

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Пензенский государственный университет архитектуры и строительства»
КАФЕДРА «Эксплуатация автомобильного транспорта»

Утверждаю:

Зав. кафедрой

_____ Ю.В. Родионов
(подпись, инициалы, фамилия)

_____ число _____ месяц _____ год

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

на тему:

«Оптимизация сезонного обслуживания гидравлических систем транспортно-технологических машин»

Автор ВКР

_____ *Чепуркин О.П.* _____
подпись *инициалы, фамилия*

Направление подготовки 23.04.03 – Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов
(наименование)

_____ Группа ЭТМК-21М

Руководитель ВКР

_____ *Е.Г. Рылякин* _____
подпись *дата* *инициалы, фамилия*

Пенза, 2017 г.

Содержание

1. Введение	2
2. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ	
1.1. Анализ факторов влияющих на надежность гидросистем при смене сезонных климатических условий.....	7
3. 1.2. Влияние температуры рабочей жидкости на изменение работоспособности гидросистемы.....	21
4. 1.3. Способы улучшения работоспособности гидравлических систем транспортно-технических машин.....	32
5. 1.4. Выводы и задачи исследования.....	41
6. 2. ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ	
2.1 Программа экспериментальных исследований.....	43
7. 2.2 Объект и лабораторное оборудование первого этапа исследований.....	45
8. 2.3 Методика проведения лабораторных испытаний.....	46
9. 2.3.1 Методика исследования влияния вязкостно-температурных свойств масел на энергозатраты на трение.....	47
10.2.3.2 Методика определения рациональных температурных режимов работы узла трения на масле, содержащем абразивные примеси.....	48
11. 2.4 Методика определения износа образцов.....	50
12. 2.5 Конструкция и принцип работы системы терморегулирования...51	
13. 3 ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	53
14. Заключение	63

ВВЕДЕНИЕ

Современные транспортно-технологические машины развиты по конструкции и располагают необходимыми эксплуатационными качествами. Важной характеристикой качества машин и их составных частей является надежность, отражающая служебные свойства данных объектов, которые закладываются в процессе проектирования и производства машин, реализуются при эксплуатации и возобновляются при помощи ремонта [6,7].

Одним из важных условий повышения эксплуатационных и технико-экономических характеристик грузовой техники является применение гидросистем. Область применения гидросистем постоянно расширяется. В настоящее время они используются практически во всех моделях тракторов и грузовых машин, а также на многих других транспортных машинах.

Широкое распространение гидравлических систем объясняется целым рядом их преимуществ по сравнению с другими типами приводов: небольшая масса, малые размеры, бесступенчатое регулирование скорости рабочих органов, независимое расположение элементов гидросистемы, надежное предохранение от нагрузок, удобство обслуживания и управления, легкость автоматизации процессов и др. [8,9]

Основное назначение гидросистемы – приведение в движение механизмов и машин посредством рабочей жидкости под давлением, или преобразование энергии потока рабочей жидкости и передачи ее на расстояние с преобразованием в энергию движителя выходного звена [10,11].

Долговечность гидросистем транспортно-технологической техники определяется сроком службы ее сборочных единиц. В условиях эксплуатации ресурс гидросистемы в значительной степени характеризуется техническим состоянием наиболее сложных и ответственных агрегатов – гидронасоса, гидрораспределителя, силовых цилиндров [3,12,13].

Возможные неисправности в системах гидропередач разделяют на неисправности, которые определяются как недопустимые количественные изменения какого-либо параметра агрегата, и другие, которые определяются изменением структурных связей в системе [14,15].

Несмотря на постоянное совершенствование агрегатов гидросистем современных тракторов, их надежность в настоящее время остается недостаточно высокой. Например, ресурс гидрораспределителей в эксплуатационных условиях в ряде случаев не достигает 2200 моточасов, против нормативного - 6200-8200 моточасов [9]; согласно исследованиям Н.И. Ключковского [69] ресурс шестеренных гидронасосов составляет 44...51% от установленного.

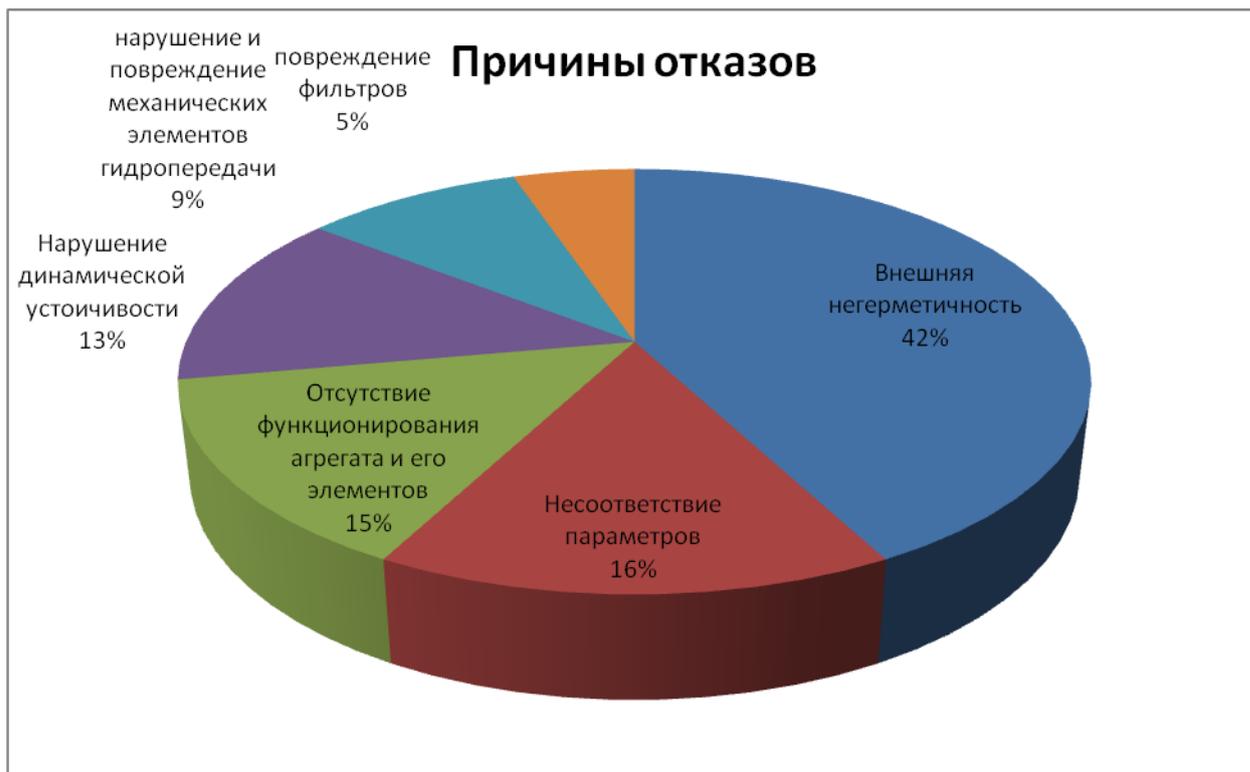
Потеря работоспособности гидропередач может происходить по причине выхода любого параметра за пределы допустимой величины или вследствие нарушения функционирования гидропередач или их агрегатов (изгиб штока гидроцилиндра, разрыв манжеты, заклинивание перепускного клапана распределителя). Функциональные отказы гидросистемы составляют 61% от общего числа отказов, параметрические – 41%.

