

УДК 625.7

DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2020-17-3-316-327>

ВЛИЯНИЕ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУР НА ТЕПЛОВОЙ РЕЖИМ ГИДРОАГРЕГАТОВ АВТОГРЕЙДЕРА ДЗ-98

Т.Н. Охлопков

ФГАОУ ВО СВФУ имени М.К. Аммосова,

г. Якутск, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. В статье рассматриваются природно-климатические условия Якутии, а также процесс охлаждения гидравлической системы автогрейdera ДЗ-98 с целью предотвращения нарушения теплового режима гидроагрегатов под влиянием низких температур с учетом ветрового обдува и режима работы. Измерения температуры поверхности гидроагрегатов осуществлялись 16 января 2018 года в г. Якутске на базе акционерного общества «Якутдорстрой» при температуре окружающего воздуха -42°C . Причины климатического характера вызывают простои техники в периоды низких отрицательных температур, оговариваемых инструкциями заводов-изготовителей, разработанными применительно к конкретным условиям, актирующих вынужденные простои машин. Целью исследовательской работы является определение возможности регулирования температуры гидроагрегатов в режиме холостого хода для определения закономерностей изменения температур в зависимости от режима работы.

Материалы и методы. Для обеспечения надежной работы гидравлической системы в условиях низких температур гидроагрегаты должны обеспечить подачу рабочей жидкости под давлением независимо от изменения температуры окружающего воздуха. Тепловой режим гидроагрегатов характеризуется тремя основными параметрами: давлением, температурой и объемом. В условиях Севера, где в зимний период температура окружающего воздуха варьируется от -27°C до -49°C , определяющим параметром является абсолютная температура. При решении задачи использовались теории теплопроводности и теплопередачи в твердых телах, гидродинамики и дифференциальных уравнений.

Результаты. Природно-климатические данные, а также зарегистрированная температура поверхности гидроагрегатов позволяют определить количество дней с критически отрицательной температурой, теплоотдачу гидроагрегатов и закономерность его изменения в зависимости от режима работы.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: автогрейдер, эксплуатация, гидроагрегат, низкие температуры, тепловой режим, рабочая жидкость, теплоотдача, процесс охлаждения.

БЛАГОДАРНОСТИ. Автор выражает благодарность Воскресенскому Геннадию Гавриловичу, д-ру техн. наук, исполняющему обязанности заведующего кафедрой «Транспортно-технологические системы в строительстве и горном деле» ФГБОУ ВО «Тихоокеанский государственный университет» г. Хабаровска, Юрченко Сергею Анатольевичу, главному инженеру акционерного общества «Якутдорстрой».

Поступила 26.03.2020, принята к публикации 30.06.2020.

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.

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

Для цитирования: Охлопков Т.Н. Влияние низких температур на тепловой режим гидроагрегатов автогрейdera ДЗ-98. Вестник СибАДИ. 2020; 17 (3): <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2020-17-3-316-327>

© Охлопков Т.Н.



Контент доступен под лицензией
Creative Commons Attribution 4.0 License.

DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2020-17-3-316-327>

LOW TEMPERATURES EFFECT ON THERMAL CONDITIONS OF DZ-98 AUTOGRADER HYDRAULIC UNITS

T.N. Okhlopkov

*Federal State Autonomous Educational Institution
of Higher Education M.K. Ammosov Northeastern Federal University,
Yakutsk, Russia*

ABSTRACT

Introduction. The article discusses the climatic conditions of Yakutia, as well as the cooling process of the hydraulic system of DZ-98 motor grader in order to prevent violation of the thermal regime of hydraulic units under the influence of low temperatures, taking into account the wind blowing and operating conditions. The surface temperature of the hydraulic units was measured on January 16, 2018 in the city of Yakutsk on the basis of Yakutdorstroi joint-stock company at an ambient temperature of -42°C .

Materials and methods. To ensure a reliable operation of the hydraulic system at low temperatures, hydraulic units must provide a supply of working fluid under pressure, regardless of changes in ambient temperature. The thermal regime of hydraulic units is characterized by three main parameters: pressure, temperature and volume. In the North, where the ambient winter temperature varies from -27°C to -49°C , the absolute temperature is the determining parameter. Studying the problem, theories of heat conduction and heat transfer in solids, hydrodynamics, and differential equations were used.

Results. Natural and climatic data, as well as the recorded surface temperature of hydraulic units, allow to determine the number of days with a critically negative temperature, the heat transfer of hydraulic units and the regularity of its change depending on the operating mode.

KEY WORDS: grader, operation, hydraulic unit, low temperatures, thermal conditions, working fluid, heat transfer, cooling process.

GRATITUDE: The author expresses the gratitude to Gennadii G. Voskresenskii, Dr. of Sci., the Acting Head of the Transport and Technological Systems in Construction and Mining Department in Khabarovsk Pacific State University, to Sergey A. Iurchenko, the Chief Engineer of Yakutdorstroi Joint Stock Company.

Submitted 26.03.2020, revised 30.06.2020.

