



# **КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД К ОБЕСПЕЧЕНИЮ НАДЁЖНОСТИ И ДОЛГОВЕЧНОСТИ НАЗЕМНЫХ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН В УСЛОВИЯХ АРКТИКИ**

**ПУШКАРЕВ АЛЕКСАНДР ЕВГЕНЬЕВИЧ**

д.т.н., профессор кафедры НТТМ СПбГАСУ

**ЕВТЮКОВ СЕРГЕЙ АРКАДЬЕВИЧ**

д.т.н., заведующий кафедрой НТТМ СПбГАСУ

**РЕПИН СЕРГЕЙ ВАСИЛЬЕВИЧ**

д.т.н., профессор кафедры НТТМ СПбГАСУ

**ТЕРЕНТЬЕВ АЛЕКСЕЙ ВЯЧЕСЛАВОВИЧ**

д.т.н., профессор кафедры НТТМ СПбГАСУ



# **A COMPREHENSIVE APPROACH TO ENSURING THE RELIABILITY AND DURABILITY OF LAND TRANSPORT AND TECHNOLOGICAL VEHICLES IN ARCTIC CONDITIONS**

**PUSHKAREV ALEKSANDR EVGENYEVICH**

PhD, professor, NTTM dep.

Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering

**EVTYUKOV SERGEY ARKADYEVUCH**

PhD, professor, Head of NTTM dep.

Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering

**REPIN SERGEY VASILYEVICH**

PhD, professor, NTTM dep.

Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering

**TERENTYEV ALEKSEY VYACHESLAVOVICH**

PhD, professor, NTTM dep.

Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering

ПРОБЛЕМЫ ТЕРРИТОРИАЛЬНОГО РАЗВИТИЯ АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ  
Arctic Territorial Development: Challenges & Solutions (ARCTD 2021)



ПРОБЛЕМЫ ТЕРРИТОРИАЛЬНОГО РАЗВИТИЯ АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ  
Arctic Territorial Development: Challenges & Solutions (ARCTD 2021)



Федеральный закон от 13.07.2020 N 193-ФЗ (ред. от 02.07.2021) "О государственной поддержке предпринимательской деятельности в Арктической зоне Российской Федерации"

АРКТИЧЕСКАЯ ЗОНА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ



- 1 – Мурманская область
- 2 – Республика Карелия
- 3 – Архангельская область
- 4 – Ненецкий автономный округ

- 5 – Ямало-Ненецкий автономный округ
- 6 – Красноярский край
- 7 – Республика Саха (Якутия)
- 8 – Чукотский автономный округ
- 9 – Республика Коми

# ПРОБЛЕМЫ ТЕРРИТОРИАЛЬНОГО РАЗВИТИЯ АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ

## Arctic Territorial Development: Challenges & Solutions (ARCTD 2021)



ПРОБЛЕМЫ ТЕРРИТОРИАЛЬНОГО РАЗВИТИЯ АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ  
Arctic Territorial Development: Challenges & Solutions (ARCTD 2021)



Анадырь

Конструкция и параметры строительных машин определяются специфическими особенностями строительства и каждой операции технологии производства соответствующих видов работ, и значительно обостряются в условиях Арктики.

особенностями  
строительства  
Арктики

большой объем  
транспортных опе

частая повторяемость,  
цикл  
синхрониз

жесткая регламентация ряда  
операций во времени (охлаждение  
асфальтобетонной смеси и др.)

линейная протяженностью  
работ и их удаление от

необходимость увязки производительности комплекта машин  
между собой и со скоростью технологического процесса;

необходимость обеспечения устойчивости грунтовых  
массивов и высокой стабильности свойств строительных  
смесей и других строительных материалов

очих поверхностей

обеспечение безотказного функционирования во время эксплуатации, а также поддержание работоспособного состояния проведением своевременных технического обслуживания и ремонтов.