Сравнительный анализ показал, что 41% отказов обусловлено внешней негерметичностью, 15% – несоответствием параметров, нормированным технической документацией уровням, 14% – отсутствием функционирования агрегата или его элементов, 13% – нарушением динамической устойчивости, 9% – нарушением и повреждением механических элементов гидропередачи, 5% – повреждением фильтров [3,4,9,16,17].

Согласно данным А.А. Комарова [18] распределение неисправностей наиболее часто встречающихся среди элементов гидравлической системы выглядит следующим образом: насосы 12...21%; гидрораспределители 14...29%; силовые цилиндры 8...10%.

Эти данные практически подтверждаются Т.А. Сырицыным [19, 20]. Отказы элементов привода: насосов 16%, распределительных устройств 21%, силовых элементов

11%.



Таким образом, можно заметить, что одними из основных и наиболее ответственных агрегатов, снижающих показатели надежности гидросистем, являются шестеренные насосы. Основными причинами отказа этих гидромашин являются износ торцовых поверхностей сопряжения опорных втулок с шестернями, шестерен и шеек вала, износ и потеря эластичности резиновых уплотнений, износ и повреждения манжетного уплотнения. В некоторых случаях наблюдается разрыв корпуса [4,21].

Эксплуатация гидросистем транспортно-технических машин неизбежно происходит в условиях повышенной запыленности окружающего воздуха. Твердые частицы загрязнений, попадая в зазоры прецизионных соединений, вызывают изнашивание сопрягаемых деталей, а также из-за появления повышенных сил трения заклинивают детали распределительной и регулирующей аппаратуры.

Надежная работа гидросистем транспортно-технических машин во многом зависит от качества рабочей жидкости. К параметрам гидросистемы,

существенно влияющим на изменение физико-химических свойств рабочей жидкости, относят: степень аэрации и вентиляции бака, температурный и силовой режим работы гидросистемы.

С аэрацией и вентиляцией бака связаны: увеличение притока и диффузия воздуха в рабочую жидкость. Это усиливает его растворимость в рабочей жидкости и, следовательно, ускоряет окисление жидкости, и засорение ее частицами пыли, находящимися в воздухе.

Исследованиями В.Е. Черкуна [10] установлено, что при выполнении сельскохозяйственных работ на тракторах с навесными, полунавесными и прицепными гидрофицированными машинами через сапун в бак гидросистемы трактора поступает до 0,3-0,35 м³/ч воздуха, в 1 м³ которого содержится от 0,16 до 160 г пыли (в зависимости от условий работы).

Загрязнение рабочей жидкости абразивом многие исследователи считают наиболее вредным явлением процесса эксплуатации гидросистем транспортно-технических машин. Г.М. Сорокин [24] отмечает, что «по распространенности и отрицательному воздействию на эффективность и ресурс работы машины изнашивание абразивом – одна из основных причин, сдерживающих технический прогресс».

Известно, что абразивное изнашивание – это механическое изнашивание материала в результате режущего или царапающего действия твердых тел или твердых частиц [2,25]. У.А. Икрамов [26] указывает, что в условиях абразивного изнашивания сроки службы машин сокращаются от 2 до 10 раз.

Согласно данным НАТИ [2] абразивное изнашивание подшипников колесных тракторов класса 1,4 т составляет: шариковых – 52,6%, роликов – 71%; гусеничных тракторов класса 3 т – соответственно 62,9 и 47,5%. Износ подшипников носит абразивный характер и обусловлен низкой герметичностью агрегатов трактора. За период до смены масла в трансмиссию нового трактора попадает в среднем 0,25% абразивных частиц от массы всего тела (допустимый – 0,1%).

Подобные показатели применимы и к гидросистемам транспортно-технических. Так, например, камаз 5320, имеющий наработку в 600 моточасов, имеет в гидробаке 5,526 г пылевидной массы [2]. В реальных условиях эксплуатации фактическое содержание загрязнений может быть и больше.

Установлено [10], что средняя концентрация загрязнения составляет 0,071% (по массе). Концентрацию загрязнения рабочей жидкости от 0,06 до 0,08% имеет 31% гидросистем, от 0,05 до 0,09 – 57,6% и от 0,04 до 0,1 – 78%.

Анализ частиц загрязнителя на дисперсный состав показал, что в основном (около 95%) они имеют размер до 10 мкм, 10-25 мкм (3-5%), 25-50 мкм (около 2%) [9,10,28].

Приведенные результаты исследований дают основание утверждать, что в результате изнашивания детали гидроагрегатов изменяют свои первоначальные размеры и геометрическую форму, а также нарушается их регулировки и т.п. Износы сопрягаемых поверхностей могут нарушать взаимное расположение деталей (размерную цепь), а также посадки в соединениях, что приводит к изменению режимов работы гидроагрегатов, дополнительным потерям и снижению их коэффициентов подачи.

Наибольшее загрязнение происходит в период эксплуатации. Причем уровень загрязнения для различных типов и конструкций гидросистем неодинаковый. Данные о среднегодовой загрязненности рабочих жидкостей приведены в таблице 1.1 [3,23,29].

Неодинаковый уровень загрязнения можно объяснить различными условиями эксплуатации, различным техническим состоянием агрегатов, различной чувствительностью к загрязнению гидросистемы, вызванной ее конструктивными особенностями, условиями технического обслуживания, хранения техники, ее ремонта [3,6,10].

Таким образом, основным видом изнашивания деталей гидроагрегатов является абразивное изнашивание. Этому изнашиванию подвергаются корпуса, втулки и цапфы шестеренных насосов, прецизионные детали распределители

тельных устройств, уплотнения, штоки гидроцилиндров и др. Оно вызвано

Таблица 1.1 – Уровень загрязненности рабочих жидкостей

Гидросистема	Марка машины	Суммарная концентрация загрязнений, %	Дисперсный состав, %		
			до 10 мкм	до 25 мкм	до 40 мкм
Раздельно-агрегатная	T-74 MTЗ-50	0,15...0,08	72...80	15...20	3...5
Рулевого управления	T-150	0,15...0,143	90	6	4
Трансмиссии	T-150	0,03...0,14	90	6	4
Раздельно-агрегатная, совместно с гидросистемой разбрасывателя минеральных удобрений	MTЗ-50 + 1PMГ-5	0,2...0,18	70	25	5

посторонними примесями, содержащимися в рабочей жидкости, агрегатах и т.д. Примеси различаются своими физико-химическими свойствами. Их главные физические характеристики – твердость и размер частиц, которые состоят в основном из кварца, полевого шпата и окислов металлов.