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: Okhlopkov T.N. Low temperatures effect on thermal conditions of autograder hydraulic units DZ-98. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2020; 17 (3): <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2020-17-3-316-327>

© Okhlopkov T.N.



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

Общая цель исследования заключается в повышении эффективности строительных, дорожных машин в условиях Российского Севера посредством улучшения приспособленности гидравлических систем к низким температурам, приспособления конструкции гидроагрегатов дорожных машин к зимним условиям эксплуатации¹.

Задачи исследования:

- определить количество дней с критически отрицательной температурой;
- измерить температуру поверхности гидроагрегатов;
- рассчитать теплоотдачу гидроагрегатов;
- сделать выводы.

ВВЕДЕНИЕ

Увеличение объемов работ, производительности труда в горнодобывающих и дорожно-строительных предприятиях Республики Саха (Якутия) предполагает привлечение большого числа строительных, дорожных машин. Условия эксплуатации строительной, дорожной техники в предприятиях г. Якутска, насчитывающей около 30 тыс. ед., весьма специфичны. Природно-климатические, грунтовые и технологические условия Крайнего Севера характеризуются низкими температурами воздуха и грунта, заснеженностью территорий и отсутствием дорог, сильными ветрами, большими перепадами температур, высокой прочностью и абразивностью вечномерзлых и мерзлых грунтов, удаленностью мест работы машин от баз эксплуатации [1, 2]. Эти условия существенно отличаются от расчетных для строительных, дорожных машин общего назначения. Однако только 5% парка строительных, дорожных машин являются специальными. Более того, строительная, дорожная техника, эксплуатируемая в регионе, только на 50% обеспечена специальными зимними сортами топлива, на 35–40% – трансмиссионным маслом, на 20–25% рабочей жидкостью гидросистем. Из-за этого производительность строительных, дорожных машин снижается по сравнению с расчетной не менее чем 1,5 раза, в 2–3 раза уменьшается наработка на отказ, в 2–5 раз по сравнению с нормативами сокращается срок службы. Процесс подготовки машин к пуску превращается в изнурительную процедуру, продолжающуюся 1...3 часа и бо-

лее, при ощутимых дополнительных затратах топлива для подогревателя.

Машина является частью сложной системы, в которой на нее действуют природно-климатические, технологические, экономические, управляющие факторы. Машина в свою очередь адекватно реагирует на них посредством энергетического воздействия.

Обобщая накапливаемый десятилетиями опыт адаптации, подчеркивая многогранность понятия, его можно классифицировать и с некоторой условностью представить в виде трех групп.

Первая из этих групп объединяет разнообразные способы и средства, совершенствующие собственно машину вне зависимости от того, где это делается – на заводе-изготовителе или в эксплуатирующей организации. Примером подобного совершенствования может служить оснащение машин подогревателями, обеспечивающими их предпусковую тепловую подготовку, применение специальных материалов, топлив и масел.

Ко второй группе относятся способы и средства, обеспечивающие смягчение суровости условий эксплуатации (технологических, природно-климатических), например, на отдельных участках грунт предохраняют от замораживания или предварительно оттаивают. Поэтому дорожными и землеройными машинами разрабатывается разупрочнённый грунт, или когда снег и низкие температуры используют для строительства снежоледовых дорог.

Третья группа объединяет способы и средства, когда наблюдаются одновременно признаки первой и второй групп, то есть тогда, когда вносят изменения в конструкцию машины и в нужном направлении корректируют воздействие среды. В качестве решений, относящихся к этой группе, можно отнести реализацию комбинированных способов разрушения мерзлых грунтов (гидромеханические, термомеханические и др.) и решения по созданию машин и механизмов для строительства снежоледовых дорог [3].

Анализируя методы, применяемые на предприятиях для совершенствования конструкции машин, очевидно, что в большинстве случаев модернизация носит субъективный характер и направлена непосредственно на обеспечение машин подогревателями и использование специальных горюче-смазочных материалов

¹ Ишков А.М., Викулов М.А. Эксплуатация горнотранспортных машин на карьерах Севера: учебное пособие. 2015. С.3–7. 144 С.

для решения узкопроизводственных задач в рамках предприятия, выполнения плановых заданий. Практика показывает, что только 50% машин обеспечены специальными зимними сортами топлива, 35–40% трансмиссионными маслами, 20–25% рабочими жидкостями гидросистем. Таким образом, проблема эксплуатации машин в условиях низких температур в настоящее время не решается в полном объеме и требует проведения дополнительных исследований теплового режима гидроагрегатов [4, 5].

Тепловой режим гидроагрегатов характеризуется тремя основными параметрами: давление, температура и объем. Низкие температуры, ветровой обдув, режим работы существенно влияют на температурный режим гидроагрегатов. В результате нарушения теплового режима снижается производительность и эксплуатационная надежность гидравлической системы, имеющей значительную протяженность гидравлических линий, в отдельных агрегатах наблюдается рост потерь давления, повышение вязкости рабочей жидкости, снижение упругих свойств уплотнителей. В зимний период возникают отказы гидросистемы [6].