максимальная безопасность обслуживания; комфортность труда; минимальные затраты ручного и тяжелого физического труда; легкость и удобство управления; необходимые санитарно-гигиенические условия труда рабочих.



соответствие условиям технологичности изготовления, сборки и ремонта.

обеспечение минимальных трудовых и материальных затрат при изготовлении, эксплуатации, обслуживании и ремонтах строительных машин.

В связи с этим разработка научно обоснованных рекомендаций по выбору основных параметров технологических машин нового технического уровня, формирование на их основе типоразмерных и параметрических рядов, обеспечивающих эффективную эксплуатацию в условиях Арктики является актуальной научно-технической задачей с высокой практической значимостью.



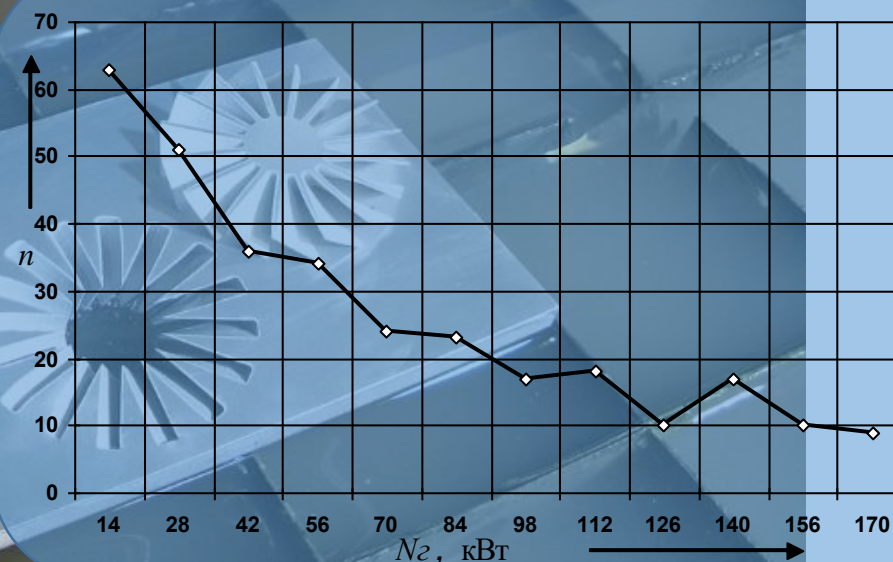
## КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД К ОБЕСПЕЧЕНИЮ НАДЁЖНОСТИ И ДОЛГОВЕЧНОСТИ НАЗЕМНЫХ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН В УСЛОВИЯХ АРКТИКИ

В качестве начального шага к решению обозначенной проблемы предлагается использовать экспертный метод при оценке технического уровня создаваемой новой и модернизации выпускаемой машиностроительной продукции с определением её основных параметров.

Далее, для определения значений основных параметров, которые могут быть реализованы для решения конкретных технологических задач в конкретных же условиях применения, используются расчетные зависимости, отражающие взаимосвязи основных параметров с наиболее значимыми факторами, влияющими на эффективность применения машин.