1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

1.1. Анализ факторов влияющих на надежность гидросистем при смене сезонных климатических условий

На работоспособность гидросистемы воздействует множество случайных факторов, которые предусмотреть заранее невозможно.

Несмотря на это, возникающие в процессе эксплуатации воздействия на элементы гидросистемы можно разделить на три вида: быстро протекающие процессы, средней скорости и медленно протекающие [4,18,19].

Быстро протекающие процессы характеризуются большими скоростями и периодичностью изменения параметров, определяемыми долями секунд. К таким процессам относятся вибрации элементов, резонансное возбуждение, пульсации давления в рабочих полостях и трактах и др. Эти процессы влияют на взаимное расположение элементов, нарушают их взаимосвязь и искажают рабочий процесс привода. Как правило, они приводят к внезапным отказам.

Например, в гидромоторе МНШ-46 наиболее частым случайным отказом является потеря работоспособности уплотнительной манжеты, как правило, вследствие возникновения пиковых давлений в подманжетной полости, которое по различным причинам может колебаться от 0,2 МПа до 11 МПа. Значения разрушающих манжетное уплотнение давлений из-за неоднородности их прочностных свойств колеблется в пределах 3...10 МПа [6].

Процессы средней скорости протекают за время рабочего цикла машины, их длительность измеряется минутами и часами. К таким процессам относятся изменения температуры рабочей среды и рабочего тела, влажности, физических свойств рабочей жидкости и др. Эти процессы приводят к постепенным отказам.

Медленно протекающие процессы действуют в течение всего периода эксплуатации машины. К ним относятся изнашивание трущихся деталей, есте-

ственное старение и усталость материалов, сезонное изменение температуры и влажности. Они являются, как правило, причинами постепенных отказов.

По физической природе все факторы, оказывающие влияние на надежность привода в процессе эксплуатации, можно разделить на три группы: климатические, гидравлические и механические [4,16,18,19,20].

К механическим факторам относятся удары, нагрузки и вибрация, возникающие в гидросистеме вследствие взаимодействия с окружающей средой.

Удар характеризуется преобразованием кинетической энергии внешних сил в потенциальную энергию деформации элементов конструкции и обратное преобразование упругой деформации элементов конструкции в кинетическую энергию. В результате этого в хрупких материалах появляются трещины и изломы. Возможный диапазон перегрузок, вызываемых ударами, чрезвычайно велик – от нуля для стационарных систем до $2 \cdot 10^3 g$ для строительного-дорожных машин [30,71].

Нагрузки, возникающие в результате силового взаимодействия привода с окружающей средой, разделяют на позиционные и инерционные.

Для того чтобы в мороз не возникали проблемы с запуском мотора, желательно зарядить АКБ, а при необходимости - установить новую. В некоторых отечественных авто (например, в ВАЗах) следует переустановить забор воздуха в двигатель в положение «холод» (cold). Если летом вы доливали в антифриз воду, желательно заменить тосол или добавить концентрат, доведя раствор до нужной плотности. Прогрев мотора до рабочей температуры в сильные морозы облегчит установка чехла на декоративную решетку радиатора. Чтобы мелкие очаги коррозии до весны не превратились в сквозные дыры, их нужно просушить феном и «законсервировать» антикором. Радиатор кондиционера защитит от агрессивного воздействия солевых растворов любой чехол, перегородка и т. п. Летние масла в трансмиссии желательно заменить зимними или всесезонными.

Чтобы исключить проблемы с запуском двигателя в холодную погоду, следует:

- заменить свечи или очистить их от нагара и отрегулировать межэлектродный зазор;
- промыть форсунки (или карбюратор);
- проверить и отрегулировать угол опережения зажигания и зазор между контактами прерывателя-распределителя;
- если в двигателе используется минеральное масло 15W-40, 20W-40 и т. д., которое обладает повышенной вязкостью при минусовых температурах, желательно залить менее вязкие 10W-40, 5W-40, 5W-30 и т. д., рекомендованные автопроизводителями;
- для снижения влияния перепада температур на АКБ ее следует утеплить.

Подготовка подвижного состава к зиме.

Для обеспечения высокого уровня технического состояния автомобилей, эффективности их эксплуатации в зимнее время, необходимо заблаговременно, до наступления холодов, выполнить ряд мероприятий по подготовке водителей, ремонтно-обслуживающего персонала, а также подвижного состава к зиме.

К основным организационным мероприятиям по подготовке к зиме подвижного

состава относят:

- составление плана работы;
- инструктаж водителей и ремонтно-обслуживающих рабочих по эксплуатации автомобилей зимой;
- проведение сезонного обслуживания автомобилей;
- оборудование автомобилей дополнительными средствами утепления и обогрева;

- укомплектование их дорожным инструментом и буксирными устройствами, а также средствами повышения проходимости.

Комплекс работ совмещенных с ТО обычно проводят в сентябре - октябре.

Подготовка системы смазки двигателя заключается в промывке системы и замены моторного масла на зимние сорта.

Подготовительные работы системы питания карбюраторных двигателей включает:

- промывку топливных баков и удаление из системы летних сортов бензина;

- разборку, очистку и проверку топливного насоса;

- проверку герметичности системы.

При подготовке электрооборудования проверяют состояние и исправность всей электропроводки, аккумуляторную батарею, исправность приборов.

Эксплуатация автомобилей в холодное время значительно облегчается при использовании в системах охлаждения низкозамерзающих жидкостей (антифризов). Наиболее широкое применение получили жидкости:

Этиленгликоль - разбавляют мягкой чистой водой в разных соотношениях и получают жидкости с температурой замерзания $-71\text{ }^{\circ}\text{C}$;

Тосол А необходимо перед заправкой развести водой в соотношении 1:1.

Подготовка тормозной системы к зимним условиям заключается в проверке исправности тормозной системы и ее герметичности.

Сезонное техническое обслуживание.

Весной и осенью при подготовке к летним и зимним условиям эксплуатации выполняется комплекс работ по очередному сезонному обслуживанию автомобиля. При этом необходимо провести очередное техническое обслу-

живание, проверить техническое состояние автомобильных шин и выполнить следующие дополнительные работы:

подготовить аккумуляторную батарею к сезонным условиям эксплуатации;

если система охлаждения была заправлена водой при подготовке к зиме - заправить антифриз; заменить жидкость в бачке омывателя ветрового стекла; переставить крышку воздушного фильтра в соответствии с сезоном эксплуатации; заменить масло в соответствии с сезоном эксплуатации.