Энергетические системы преобразуют и хранят энергию из различных физических областей, таких как механическая (например маховик); электрическая (ультраконденсатор); гидравлическая (аккумулятор); химическая (бензин); тепловая (хранение льда); ядерная (энергия, связывающая ядро урана); экономическая (банковский счет) и др. Инженеры и ученые требуют общей структуры описания и анализа энергетических систем. Это общая структура – математика, и мы относимся к нашему описанию динамических энергетических систем как к математической модели [7]. Методы математического моделирования гидродинамических систем, какими в основном и являются гидравлические системы и оборудование строительных, дорожных машин, создают возможность для глубокого анализа процессов, происходящих при выполнении технологических операций. Сочетание различных гидроагрегатов гидравлической системы, соединённых разными устройствами, с нестационарными параметрами обеспечивает возможность на современном этапе развития науки создать математические модели как отдель-

ных агрегатов, так и системы в целом с учетом управляющего воздействия гидросистемы. Решение математических моделей создает предпосылки рационального выбора способов и средств совершенствования гидроагрегатов, установления реальных значений параметров в гидравлической системе, дает возможность определить точность выполняемых функций и устойчивость системы управления [8]. Математическая модель ограничена по различным параметрам. Входные параметры модели могут быть представлены структурными параметрами, электрохимическими кинетическими параметрами, физическими и тепловыми параметрами, а также рабочими параметрами [9].

Для обеспечения оптимального теплового режима применяют разнообразные способы и средства, совершенствующие машину вне зависимости от того, где это делается – на заводе-изготовителе или в эксплуатирующей организации [10]. Примером подобного совершенствования может служить обмотка рукава высокого давления (РВД) термоизоляционным материалом, как показано на рисунке 1.



Рисунок 1 – Обмотанный рукав высокого давления

Figure 1 – Wrapped high pressure sleeve

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Температура окружающего воздуха регистрировалась ежедневно с 1 декабря 2017 года по 28 февраля 2018 года, из официального сайта ФГБУ «Якутское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды» с помощью мобильного телефона с выходом в сеть Интернет² [11].

² Федеральное государственное бюджетное учреждение «Якутское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды» URL: <http://ykuthydromet.ru/>. (дата обращения: 18.02.2020).

Измерения температур поверхности гидроагрегатов автогрейдера ДЗ-98 проводились 16 января 2018 года (температура окружающего воздуха по данным ФГБУ «Якутское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды ОГМС «Якутск» (р-н Гимин) составляло -42°C) на базе акционерного общества «Якутдорстрой» г. Якутска, предприятие занимается благоустройством улиц, строительством и ремонтом дорог, грузоперевозками.

Каждые 15 мин в течение 135 мин фиксировалась температура поверхности гидравлического бака, цилиндра (рисунок 2) и рукава высокого давления с помощью инфракрасного термометра 400-EN-01 (таблица 1), рабочая жидкость в гидравлической системе, всесезонное масло гидравлическое загущенное (ВМГЗ) (таблица 2,3,4).



Рисунок 2 – Измерение температуры цилиндра

Figure 2 – Measuring cylinder temperature

Таблица 1
Характеристика инфракрасного термометра 400-EN-01

Table 1
400-EN-01 infrared thermometer characteristics

Диапазон измерения	$-50^{\circ}\text{C} \sim 600^{\circ}\text{C}$ ($-58^{\circ}\text{F} \sim 1112^{\circ}\text{F}$)
Точность	$0^{\circ}\text{C} \sim 400^{\circ}\text{C}$ ($32^{\circ}\text{F} \sim 752^{\circ}\text{F}$); $0^{\circ}\text{C} \sim 600^{\circ}\text{C}$ ($32^{\circ}\text{F} \sim 1112^{\circ}\text{F}$) $\pm 1.5^{\circ}\text{C}$ ($\pm 2.7^{\circ}\text{F}$) или $\pm 1.5\%$ $-50^{\circ}\text{C} \sim 0^{\circ}\text{C}$ ($-58^{\circ}\text{F} \sim 32^{\circ}\text{F}$) $\pm 3^{\circ}\text{C}$ ($\pm 5^{\circ}\text{F}$) В зависимости от того, что больше
Разрешение	0.1°C или 0.1°F
Повторяемость	1% от чтения или 1°C
Время отклика	500 мс, 95% ответ
Спектральный ответ	8-14 мкм
Коэффициент излучения	0.95 предустановки
Расстояние до размера пятна	12:1
Рабочая температура	$0 \sim 40^{\circ}\text{C}$ ($32 \sim 104^{\circ}\text{F}$)
Рабочая влажность	10-90% RH без конденсации вплоть до 30°C (86°F)
Температура хранения	$20 \sim 60^{\circ}\text{C}$ ($-4 \sim 140^{\circ}\text{F}$)
Питание	1.5V AAA*2 аккумулятор