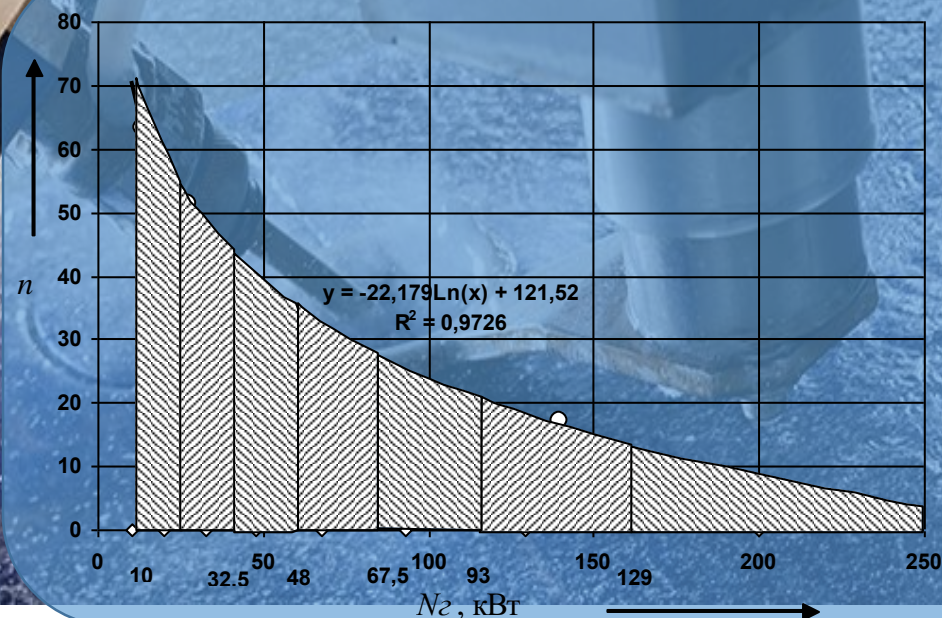
Так для энергетического оборудования, используемого в комплекте гидроабразивной режущей машины, полигон распределения приводной мощности для практического применения будет иметь вид, представленный на рисунке



Важно отметить, что для построения представленного полигона использовались расчетные зависимости, полученные в результате масштабных экспериментальных исследований:

$$\begin{cases} V_n = 4.073 - 0.032 \times \sigma_{сж} + 0.006 \times P_0 + 0.0002 \times P_0 \times \sigma_{сж} \\ h = \frac{1}{2} k \frac{Q_a}{d_k V_n^{0,777}} \frac{\beta^2 Q_n^2 v_0^2}{(Q_a + \beta Q_n)^2} \\ N_z = 26.33 \times d_0^2 \times P_0^{1.5} \end{cases}$$

Дальнейшая обработка совокупности расчетных величин основных параметров работы оборудования позволяет получить ряд предпочтительных значений основной технической характеристики, для которых вероятность применения машин различного типоразмера одинакова.



Таким образом, полученный ряд предпочтительных значений основного технического параметра создаваемой машины является основой для формирования параметрического и типоразмерного рядов оборудования, отвечающего в полной мере запросам потребителей. Для энергетического оборудования гидроабразивного резания такие ряды представлены в таблице.



Типо- размер №	Насосный блок		Преобразователь давления (ПД)							
	Мощность привода, N, кВт	Подача, л/мин	Исполнение							
			1	2	3	4	5	6	7	8
			Главный параметр ПД - $P_{ном}$ , МПа							
			20	65	95	120	150	180	260	300
			Производительность - Q, л/мин							
1	17	43	40	11	7.5	6				
2	35	85	75	22	15	12	9.5	7.5	5	
3	50	120	110	31	22	17	13	11	7.5	6.5
4	70	170	150	44	30	24	19	15	10	9
5	110	265	230	70	45	35	30	22	15	12
6	140	340	300	88	60	48	38	30	20	18



Предложенный алгоритм обоснования параметров технологических машин, основанный на применении метода экспертных оценок для формирования перечня параметров, в наибольшей степени влияющих на показатели работы оборудования, более полно учитывает особенности условий их применения, в том числе, мнение специалистов эксплуатирующих компаний. Тем самым обеспечивается обоснованное сокращение номенклатуры принимаемых к производству и применению изделий за счет формирования параметрических и типоразмерных рядов, и создаются предпосылки к повышению конкурентных возможностей новой техники.

## Обеспечения работоспособности строительных машин в сложных условиях эксплуатации

Под сложными условиями эксплуатации понимается:

Сезонность работы с невозможностью выполнять серьезные ремонтные воздействия в период выполнения работ;

Большая линейная протяженность или территориальный разброс мест выполнения работ;

Тяжелые грунтовые и погодные условия.