Сезонное техническое обслуживание проводят два раза в год с целью подготовки автомобиля к эксплуатации в холодное или теплое время года, совмещая его с очередным техническим обслуживанием, обычно с ТО-2.

Дополнительно промывают системы охлаждения двигателя, предпускового подогревателя, проверяют состояние и действие сливных кранов систем охлаждения и питания, тормозной системы, производят замену масла в двигателе, трансмиссии, механизме рулевого управления и насосе высокого давления на соответствующие (зимние или летние) масла.

Замена производится с предварительной промывкой картеров керосином (кроме двигателя и топливного насоса высокого

давления). Коробки передач автомобилей марки «МАЗ» промываются только минеральными маслами. Подзаряжают аккумуляторные батареи (в зимнее время года плотность электролита должна быть больше) утепляют их.

Необходимо также проверить работу реле-регулятора и при необходимости его отрегулировать, очистить и продуть внутренние полости генератора и стартера, при необходимости их разобрать, заменить изношенные детали и смазать подшипники, заменить смазочный материал гибкого вала механического привода спидометра и цилиндрических зубчатых колес электрического спидометра, проверить правильность пломбирования спидометра и его привода.

Кроме того, проверяются стеклоочистители, термостат и жалюзи радиатора, работа датчика включения муфты вентилятора системы охлаждения и датчиков аварийных сигнализаторов температуры охлаждающей жидкости и давления масла в смазочной системе, уплотнение дверей и окон.

Необходимо также очистить от продуктов коррозии поверхности кузова, кабины и крыльев, окрасить их; нанести на нижние поверхности крыльев и кузовов автобусов и легковых автомобилей антикоррозионную мастику; отрегулировать карбюраторы и топливные насосы высокого давления для работы зимой; укомплектовать автомобили цепями противоскольжения, шанцевым инструментом, утеплительными чехлами капота и радиатора и буксировочными тросами.

При СО автомобилей, работающих на сжиженном или сжатом газе, вначале следует удалить газ из баллонов, баллоны дегазировать инертным газом, продуть газопроводы сжатым воздухом, проверить давление срабатывания предохранительных клапанов баллонов, действие ограничителя максимальной частоты вращения коленчатого вала, исправность манометров с занесением результатов проверки в журнал контрольных проверок. Затем снять с автомобиля газовый редуктор, смеситель (карбюратор-смеситель), топливный насос, испаритель, магистральный вентиль, разобрать их, промыть, устранить неисправности, собрать их, отрегулировать и проверить на герметичность. Далее снять крышки наполнительных и расходных вентилях (без вывертывания корпусов из газовых баллонов) и проверить состояние деталей, снять электромагнитные запорные клапаны, разобрать их, очистить детали и проверить их исправность, собрать клапаны и проверить их на герметичность. Проверить фильтрующие элементы магистрального газового фильтра, бензинового клапана-фильтра, фильтра газового редуктора. Слить отстой из топливного бака и промыть его. Проверить манометры высокого и низкого давления, опломбировать и поставить клеймо со сроком следующей проверки (выполняет работник ОТК предприятия).

Позиционная нагрузка влияет в основном на статические характеристики. Постоянная противодействия или сопутствующая сила на выходном звене привода приводит к уменьшению или увеличению скорости выходного звена. Позиционная нагрузка на выходном звене деформирует амплитудно-частотную характеристику и увеличивает фазовые сдвиги, что изменяет запасы устойчивости и быстродействие привода.

Инерционная нагрузка влияет на динамические свойства привода. Совместно со сжимаемостью она обуславливает появление резонансных режимов колебательных переходных процессов в гидросистеме.

Вибрация – это механические колебания в агрегатах гидросистемы, не являющиеся неотъемлемым условием выполнения им своих функций, а возникающие вследствие несовершенства конструкции, дефектов и особых условий эксплуатации. Основным источником вибраций всех машин является ротор. Его статическая и динамическая неуравновешенность приводит к возникновению сил и моментов, вызывающих вибрацию, как самого ротора, так и гидромашин в целом [19,71,30].

К гидравлическим факторам относятся: чистота, температура, газонасыщенность (содержание воздуха) и старение рабочей жидкости.

Рабочая жидкость в гидросистеме является носителем энергии, поэтому всякое воздействие, приводящее к изменению ее характеристик, может явиться причиной отказа.

Климатические факторы активно влияют на изменение характеристик рабочей жидкости и элементов гидросистемы в целом. К ним относятся – температура, влажность, солнечная радиация и запыленность окружающей среды.

При понижении температуры воздуха перед заполнением системы можно нагреть масло до 40—50 °С, чтобы придать ему большую текучесть.

Перед заливкой в бак рабочую жидкость обязательно следует профильтровать через сетку (1600 отверстий на 1 см²). Особенно важно это для погрузчиков, у которых нет заводского фильтра в горловине бака. Даже ма-

лозагрязненная рабочая жидкость отрицательно влияет на работу всех основных узлов гидросистемы, особенно насоса.

В бак жидкость должна заливаться при втянутых штоках силовых цилиндров. Уровень рабочей жидкости в баке необходимо систематически проверять, так как эксплуатация неполностью заправленной гидросистемы приводит к поломке гидронасоса.

Правильное регулирование узлов гидросистемы обеспечивает:

а) постоянную скорость перемещения штока поршня для определенной нагрузки;

б) плавность передвижения штоков, а также исключает самопроизвольное перемещение штока под нагрузкой (поднятый на вилах максимальный груз не должен произвольно опускаться более чем на 1 мм в минуту).

Нарушение этих условий указывает на неисправности в гидросистеме, которые могут возникнуть из-за повреждений в трубопроводе, гидрораспределителе, насосе.

Основные причины, вызывающие понижение рабочего давления, связаны с частичным засасыванием насосом воздуха через уплотнения, через неплотности в соединении торцевой крышки и корпуса, насоса и через всасывающий трубопровод.

Причиной неплавного хода штоков может явиться попадание в систему воздуха, распределяющегося в рабочей жидкости в виде пузырьков. При работе гидросистемы эти пузырьки сжимаются, вызывая неравномерное, пульсирующее движение поршня (плунжера).

В гидросистемах погрузчиков воздух обычно накапливается в цилиндре подъема. Для его удаления необходимо отвернуть на 2—3 оборота винт спускного отверстия и выдвинуть несколько раз плунжер до появления масла из-под винта. Винт необходимо завернуть при выдвинутом штоке.

Неравномерная подача масла в гидроцилиндр может быть вызвана следующими причинами:

- а) заклинились или поломались лопатки насоса;
- б) неправильно отрегулирован предохранительный клапан.

Загрязнение масла и выделение из масла большого количества смолистых веществ могут также привести к периодическому или постоянному снижению скорости передвижения поршней. Особенно чувствительны к загрязнению гидросистемы с дроссельными устройствами.