РЕЗУЛЬТАТЫ

Таблица 2
Температура окружающего воздуха

Table 2
Ambient temperature

Число	Температура, ° С		
	Декабрь	Январь	Февраль
1.	-40	-34	-39
2.	-40	-29	-42
3.	-42	-29	-42
4.	-41	-27	-40
5.	-40	-33	-43
6.	-39	-39	-43
7.	-36	-38	-46
8.	-35	-40	-44
9.	-38	-40	-33
10.	-35	-43	-34
11.	-37	-38	-36
12.	-41	-41	-28
13.	-43	-49	-33
14.	-37	-41	-36
15.	-34	-43	-27
16.	-37	-42	-29
17.	-38	-37	-30
18.	-41	-42	-34
19.	-41	-44	-35
20.	-43	-40	-41
21.	-44	-45	-40
22.	-44	-36	-43
23.	-43	-41	-40
24.	-43	-41	-31
25.	-44	-42	-33
26.	-47	-39	-35
27.	-46	-34	-36
28.	-43	-44	-34
29.	-37	-43	
30.	-33	-39	
31.	-32	-43	
Среднее	-39,8	-39,2	-36,7
Минимум	-47	-49	-46
Максимум	-32	-27	-27

Таблица 3
Температура поверхности гидроагрегатов автогрейдера ДЗ-98

Table 3
The surface temperature of the hydraulic units of DZ-98 grader

Время, в часах	0,25	0,5	0,75	1	1,25	1,5	1,75	2	2,25
Гидравлический бак, ° С	-3,8	-8,3	-2,8	1,6	-3	-8,1	-7,1	0,4	-8,3
Гидроцилиндр, ° С	-14	-21	-22,3	-22	-29,2	-33,8	-31,3	-30	-40
РВД, ° С	-27,4	-25,8	-23	-19,7	-25,3	-31,6	-28,7	-27,9	-41,2

Расчет температуры гидроагрегатов в режиме холостого хода.
Для расчетов гидроагрегатов использованы данные таблицы 4.

Таблица 4
Исходные данные

Table 4
The source data

Гидроагрегат	Гидравлический бак	Гидравлический цилиндр	РВД
Площадь	1,53	0,47	0,11
Объем рабочей жидкости	0,089	0,0135	0,000396

Гидроагрегат обладает первоначальной теплотой, которая на выводе техники из теплового помещения наружу отдается окружающему воздуху. Согласно закону Ньютона (1643–1717) и Рихмана (1711– 1753) тепловой поток в процессе теплоотдачи пропорционален площади поверхности теплообмена F и разности температур поверхности t_c и жидкости $t_{ж}$.

Уравнение теплоотдачи имеет вид

$$Q_1 dT = Q_F dt, \quad (1)$$

где Q_1 – начальная теплота гидроагрегата; Q_F – теплота, отдаваемая через наружную поверхность; dT , dt – приращение температуры K и времени t .

Согласно закону охлаждения Ньютона, текущую температуру гидроагрегатов рассчитываем по формуле

$$T = \frac{T_0}{e^{\beta t}} + T_B \left(1 - \frac{1}{e^{\beta t}}\right) - 273, \quad (2)$$

где T_0 – начальная температура 278 К; T_B – температура окружающего воздуха К; t – время, ч; β – коэффициент теплопроводности, равный

$$\beta = \frac{kF_r}{c_m m_m + c_r m_r}, \quad (3)$$

где k – коэффициент теплоотдачи $\frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \cdot \text{час} \cdot \text{град}}$; F_r – площадь гидроагрегата, м^2 ; c_m – теплоемкость рабочей жидкости, $\frac{\text{ккал}}{\text{кг} \cdot \text{град}}$; m_m – масса рабочей жидкости, кг; c_r – теплоемкость материала гидроагрегата, $\frac{\text{ккал}}{\text{кг} \cdot \text{град}}$; m_r – масса гидроагрегата, кг^3 [12]. Результаты измерений и расчетов температуры гидроагрегатов сведены в таблицу 5. На основе расчетов построены графики сравнения экспериментальных и расчетных данных для гидравлического бака (рисунок 3), для гидравлического цилиндра (рисунок 4) и РВД (рисунок 5).

³ Луканин В.Н., Шатров М.Г., Камфер Г.М. Теплотехника: учебник для вузов. 2005. 671 с.