Метод планирования восстановительного ремонта машин на основании метода вариатора затрат

Важные узлы машин в процессе восстановительного ремонта диагностируются и при необходимости заменяются новыми или отремонтированными по условию превышения остаточного ресурса на продолжительность сезонного периода работ

Для расчета нужны данные по заложенному производителем сроку службы машины. Каждый элемент системы имеет свой ресурс до замены, либо капитального ремонта. Данные по этим ресурсам могут быть предоставлены производителями техники, либо путем экспертной оценки.

Доля в стоимости для каждого элемента системы будет представлять собой отношение стоимости элемента к суммарной стоимости всех элементов системы.

Вариатором для каждого элемента системы будет являться произведение доли элемента и доли ресурса к общему сроку службы машины, и имеет вид:

$$V = \frac{C_{эi} R_{эi}}{\sum C_{э} T_{сл}} \cdot 100\%$$

где  $C_{эi}$  - стоимость нового оригинального элемента, руб.;

$T_{сл}$  - нормативный срок службы машины, маш.-ч;

$\sum C_{э}$  - суммарная стоимость элементов системы, руб.;

$R_{эi}$  - предположительный ресурс нового оригинального элемента, маш.-ч.

В результате проведенной диагностики оценивается остаточный ресурс по каждому элементу системы, и вариаторы будут определяться относительно элементов новой машины.

$$V = \frac{C_{эi} R_{эостi}}{\sum C_{э} T_{сл}} \cdot 100\%$$

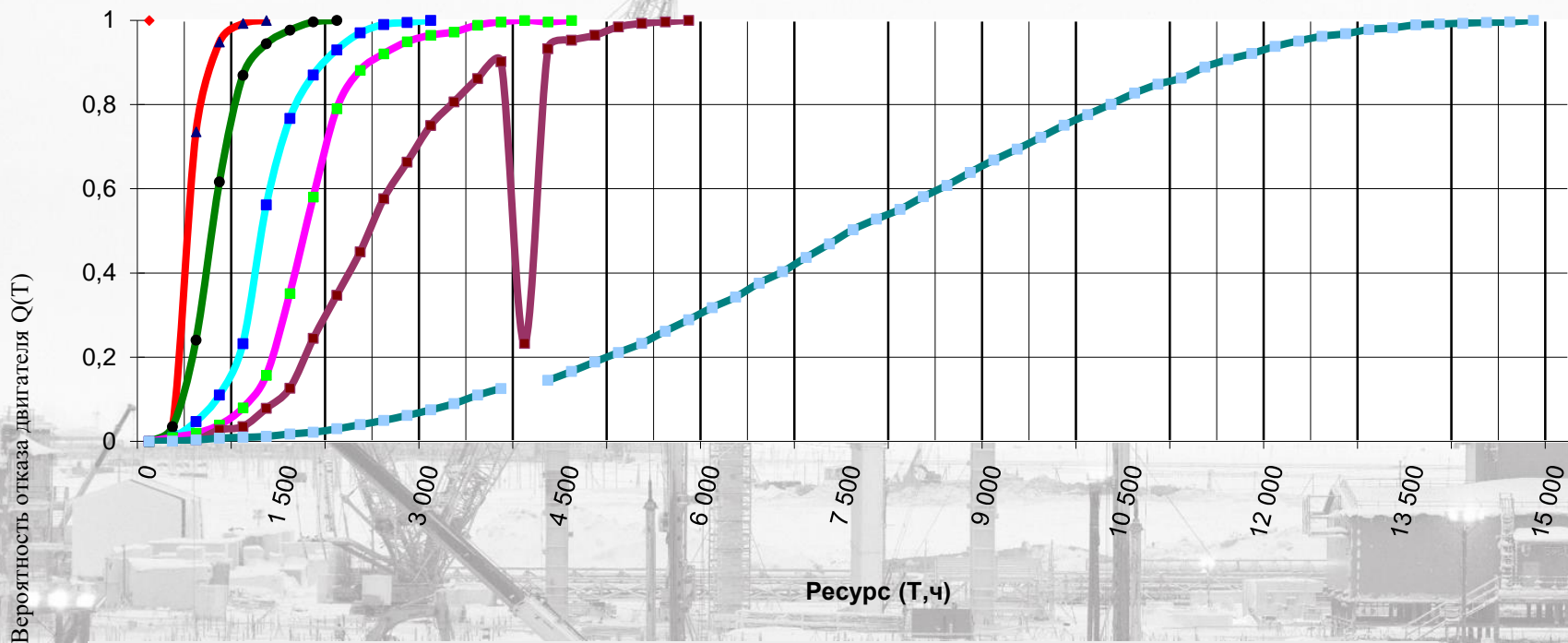
где  $R_{эостi}$  - предположительный остаточный ресурс элемента, маш.-ч.