Надежная работа гидросистемы сельскохозяйственной машины во многом зависит от качества рабочей жидкости. В гидросистеме тракторов и других сельскохозяйственных машин в качестве рабочей жидкости применяют гидравлические, моторные и индустриальные масла (таблица 1.2) [3,31,37].

Для правильной эксплуатации гидрофицированных машин необходимо оценить причины изменения свойств рабочих жидкостей и влияние их на работоспособность гидравлических систем в целом.

При работе гидросистемы в рабочую жидкость непрерывно поступают продукты изнашивания сопрягаемых деталей, а также происходит диффузия в нее запыленного воздуха, что отмечалось уже ранее. При загрязнении рабочей жидкости наблюдается интенсивное изнашивание распределительных устройств, насосов, в результате чего снижается объемный КПД. При давлении жидкости с большой скоростью, загрязнения в виде твердых частиц действуют на поверхности деталей подобно абразивной эмульсии. С течением времени увеличиваются зазоры, уменьшаются перекрытия, изменяются коэффициенты расходов дросселей и сопел. При увеличении утечек жидкости из-за изнашивания элементов привода уменьшается жесткость системы и скорость движения исполнительных органов. При загрязнениях резко возрастают усилия, необходимые для перемещения золотников распределителей, что, в свою очередь, может вызвать отказ [8,32,38].

Наличие воздуха в рабочей жидкости способствует возникновению кавитации: во всасывающем трубопроводе в результате разряжения происходит интенсивное выделение паро-воздушных пузырьков в движущейся жидкости,

которые вызывают шумовые эффекты – вибрацию и разъедание поверхности гидроагрегатов и трубопроводной арматуры (кавитация, эрозия) [33,34].

В результате контакта воздуха с рабочей жидкостью в нее попадает также вода, способствующая усиленному окислению рабочей жидкости. Это приводит к образованию продуктов окислительной полимеризации – асфальтенов, которые вызывают «засмоление» сеток фильтроэлементов и выходу из строя фильтра, образование отложений на внутренних поверхностях трубопроводов и каналов гидроагрегатов [35,36].

Таблица 1.2 – Основные показатели качества рабочих жидкостей для гидросистем транспортно-технических машин.

Марка масла	ГОСТ, ТУ	Плотность при 20 ⁰ С, кг/м ³	Вязкость, 10 ⁻⁶ м ² /с		Температура, °С		Температурные пределы, °С	Условия применения
			при 50 ⁰ С	при 0 ⁰ С	застывания	вспышки		
АМГ-10	ГОСТ 6794-75	870	10	42	-70	92	-45...+60	При отрицательных и положительных температурах в ответственных гидросистемах
ВМГЗ (МГ-15)	ТУ 38-101-479-74	860	10	66	-60	135	-40...+35	То же
МГ-20	ТУ 38-1-01-50-70	885	20	300	-40	180	-15...+50	В закрытых помещениях
МГ-30 (МГ-46-Б)	ТУ 38-1-01-50-70	890	30	760	-35	190	-10...+60	При положительных температурах на открытом воздухе
М-10В ₂	ГОСТ 8581-78	890	82	7000	-15	190	-10...+90	При положительных температурах в тракторных гидросистемах
М-8В ₂	ГОСТ 8581-78	886	52	2500	-25	200	-20...+50	При отрицательных температурах в тракторных гидросистемах

ИС-20	ГОСТ20799-88	890	20	300	-15	200	-10...+60	Заменитель масла МГ-20
ИС-30	ГОСТ20799-88	890	28	760	-15	190	-10...+60	Заменитель масла МГ-30
АУ (МГ-22-А)	ГОСТ 1642-75	890	12	190	-45	163	-15...+60	Заменитель масла ВМГЗ

× ×

×

× × ×

x

x

Наличие в масле воздуха и небольшого количества воды (0,1% по массе) может привести к пенообразованию. Пенообразование снижает смазывающие свойства масел, вызывает повышенную изнашиваемость трущихся деталей, коррозирование и образование устойчивых эмульсий. Кроме того, сжатие воздушных пузырьков сопровождается выделением тепла, которое значительно превышает температуру этого пузырька, а, следовательно, катализирует процессы окисления и разложения контактирующего с ним масла [3]. Вода в рабочей жидкости может содержаться в растворенном и свободном виде. Количество нерастворенной воды в баках гидросистемы в летних условиях составляет 0,001...0,54% по массе, зимой может достигать 1% [4,39].

Температурный режим работы гидросистемы определяется вязкостью – одной из важнейших характеристик рабочей жидкости, которая обуславливает внутреннее трение жидкости [4,40].

С увеличением температуры вязкость масла уменьшается, возрастают утечки через уплотнения и сопряжения агрегатов. Время подъема навесного механизма увеличивается, быстродействие гидросистем снижается. Значительное повышение температуры может привести к разрушению масляной пленки между трущимися поверхностями, задирам сопряжений и выходу из строя гидронасоса. Разрушение масляной пленки приводит к полусухому трению, что еще более способствует перегреву трущихся поверхностей. При снижении температуры вязкость увеличивается, однако увеличиваются и сопротивления потоку масла в трубопроводах, ухудшается заполнение всасывающей полости насоса. Может иметь место интенсивное пенообразование, производительность насоса снижается [38,40,41].

Следовательно, на гидросистему оказывает влияние множество неблагоприятных факторов, приводящих к ухудшению эксплуатационных и технико-экономических показателей гидрофицированной машины, но можно выделить наиболее значимые – это чистота и температурные условия работы рабочей жидкости, которые могут привести к значительному, в несколько раз, уменьшению сроков службы гидроагрегатов.

1.2. Влияние температуры рабочей жидкости на изменение работоспособности гидросистемы

Эффективность работы гидравлической системы определяется объемным КПД и подачей насосов, потерями энергии на трение в гидрооборудовании и потерями давления в гидросистеме, интенсивностью изнашивания деталей и связанную с ней долговечностью гидрооборудования, сроком службы рабочей жидкости.

Климатические условия эксплуатации влияют на работоспособность и эффективность гидросистемы в основном через состояние рабочей жидкости, определяемое ее вязкостью, содержанием механических примесей, газов и влаги, а также модулем упругости [42,43].

Как уже отмечалось, в качестве рабочих жидкостей в гидросистемах самоходных машин с шестеренными насосами применяют моторные масла М-8В₂ (зимнее) и М-10В₂ (летнее), которые эксплуатируются в широком диапазоне температур от минус 50 до 100°С и выше при давлении в напорной гидролинии до 32 МПа и разряжении во всасывающей гидролинии до 0,03 МПа. Тогда как, рекомендуемая температура в гидросистеме сельскохозяйственных тракторов должна находиться в интервале 40...60°С [37,38,43,70]. Жидкость контактирует с полимерами, цветными и черными металлами, на которых в связи с износом отсутствуют защитные окисные пленки, на жидкость воздействуют длительные вибрации, в гидросистему попадают из окружающей среды влага и абразивные частицы. Все это создает весьма неблагоприятные условия эксплуатации и сокращает срок службы рабочей жидкости [1,2,31,44,45,47].