Таблица 5
Результаты измерений и расчетов температуры гидроагрегатов

Table 5
Measurements results and temperature calculations of the hydraulic units

Время, ч	0,25 ч		0,5 ч	
	Измеренная	Расчетная	Измеренная	Расчетная
Температура гидравлического бака, ° C	-3,8	-3,9	-8,3	-8,4
Температура гидроцилиндра, ° C	-14	-14,1	-21	-21,1
Температура РВД, ° C	-27,4	-27,6	-25,8	-26,3

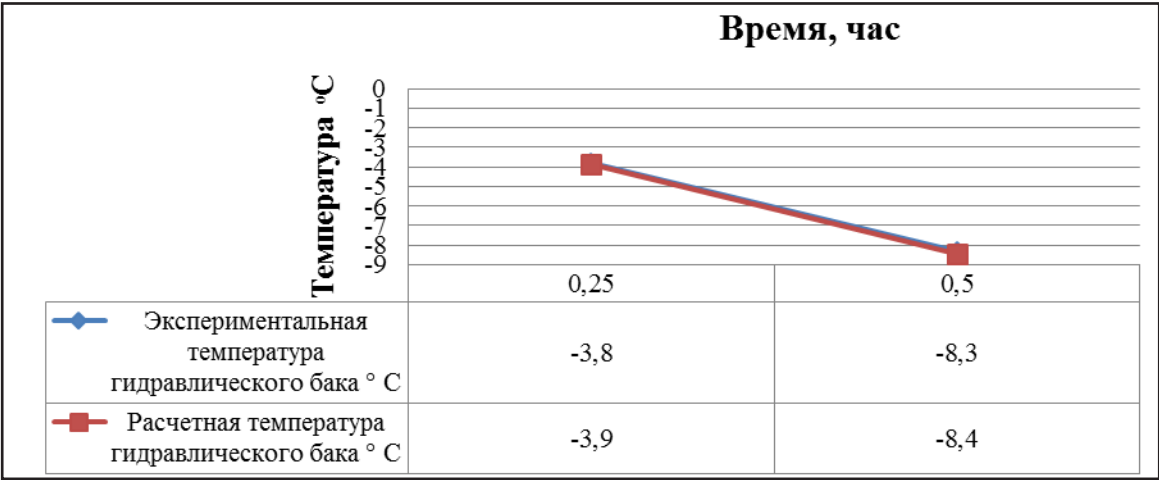


Рисунок 3 – Сравнение экспериментальных и расчетных данных гидравлического бака

Figure 3 – Comparison of experimental and calculated data of a hydraulic tank

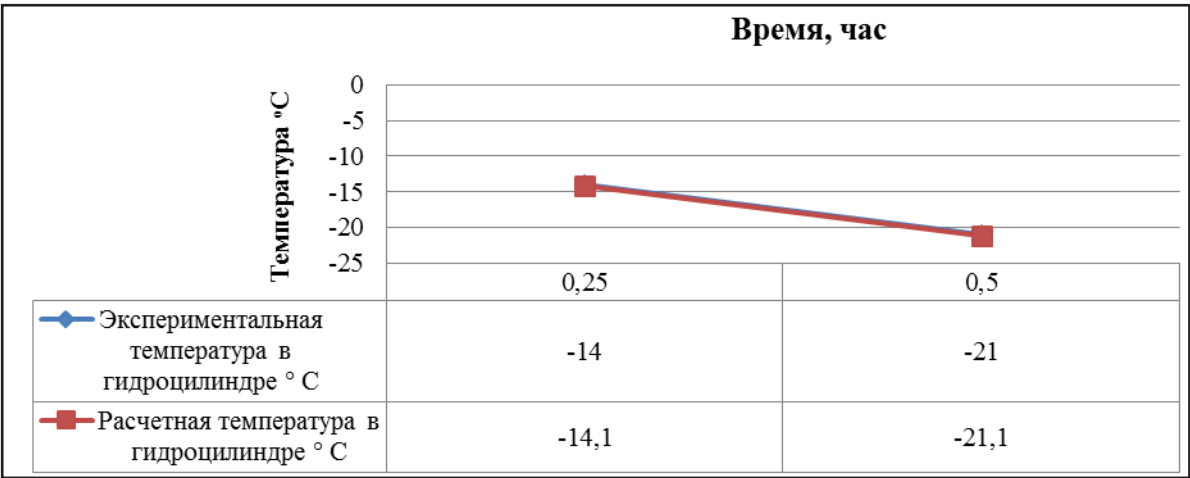


Рисунок 4 – Сравнение экспериментальных и расчетных данных гидравлического цилиндра

Figure 4 – Comparison of experimental and calculated data of a hydraulic cylinder