# ПРОБЛЕМЫ ТЕРРИТОРИАЛЬНОГО РАЗВИТИЯ АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ

## Arctic Territorial Development: Challenges & Solutions (ARCTD 2021)



Кривые вероятностей отказа двигателей D-355C после капитального ремонта при различных вариантах комплектации запасными частями



- компл. запчастями отеч. пр-ва
- компл. запчастями китайского пр-ва
- компл. запчастями Clevite
- компл. запчастями FP-Diesel
- компл. запчастями KMP
- компл. оригинальными запчастями и запчастями для конвейера (OEM)

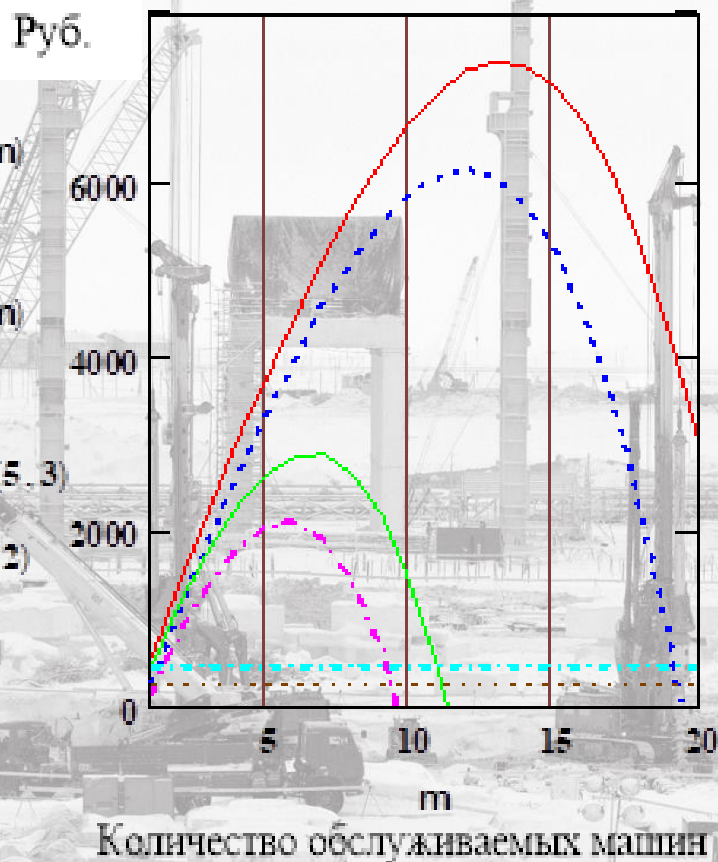
## Метод расчета потребности в ремонтных средствах на основе теории массового обслуживания

В качестве критерия оптимизации принимается прибыль от работы систем массового обслуживания, которую можно представить в виде функции количества обслуживаемых машин  $m$ :

$$П(t, m) = -Z_{РП}(t, m) - У(t, m) + В(t, m) \rightarrow \max$$

где  $Z_{РП}(t, m)$  - затраты на эксплуатацию РП;  $У(t, m)$  - ущерб от простоя отказавших машин в очереди и в обслуживании;  $В(t, m)$  - выручка от работы исправных машин.