По сведениям Р.М. Матвеевского и О.В. Лозовской [64] предельными, критическими температурами для масел, трансформаторного, веретенного, автотракторного, промышленного, авиационного, применяемых в качестве

рабочих жидкостей в гидросистемах транспортно технологических машин, соответственно, будут 180, 165, 150, 140 и 210°C.

П.И. Кох [65] отмечает, что в гидрооборудовании, с повышением температуры технических жидкостей возрастают их утечки из гидросистемы, и активно происходит перетечка рабочих жидкостей из полостей с высоким давлением в полость с более низким давлением. Под действием высоких температур интенсифицируется процесс окисления и старения жидких масел и технических жидкостей. Это старение вызывается испарением легких фракций из масел и жидкостей, вследствие чего изменяется их структура.

Прежде всего, срок службы жидкости зависит от интенсивности ее химического разложения, которое происходит в результате окисления масла кислородом воздуха. Каталитическое воздействие при этом оказывает температура, нерастворенный воздух и абразивные частицы. Повышение температуры после +40°C на каждые 8...10°C ускоряет интенсивность окисления масла в два раза. Процесс окисления и окислительной полимеризации под воздействием высокой температуры (выше + 60°C) является основным фактором старения масла, при котором выделяются и выпадают в осадок органические кислоты и асфальтосмолистые вещества. В результате старения вязкость увеличивается [1,15,48,49].

Наличие механических примесей (загрязнений) в гидросистеме способствует увеличению окисления масла, особенно в момент образования частиц износа, когда повышены их поверхностно-активные свойства [1,50,51,52].

Климатические условия эксплуатации машин оказывают существенное влияние на уровень концентрации загрязнений. Как весенне-летний, так и осенне-зимний периоды характеризуются большим разбросом показателей загрязненности. В весенне-летний период наблюдается увеличение концентрации загрязнений примерно в два раза по сравнению с осенне-зимним периодом. Несмотря на то, что при низких температурах линейные фильтры фильтруют лишь часть потока жидкости, так как значительная часть ее идет через

переливной клапан, не фильтруясь, более высокая запыленность воздуха в летнее время приводит к повышению уровня концентрации загрязнений [53].

Исследования, проведенные З.В. Ловкисом [8], показывают, что в гидросистемах транспортно-технических машинах в рабочей жидкости содержится до 12...15% нерастворенного воздуха, что приводит к снижению объемного модуля упругости минеральных смесей более чем в 2 раза. С понижением температуры и увеличением вязкости жидкости скорость выхода газового пузырька уменьшается, он легче удерживается в вязком масле, что в процессе работы гидросистемы приводит к накоплению газовых пузырьков, циркулирующих по гидросистеме в объеме жидкости.

Содержание воды в рабочей жидкости не допускается или строго ограничивается (не более 0,1% по весу). Влага, в основном, проникает в гидросистему из атмосферы через сапун, уплотнения штоков, негерметичные соединения трубопроводов из-за интенсивного теплообмена между рабочей жидкостью и окружающей средой. Влага в рабочей жидкости приводит к образованию стойкой воздушно-масляной эмульсии, в результате чего ухудшаются смазывающие свойства масел, происходит их интенсивное окисление, более интенсивно протекает коррозия и кавитационные явления, повышается трение [39,42,54].

Трение в гидрооборудовании оказывает существенное влияние на работоспособность гидравлической системы. Повышение силы трения в гидроцилиндрах и гидромоторах снижает полезные усилия на штоке и валу. Повышение силы трения в насосах увеличивает потребную мощность ДВС, что приводит к перерасходу топлива и снижению ресурса двигателя. Повышение силы трения в плунжерах распределителей увеличивает усилия на рукоятках и педалях управления, что повышает утомляемость оператора и ухудшает эргономические показатели машины. Повышение силы трения в направляющей и регулирующей гидроаппаратуре снижает ее быстродействие. В конечном итоге повышение сил трения снижает производительность машины, увеличивает износ сопряженных деталей и сокращает ресурс гидрооборудования [12,43,48,55].

Увеличение силы трения при температуре ниже 0°C связано, прежде всего, с повышением вязкости масел, т.е. повышением сил внутреннего трения, которые характеризуются предельным напряжением сдвига одного слоя жидкости относительно другого [4,40]. При понижении температуры до -40°C сила трения манжетных уплотнений увеличивается в 1,6...1,8 раза, колец круглого поперечного сечения – в 1,4...1,6 раза, а чугунных колец – в 1,1 раза [1].

Согласно заключению [63] Ю.А. Виноградова, бронзовые опорные втулки, применяемые в гидронасосах, при повышении температуры рабочей жидкости свыше 100°C заметно снижают свои механические свойства: предел прочности снижается с 55 до $36,5 \text{ кгс/мм}^2$, ударная вязкость – с 6,3 до $2,65 \text{ кгс}\cdot\text{м/см}^2$, твердость – со 120 до 85,5 единиц.

При повышении температуры сила трения также увеличивается. С уменьшением вязкости защитные свойства масла ослабевают, и в зоне контакта происходит разрыв масляной пленки. Образуются зоны сухого трения, на которых увеличивается молекулярное взаимодействие контактирующих поверхностей, т.е. повышается адгезионная составляющая трения. При росте температуры трущихся поверхностей уменьшается их поверхностное сопротивление внедрению и увеличивается глубина взаимной деформации, что повышает гистерезисные потери [2,53]. Суммарное увеличение двух составляющих объясняет повышение силы трения при температурах выше $+20^{\circ}\text{C}$.

Максимальные силы трения покоя и скольжения золотника распределителей также зависят от температуры [56, 57], причем наибольшему влиянию подвержена начальная сила трения. Это подтверждает образование зон сухого трения при положительных температурах, когда защитные свойства масел ухудшаются [1,58,59].

Период пуска насосов и гидромоторов в работу при низких температурах характеризуется большими потерями на трение, а при температурах ниже -40°C и разрушением некоторых деталей (приводной вал, стопорные кольца, уплотнения и др.) [10,11,52]. Данные эксплуатационных наблюдений [1] показывают,

что до 80% гидронасосов выходит из строя в зимнее время. Следовательно, температура рабочей жидкости оказывает существенное влияние на трение.

Таким образом, можно предположить, что существует такой диапазон температуры (вязкости) рабочей жидкости, в котором потери энергии на трение минимальны. Искусственно поддерживая температуру в рациональном диапазоне, можно существенно снизить потери энергии на трение.

