. Bol'shakov A.M., Syromyatnikova A.S., Alekseyev A.A. Neproyektnyye polozheniya gazoprovodov, prolozhennykh podzemnym sposobom v rayonakh mnogoletnemerzlykh gruntov // *Gazovaya promyshlennost'*. 2014; 4: 66-69. (In Russian)

17. Yemel'yanov R.T., Sultanov N.S., Zakurdayev A.V., Skurikhin L.V. Modelirovaniye dinamiki reguliruyemogo gidromotora [Simulation of controlled hydraulic motor dynamics] *Vestnik KrasGAU*. 2014; 8: 181-185. (In Russian)

18. Mukhammedova D. CH. Sovremennyye tekhnicheskiye i tekhnologicheskiye resheniya po povysheniyu effektivnosti remonta gazoprovodov / D. CH. Mukhammedova. // *Molodoy uchenyy*. 2011; 5 (28). T. 1: 86-88. (In Russian)

19. Mustafin F.M. Tekhnologiya sooruzheniya gazonefteprovodov / F.M. Mustafin, L.I. Bykov – Ufa: *Neftegazovoye delo*, 2007: 632. (In Russian) 20. Anikin Ye.A. Effektivnyye metody remonta magistral'nykh truboprovodov. - M.: IRTS Gazprom, 2001: 108. (In Russian)

21. Batalin YU.P., Berezin V.L., Telegin L.G., Kurepin B.N., Organizatsiya stroitel'stva magistral'nykh truboprovodov: M.: *Nedra*, 1980: 344. (In Russian)

22. Salyukov, V.V. Remont lokal'nykh uchastkov truboprovoda / V.V. Salyukov, N.KH. Khallyyev, V.G. Seliverstov i dr. – M.: IRTS *Gazprom*, 2001: 73. (In Russian)

23. Penchuk, V.A. Zakonomernosti razrusheniya grunta rabochimi organami mashin dlya zemlyanykh rabot // Izvestiya VUZov. *Stroitel'stvo*, 1999; 1. (In Russian)

24. Demidenko A.I., Kuznetsov I.S. Sovershenstvovaniye konstruktsii rabochego oborudovaniya gidravlicheskogo ekskavatora. Nauchnyy retsenziruyemyy zhurnal *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2020; 17(1): 12-21. https://doi.org/10.26518/2071-7296-2020-17-1-12-21. (In Russian)

25. Sagomonyan, A.YA. Pronikaniye. M.: *Izd-vo MGU*, 1974. – 231. (In Russian)

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Илья Сергеевич Кузнецов – студент факультета «Нефтегазовая и строительная техника» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ)» (644080, г. Омск, пр. Мира, 5 e-mail: dissovetsibadi@bk.ru).

#### **INFORMATION ABOUT THE AUTHOR**

Ilya S. Kuznetsov (Omsk, Russia) – Student of the Oil and Gas and Construction Equipment Faculty of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Siberian State Automobile and Highway University (SibADI) (644080, Omsk, Mira Ave., 5 e-mail: dissovetsibadi@bk.ru).