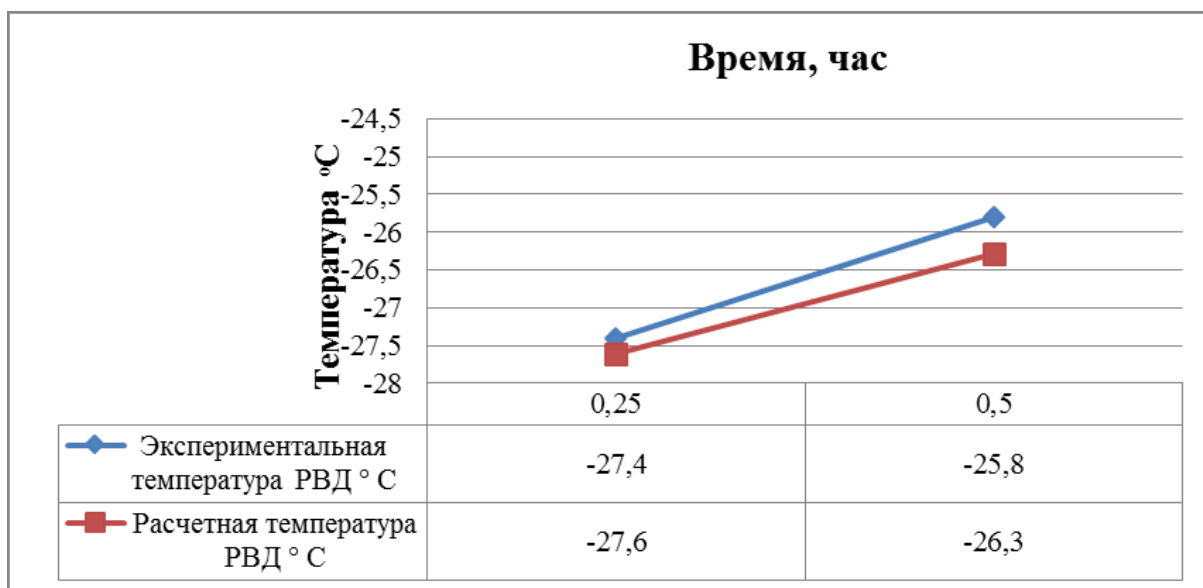


Рисунок 5 – Сравнение экспериментальных и расчетных данных РВД

Figure 5 – Comparison of RVD experimental and calculated data

ОБСУЖДЕНИЕ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Из таблицы 2 видно, что температура окружающего воздуха составляла -40°C и ниже в 18 случаях за декабрь 2017 года, 17 за январь и 11 за февраль 2018 года. Это составляет 51,1% от общего количества дней и равен 46, то есть данные дни можно считать активированными.

Все причины снижения эффективности использования строительных, дорожных машин на предприятиях Якутии по климатическим условиям можно разделить на три группы:

1. Климатического характера, вызывающие непосредственные простои – активированные остановки машин в период воздействия критических отрицательных температур.

2. Технического характера, связанные с простоем в аварийных ремонтах, вызванных отказами в гидравлической системе, недостаточным уровнем хладостойкости стале, а также повышенными нагрузками в узлах в результате смерзаемости грунта.

3. Организационного характера, проявляющиеся в нарушении ритмичности работы под влиянием неблагоприятного воздействия климатических факторов на обслуживающий персонал.

Причины климатического характера вызывают простои техники в периоды низких отрицательных температур, оговариваемых инструкциями заводов-изготовителей, разработанными применительно к конкретным условиям, активирующих вынужденные простои машин. Предельные значения отрицательных температур по инструкциям заводов-изготовителей составляют для строительной, дорожной и транспортной техники $-30-40^{\circ}\text{C}$. Эти ограничения связаны с низким уровнем хладостойкости стале и недостаточной надежностью гидрооборудования. Гарантированный запас по уровню предельных значений отрицательных температур для узлов электрооборудования установлен при $-35-40^{\circ}\text{C}$, для резинотехнических изделий -35°C , для канатов -15°C [13].

Активированные простои машин по причине критических отрицательных температур не всегда выдерживаются на большинстве предприятий [14, 15, 16, 17]. Вместе с тем на ряде предприятий вовсе отсутствуют какие-либо ограничения режима работы машин по уровню отрицательных температур [18,19]. Таким образом, критерии, закладываемые в ограничения по активированным простоям техники, часто носят субъективный характер и увязываются в первую очередь с непосредственными потребностями производства, своевременным выполнением плановых заданий [20, 21, 22].

Анализируя таблицы 3 и 4, можно сделать следующие выводы – температура гидроагрегатов зависит от объема рабочей жидкости и расположения агрегата в машине.