При низких температурах резко снижаются полезные усилия на рабочих органах гидрофицированных машин, что сказывается на их грузоподъемности и производительности. Главной причиной этого являются потери давления в гидрооборудовании, трубопроводах и всасывающей гидролинии насосов. Эти потери вызываются трением жидкости о стенки трубопроводов и каналов гидрооборудования; деформацией потока жидкости, вызываемой завихрениями, изменением скорости и направления потока; инерцией вязкой жидкости.

На преодоление этих сил затрачивается энергия, которая определяет потери давления в гидросистеме. Эти потери увеличиваются при увеличении вязкости жидкости и могут привести не только к снижению полезных усилий на выходных звеньях гидродвигателей, но и к полной потере работоспособности машины, когда давления жидкости в гидродвигателях недостаточно даже для холостого перемещения рабочего оборудования.

Следует отметить, что механизм потерь давления во всасывающей и напорной гидролиниях имеет некоторое различие. Если во всасывающем трубопроводе потери давления связаны с трением и инерцией вязкой жидкости, то в напорном и сливном трубопроводах – с трением и деформацией потока жидкости. Это различие объясняется характером движения жидкости: во всасывающем трубопроводе направление потока постоянно, ответвлений нет, изгибов меньше, ограничена и скорость потока; в напорном трубопроводе поток разветвляется на несколько частей, на его пути встречается большое количество изгибов и местных сопротивлений, при переключении направляющей и регулирующей гидроаппаратуры происходит изменение направле-

ния и реверсирование потока, за счет повышенных скоростей (5 м/с и более) наблюдаются завихрения [42,47,60,61].

Хотя по величине потери давления в напорных гидролиниях значительно выше, чем во всасывающих, последние оказывают более существенное влияние на работоспособность гидравлической системы.

При понижении температуры рабочей жидкости (повышении вязкости масла) разрежение во всасывающей камере шестеренных насосов типа НШ растет. Во всасывающем трубопроводе возрастают гидравлические потери, а при разрежении 0,06...0,07 МПа возникает кавитация, которая вызывает шум, вибрацию трубопроводов, ударные нагрузки на детали насосов и их интенсивное эрозионное разрушение. Кавитация может возникать и при более высоких температурах, если обороты вала насоса будут близки к максимальным и вследствие инерционности вязкой жидкости она не будет успевать полностью заполнить рабочие камеры насоса. Кроме того, кавитация усиливается при наличии большого количества растворенного в жидкости воздуха [1,8,10].

К тем же выводам подводит М.А. Син в работе [68]. Известно, что вязкость рабочей жидкости существенно изменяется в зависимости от температуры, поэтому для каждой марки рабочей жидкости устанавливаются рациональные интервалы температур, которые, как правило, и в теплое, и в холодное время года достигаются после предварительного прогрева гидросистемы. Следовательно, насосная установка при предварительном прогреве гидросистемы работает в течение некоторого времени на вязкостях, превышающих допустимые. Засасывание рабочей жидкости, обладающей большой вязкостью, приводит к тому, что на всасывании насоса возникает разрежение выше рекомендуемой величины.

Повышенное разрежение на всасывании сопровождается работой насоса на режиме недозаполнения всасывающих камер. Одновременно в рабочую жидкость проникает воздух в основном через раскрывающуюся кромку уплотнительной манжеты приводного вала насоса при потере им вакуумной стойкости.

Вследствие таких специфических условий пускового режима серийных гидросистем воздух с маслом образует механическую смесь, которая при определенных условиях в зависимости от размеров пузырьков воздуха и вязкости масла может сохраняться в течение многих суток [15].

При работе на смеси масла с воздухом в насосе возникают гидравлические удары. Объясняются они тем, что при соединении рабочей камеры, не заполненной жидкостью, с напорной магистралью гидросистемы в эту камеру устремляется обратный поток жидкости, сопровождаемый ударными забросами давления. Последние перегружают качающий узел насоса и обуславливают выход его из строя [68].

Наибольшее влияние температура (вязкость) жидкости оказывает на потери давления в местных сопротивлениях: тройниках, разветвлениях, изгибах. Например, коэффициент местного сопротивления в секционных распределителях при изменении числа Рейнольдса от 1000 до 10 увеличивается примерно в 130 раз [1] и повышает суммарные потери давления в гидросистеме.

Турбулентный режим течения жидкости сопровождается меньшими потерями давления, чем ламинарный. При ламинарном режиме слои жидкости перемещаются параллельно друг другу, вызывают повышенное сцепление со стенками трубопроводов и каналов гидрооборудования. При турбулентном режиме течения происходит как бы перекачивание объемов жидкости по трубопроводу, и, хотя, при этом на деформацию потока расходуется энергия, она оказывается все-таки меньше, чем потери на трение при ламинарном режиме течения [51,60].

Согласно данным С.В. Каверзина [1], полученным при испытании гидросистемы механизма поворота платформы экскаватора ЭО-4121А, следует, что при понижении температуры рабочей жидкости от +40°С до -10°С среднестатистическое давление в напорной линии увеличивается в 1,8 раза, давление в гидромоторе в период разгона – в 2,5 раза, а в период торможения – в 2,3 раза. При понижении температуры рабочей жидкости увеличивается и максимальное пиковое давление в насосе и гидромоторе.

Анализируя все вышеизложенное можно заметить, что существует такая предельная температура (вязкость), после понижения, которой происходит резкий рост потерь давления, что отрицательно сказывается на производительности машин и работоспособности в целом. Уменьшить это отрицательное влияние можно при помощи оптимизации теплового режима рабочей жидкости.

Процесс изнашивания при низкой температуре весьма сложен и изменяется в зависимости от условий взаимодействия поверхностей, а также от физико-механических свойств. До настоящего времени не установлено количественной связи между температурой и интенсивностью изнашивания. Более того, среди исследователей нет единого мнения о том, увеличивается или уменьшается интенсивность изнашивания при понижении температуры. Большинство ученых все же считает, что с понижением температуры интенсивность изнашивания увеличивается.

Так, Г.В. Крамаренко [62] отмечает, что все без исключения исследователи подтверждают тот факт, что интенсивность изнашивания большинства элементов машин в условиях низких температур выше, чем в некотором диапазоне положительных температур.

По мнению П.И. Коха [65] низкие температуры воздуха вызывают многократное увеличение вязкости смазочных материалов и технических жидкостей. Так, рабочая низкотемпературная жидкость ПГ-271 при температуре 50°С имеет вязкость $4 \cdot 10^{-6}$ м²/с, а при температуре минус 50 °С – $3 \cdot 10^{-4}$ м²/с. Такое увеличение вязкости смазочных материалов снижает их жидкотекучесть, в результате чего поступление смазочных материалов к узлам трения затрудняется или может полностью прекратиться. Под действием низких температур влага, содержащаяся в смазочных материалах, кристаллизуется, что вместе с изменением свойств самих материалов снижает их смазывающие свойства (например, снижается свойство прилипаемости масла к металлическим поверхностям) и, тем самым, провоцирует возникновение сухого или полусухого режима трения и, как результата, повышения интенсивности изнашивания.