Графики зависимости прибыли СМО с резервной машиной  $P_{зм}(t, m)$  и без нее  $P(t, m)$  от количества обслуживаемых машин



ПРОБЛЕМЫ ТЕРРИТОРИАЛЬНОГО РАЗВИТИЯ АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ  
Arctic Territorial Development: Challenges & Solutions (ARCTD 2021)



Элементы Арктической транспортной системы



## Транспортно-технологические системы и комплексы в условиях Арктики

Объекты исследований с изменяющимися условиями внешней среды

Динамическое развитие процессов изменения параметров в самой системе

Отсутствие достаточной степени определённости необходимого информационного состояния при выработке мероприятий, направленных на повышения эффективности системы

# ПРОБЛЕМЫ ТЕРРИТОРИАЛЬНОГО РАЗВИТИЯ АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ

## Arctic Territorial Development: Challenges & Solutions (ARCTD 2021)



Введите количество вершин: 10  
Введите количество критериев: 3

Установите связи между вершинами: K1>K2>K3

Вершины	Эффективнос
6 7	<input checked="" type="checkbox"/> 0,019
6 8	<input checked="" type="checkbox"/> 0,06366666666
6 9	<input checked="" type="checkbox"/> 0,068
6 10	<input type="checkbox"/> 0
7 8	<input type="checkbox"/> 0
7 9	<input checked="" type="checkbox"/> 0,0335
7 10	<input checked="" type="checkbox"/> 0,068
8 9	<input checked="" type="checkbox"/> 0,058
8 10	<input checked="" type="checkbox"/> 0,105
9 10	<input checked="" type="checkbox"/> 0,105

Вершины	K1	K2	K3
1	4	8	1
5	4	3	
1	4	5	

ОПРЕДЕЛИТЬ СВЯЗИ

Связи	K1	K2	K3
9 10	1	8	6

min-max min max min

4 K2>K3 D1=0,03; D2=0,052; 2  
K3>K2 D1=0,026; D2=0,044; 2

Наилучший путь  
1->2->5->6->8->9->10

Стоимость пути  
0,451

НОРМАЛИЗОВАТЬ РАССЧИТАТЬ

НОРМАЛИЗОВАТЬ РАССЧИТАТЬ

Для всех отмеченных методов разработаны алгоритмы решения задач нахождения оптимальных решений и ПО для практического использования. Тем самым, реализуется комплексный подход к обеспечению надёжности и долговечности наземных транспортно-технологических машин в условиях Арктики.