Исходя из данных таблицы 5, делаем вывод, что температуру агрегатов в режиме холостого хода можно моделировать с достаточной высокой точностью.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Карнаухов Н.Н. Повышение эффективности работы строительных машин в условиях Севера и Сибири // Автореферат. 1994. С. 3–49.
2. Клиндух Н.Ю. Совершенствование систем гидропривода строительных кранов для эксплуатации при низких температурах // Автореферат. 2007. С. 3–18.
3. Хритин И.В. Экспериментальные исследования влияния сезонных изменений температуры на усилия в конструкциях ограждения котлованов // Вестник гражданских инженеров. 2017. С. 154–152.
4. Васильченко В.А. Особенности эксплуатации горных машин с гидроприводом при низких температурах // Журнал «Горная Промышленность». 2006. С. 4–9.
5. Закирзаков Г.Г., Мерданов Ш.М., Конев В.В., Матвеева А.Д., Дубров С.С. Совершенствование гидропривода строительно-дорожных машин для северных условий эксплуатации // Фундаментальные исследования. 2016. С. 491–495.
6. Jianjun Wang, Jingyi Zhao. Research on Cooperative Control of the Hydraulic System of Multiple Intelligent Vehicles Combined Transportation // Journal of Advanced Transportation. 2020. pp. 2–13.
7. Scott Moura. Mathematical Modeling of Dynamic Systems // Energy Systems and Control. 2018. С 1-28
8. Эртман С.А. Приспособленность автомобилей к зимним условиям эксплуатации по температурному режиму двигателей: монография. Тюмень: ТюмГНГУ, 2014. 128 с.
9. Hao Wu. Mathematical Modeling of Transient Transport Phenomena in PEM Fuel Cells. 2009. pp. 1–170.
10. Ереско А.С., Ереско С.П., Цэрмаа У., Лханаг Д. Особенности эксплуатации гидроприводных систем строительных машин при низких температурах // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2010. С. 199–204.
11. Воскресенский Г.Г. Введение в динамику гидропривода рабочего оборудования мобильных машин: монография. 2015. 179 с.
12. Zengshou Dong, Xujing Zhang. Fault diagnosis for hydraulic system on a modified multi-sensor information fusion method // Int. J. Modelling, Identification and Control. 2013. Pp. 34 – 35.
13. Вавилов А.В., Яцкевич В.В., Максименко А.Н. Особенности диагностирования механических и гидромеханических трансмиссий транспортных и строительно-дорожных машин // Наука и техника. 2012. С. 27–35.
14. Рылякин Е.Г., Власов П.А. Теоретическое обоснование терморегулирования рабочей жидкости в гидросистеме // Нива Поволжья. 2008. № 1 (6). С 25–29.
15. Рылякин Е.Г. Система регулирования температуры рабочей жидкости в гидроприводе транспортно-технологических машин // Мир транспорта и технологических машин. 2014. № 3 (46). С. 89–96.
16. Рылякин Е.Г., Кузнецов А.Ю. Разработка системы терморегулирования рабочей жидкости гидропривода // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. 2015. С 163–167.
17. Рылякин Е.Г., Волошин А.И. Улучшение работоспособности гидросистемы // Сельский механизатор. 2015. С.38–40.
18. Hedvall K., Dubois A., Lind. Analysing an activity in context: a case study of the conditions for vehicle maintenance // Industrial Marketing Management. 2016. С 69–82.
19. Рылякин Е.Г., Волошин А.И. Повышение эффективности работы гидропривода мобильных машин // Электронный журнал «Инженерный вестник Дона». 2015.
20. Верещагин В.И., Янович В.С., Ковальский Б.И., Безбородов Ю.Н., Ганжа В.А. Методы контроля и результаты исследования состояния трансмиссионных и моторных масел при их окислении и триботехнических испытаниях: монография. Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2017. 208 с.
21. Белоглазов А.К., Носков В.О., Чулков А.В. Влияние температуры окружающей среды на работу системы охлаждения тепловоза и его агрегатов // Известия Транссиба. 2015. С 11–17.
22. Жданов А.В. Математическая модель распределителя позиционного гидропривода строительно-дорожных машин // Омский научный вестник. 2016. № 4 (148). С. 41–44.

REFERENCES

1. Karnauhov N.N. Povyshenie jeffektivnosti raboty stroitel'nyh mashin v usloviyah Severa i Sibiri [Improving the efficiency of construction vehicles in the North and Siberia]. *Avtoreferat*. 1994: 3-49. (in Russian)
2. Klinduh N.Ju. Sovershenstvovanie sistem gidroprivoda stroitel'nyh kranov dlja jekspluatsii pri nizkih temperaturah [Improving the hydraulic systems of building cranes for operation at low temperatures]. *Avtoreferat*. 2007: 3-18. (in Russian)
3. Hritin I.V. Jeksperimental'nye issledovaniya vlijaniya sezonnyh izmenenij temperatury na usilija v konstrukcijah ograzhdenija kotlovanov [Experimental studies of the effect of seasonal temperature changes on the effort in pit fence structures]. *Vestnik grazhdanskij inzhenerov*. 2017: 154-152. (in Russian)
4. Vasil'chenko V.A. Osobennosti jekspluatsii gornyh mashin s gidroprivodom pri nizkih temperaturah [Introduction to the dynamics of hydraulic drive of the working equipment of mobile machines]. *Zhurnal «Gornaja Promyshlennost'»*. 2006: 4-9. (in Russian)
5. Zakirzakov G.G., Merdanov Sh.M., Konev V.V., Matveeva A.D., Dubrov S.S. Sovershenstvovanie gidroprivoda stroitel'no-dorozhnyh mashin dlja severnyh uslovij jekspluatsii [Improvement of hydraulic drive of construction and road machines for northern operating conditions]. *Fundamental'nye issledovaniya*. 2016: 491-495. (in Russian)
6. Jianjun Wang, Jingyi Zhao. Research on Cooperative Control of the Hydraulic System of Multiple Intelligent Vehicles Combined Transportation. *Journal of Advanced Transportation*. 2020: 2-13.
7. Scott Moura. Mathematical Modeling of Dynamic Systems. *Energy Systems and Control*. 2018: 1-28.
8. Jertman S.A. *Prisposoblennost' avtomobilej k zimnim uslovijam jekspluatsii po temperaturumomu rezhimu dvigatelej* [Adaptation of cars to winter operating conditions by engine temperature conditions]. Monografija. Tjumen': TjumGNGU, 2014: 128. (in Russian)
9. Hao Wu. Mathematical Modeling of Transient Transport Phenomena in PEM Fuel Cells. 2009: 1-170.
10. Eresko A.S., Eresko S.P., Cjermua U., Lhanag D. Osobennosti jekspluatsii gidroprivodnyh sistem stroitel'nyh mashin pri nizkih temperaturah [Peculiarities of operation of hydraulic drive systems of construction machines at low temperatures]. *Sovremennye tehnologii. Sistemnyj analiz. Modelirovanie*. 2010: 199-204. (in Russian)
11. Voskresenskij G.G. *Vvedenie v dinamiku gidroprivoda rabocheho oborudovaniya mobil'nyh mashin*. Monografija [Introduction to the dynamics of hydraulic drive of mobile machines working equipment]. 2015: 179. (in Russian)
12. Zengshou Dong, Xujing Zhang. Fault diagnosis for hydraulic system on a modified multi-sensor information fusion method. *Int. J. Modelling, Identification and Control*. 2013: 34-35.
13. Vavilov A.V., Jackevich V.V., Maksimenko A.N. Osobennosti diagnostirovaniya mehanicheskij i gidromechanicheskijh transmisij transportnyh i stroitel'no-dorozhnyh mashin [Features of mechanical and hydromechanical transmissions of transport and construction-road machines diagnostics]. *Nauka i tehnika*. 2012: 27-35. (in Russian)
14. Ryljak E.G., Vlasov P.A. Teoreticheskoe obosnovanie termoregulirovaniya rabochej zhidkosti v gidrosistem [Theoretical justification of thermal control of operating fluid in hydraulic systems]. *Niva Povolzh'ja*. 2008; 1 (6): 25-29. (in Russian)
15. Ryljak E.G. Sistema regulirovaniya temperatury rabochej zhidkosti v gidroprivode transportno-tehnologicheskijh mashin [Operating Fluid Temperature Control System in Hydraulic Drive of Transport and Process Machines]. *Mir transporta i tehnologicheskijh mashin*. 2014; 3 (46): 89-96. (in Russian)
16. Ryljak E.G., Kuznecov A.Ju. Razrabotka sistemy termoregulirovaniya rabochej zhidkosti gidroprivoda [Thermal regulation of hydraulic drive working fluid system development]. *Modeli, sistemy, seti v jekonomike, tehnike, prirode i obshhestve*. 2015: 163-167. (in Russian)
17. Ryljak E.G., Voloshin A.I. Uluchshenie rabotosposobnosti gidrosistemy [Improving Hydraulic System Efficiency]. *Sel'skij mehanizator*. 2015: 38-40. (in Russian)
18. Hedvall K., Dubois A., Lind. Analysing an activity in context: a case study of the conditions for vehicle maintenance. *Industrial Marketing Management*. 2016: 69-82.
19. Ryljak E.G., Voloshin A.I. Povyshenie jeffektivnosti raboty gidroprivoda mobil'nyh mashin [Improving the Efficiency of Mobile Machine Hydraulic Drive]. *Jelektronnyj zhurnal «Inzhenernyj vestnik Dona»*. 2015. (in Russian)
20. Vereshhagin V.I., Janovich V.S., Koval'skij B.I., Bezborodov Ju.N., Ganzha V.A. *Metody kontrolja i rezul'taty issledovaniya sostojaniya transmissionnyh i motornyh masel pri ih okislenii i tribotekhnicheskijh ispytaniya*. Monografija [Control techniques and results of oxidation and tribotechnical tests of vector and motor oils: monograph. Monograph]. Krasnojarsk: Sib. feder. un-t, 2017: 208. (in Russian)
21. Beloglazov A.K., Noskov V.O., Chulkov A.V. Vlijanie temperatury okruzhajushhej sredy na rabotu sistemy ohlazhdenija teplovoza i ego agregatov [The influence of ambient temperature on the operation of the cooling system of the locomotive and its units]. *Izvestija Transsiba*. 2015: 11-17. (in Russian)
22. Zhdanov A.V. Matematicheskaja model' raspredelitelja pozicionnogo gidroprivoda stroitel'no-dorozhnyh mashin [Mathematical model of the positioning hydraulic drive distributor of construction and road machines]. *Omskij nauchnyj vestnik*. 2016; 4 (148): 41-44. (in Russian)

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Охлопков Тихон Николаевич – старший преподаватель, ФГАОУ ВО СВФУ имени М.К. Аммосова, ORCID 0000-0002-1952-2429 (677007, г. Якутск, ул. Красильникова, 13, e-mail: tixontanya@mail.ru).

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Tikhon N. Okhlopkov – Senior Lecturer, Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education M.K. Ammosov Northeastern Federal University, ORCID 0000-0002-1952-2429 (677007, Yakutsk, Krasilnikova Street, 13, e-mail: tixontanya@mail.ru).