# ПРОБЛЕМЫ ТЕРРИТОРИАЛЬНОГО РАЗВИТИЯ АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ

## Arctic Territorial Development: Challenges & Solutions (ARCTD 2021)



### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Перистальтический насос-смеситель для сильно сгущенных веществ: № 2616432, Рос. Федерация: МПК F 04B 43/12, F 04B 43/09 / Васильева М. А., Александров В.И., Проскурьяков Р. М., Кошкина Е. П.; заявитель и патентообладатель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Санкт-Петербургский горный университет". - 2016101312, 18.01.2016; заявл. 18.01.2016; опубл. 14.04.2017 Бюл. № 11.
2. Перистальтический насос-смеситель для пастообразных веществ: патент № 2626193, Рос. Федерация: МПК F 04B 43/12, F 04B 43/09 / Васильева М. А., Сержан С.Л.; заявитель и патентообладатель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Санкт-Петербургский горный университет". - № 2016146228, 24.11.2016; заявл.: 24.11.2016; опубл. 24.07.2017, Бюл. № 21.
3. Vasilyeva M. A. Equipment for generating running magnetic fields for peristaltic transport of heavy oil // International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM) 2017, №8076356.
4. Ottosson A, Nilsson L, Berghel J. A mathematical model of heat and mass transfer in Yankee drying of tissue, *Drying Technology*. 2017. № 35(3), p. 323-334.
5. Ates S, Hydraulic modelling of control devices in loop equations of water distribution networks. *FLOW MEASUREMENT AND INSTRUMENTATION*. 2017. № 35, p. 243-260.
6. В.А. Бреннер, К.А. Головин, А.Е. Пушкарев. Разработка оборудования для закрепления массивов неустойчивых горных пород методом гидроструйной цементации: Монография / - Тула, Изд-во ТулГУ, 2007. - 206 с.
7. <http://www.casagrandegroup.ru> – электронный ресурс.
8. <https://bayer.nt-rt.ru> – электронный ресурс.
9. Методы оценки технического уровня машиностроения: учеб. пособие / В.В. Беспалов, Б.В. Устинов; Нижегород. гос. техн. ун-т им. П.Е. Алексеева; - Нижний Новгород, 2014. - 204с.
10. Литвиненко, В. С. и Двойников, М. В. Обоснование выбора параметров режима бурения скважин роторными управляемыми системами, *Записки Горного Института*, 235, с. 24. DOI: 10.31897/pm.2019.1.24.
11. Литвиненко, В. С. и Двойников, М. В. Методика определения параметров режима бурения наклонно прямолинейных участков скважины винтовыми забойными двигателями, *Записки Горного Института*, 241, с. 105. DOI: 10.31897/pm.2020.1.105.
12. Максаров, В. В. и Ольт, Ю. Динамическая стабилизация процесса резания на основе локальной метастабильности в управляемых робототехнических комплексах на станках с ЧПУ, *Записки Горного Института*, 226, с. 446. DOI: 10.25515/pm.2017.4.446.
13. Иванов, С. Л., Иванова, П. В. и Кувшинкин, С. Ю. Оценка наработки карьерных экскаваторов перспективного модельного ряда в реальных условиях эксплуатации, *Записки Горного Института*, 242, с. 228. DOI: 10.31897/pm.2020.2.228.
14. Шишлянников, Д. И., Трифанов, М. Г. и Трифанов, Г. Д. Оценка нагруженности приводов комбайнов „Урал-20Р“ при двухстадийной разработке забоя, *Записки Горного Института*, 242, с. 234. DOI: 10.31897/pm.2020.2.234.
15. Леонтьев Н.С. Выбор и обоснование конструктивных параметров и режимов работы гидросъемника гидроструйной бурильной машины : автореферат дис. ... кандидата технических наук. Тула, 2012 – 16 с.
16. Пушкарев А.Е., Леонтьев Н.С., Чеботарев А.В., Кузьмичев В.А. Стендовые испытания гидросъемника высокого давления // *Известия ТулГУ. Науки о Земле*. Вып. 1. Тула: Изд-во Тул-ГУ, 2011. С. 312-317.
17. Крамер Г. Математические методы статистики. М., "Мир", 1975.- 243 с.
18. Коровкин Ю.А. Механизированные крепи очистных забоев/Под ред. Ю.Л. Худина. – М.: Недра, 1990. – 413 с.
19. Polyakov, S. V., & Pushkarev, A. E. (2019). Parameters determining differences between geometric and mechanical properties of spiral elements in rope, affecting development of emergency situations. Paper presented at the *Geotechnics Fundamentals and Applications in Construction: New Materials, Structures, Technologies and Calculations - Proceedings of the International Conference on Geotechnics Fundamentals and Applications in Construction: New Materials, Structures, Technologies and Calculations*, GFAC 2019, 270-273. doi:10.1201/9780429058882-53 Retrieved from [www.scopus.com](http://www.scopus.com)
20. Shishlyannikov, D. I., & Pushkarev, A. E. (2019). Diagnosis of mining and oilfield equipment by excited oscillations analysis technique. Paper presented at the *Journal of Physics: Conference Series*, , 1384(1) doi:10.1088/1742-6596/1384/1/012045 Retrieved from [www.scopus.com](http://www.scopus.com)

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!