У технических жидкостей, используемых в гидравлических и тормозных системах машин, с повышением температуры снижается вязкость, возрастают утечки жидкости из гидросистемы, что ухудшает смазываемость поверхностей трения и увеличивает износ деталей гидравлических двигателей, цилиндров и аппаратуры.

Однако, основной причиной повышения интенсивности изнашивания, следует считать ухудшение условий трения – проникновения абразивных частиц в зону контакта деталей гидрооборудования, ослабление защитных свойств смазки, изменение зазоров сопряжения, обусловленных изменением температуры рабочей жидкости гидросистемы.

Применительно к гидрофицированным машинам установлено, что по причине преждевременного изнашивания выходит из строя 90% деталей, а по причине потери прочности – 10% деталей [1].

Наличие механических примесей в рабочей жидкости приводит к абразивному изнашиванию, которое является практически единственным видом изнашивания металлических и полимерных деталей гидрооборудования. Интенсивность изнашивания пропорциональна количеству и размерам механических примесей. Исследованиями установлено, что увеличение загрязненности в четыре раза снижает долговечность гидрооборудования в два раза. Отсутствие или недостаточная эффективность фильтра сокращает срок службы насосов в 10...12 раз [53]. Все отечественные и зарубежные исследователи, занимавшиеся в разное время изучением процесса изнашивания и надежности машин, считают, что главным фактором, увеличивающим износ и снижающим надежность гидрофицированных машин, является загрязненность рабочих жидкостей.

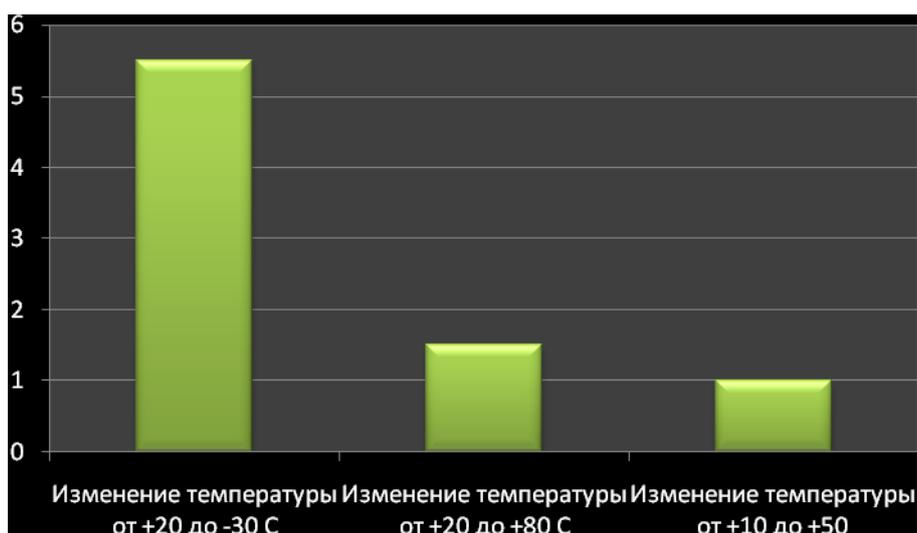
Температура (вязкость) рабочей жидкости оказывает существенное влияние на интенсивность абразивного изнашивания металлических деталей гидрооборудования. При низких температурах часть потока жидкостей проходит через переливной клапан фильтра, не фильтруясь. Кроме того, в более

вязкой жидкости абразивные частицы легче удерживаются во взвешенном состоянии и транспортируются по гидросистеме.

Интенсивность изнашивания деталей существенно зависит от температуры, при чем температуры ниже 0°C оказывают на изнашивание наибольшее влияние. Например, при изменении температуры от $+20$ до -30°C износ манжетных уплотнений увеличивается в 5,5 раза, а колец круглого поперечного сечения – в 5,2 раза. Изменение температуры от $+20$ до $+80^{\circ}\text{C}$ вызывает значительно меньший износ: манжетное уплотнение – в 1,5 раза, кольца круглого поперечного сечения – в 1,4 раза.

На изнашивание металлических деталей температура жидкости также оказывает большое влияние. При изменении температуры от $+20$ до -30°C износ увеличивается в 1,25 раза, при изменении температуры от $+20$ до $+80^{\circ}\text{C}$ – в 1,2 раза [1]. Повышение износа металлических деталей при отрицательных и положительных температурах обусловлено ухудшением условий взаимодействия поверхностей трения, которые, не влияя на характер изнашивания, увеличивают его интенсивность.

Таблица 1. Зависимость изнашивания деталей от температуры



При температурах от +10 до +50°С наблюдается участок наименьшего износа деталей. В этом интервале температуры поверхности трения наиболее полно разделяются слоем рабочей жидкости.

Уменьшить интенсивность абразивного изнашивания, снизить силы трения в зоне контакта деталей гидрооборудования можно за счет применения более совершенных конструкций фильтроэлементов, строгого выполнения технико-эксплуатационных требований и оптимизацией температуры рабочей жидкости.

Применение гидрофицированных самоходных машин сдерживается исключительно низкой эффективностью гидросистемы в условиях экстремальных значений температур окружающего воздуха.

Так, в северных районах часто для поддержания работоспособности гидросистемы на определенном уровне в суровых климатических условиях двигатели машин не глушат с ноября по март месяц [43,48]. Это ведет к перерасходу топлива, преждевременному износу двигателя и гидронасоса, загрязнению окружающей среды.

Температура окружающей среды и рабочей жидкости является главным фактором, определяющим технико-экономические показатели гидрофицированных машин. Так как, было рассмотрено ранее, под влиянием температуры значительно изменяется температура рабочей жидкости: в сотни и тысячи раз повышается вязкость, увеличивается плотность, повышаются загрязненность и содержание влаги. При изменении температуры происходит изменение величины зазоров в подвижных соединениях и натягов в неподвижных. За счет деформации и изменения размеров деталей происходит повышение сил трения, подсос воздуха во всасывающей гидролинии и насыщение рабочей жидкости воздухом. Изменение температуры оказывает отрицательное влияние на физико-механические свойства материалов гидрооборудования. Изменяется характер контакта поверхностей трения, повышаются сила трения и износ деталей гидрооборудования.

Таким образом, изменение температуры, воздействуя на состояние рабочей жидкости, зазоры и натяги в соединениях и физико-механические свойства материалов, приводит к ухудшению состояния гидрооборудования, которое в конечном итоге ведет к уменьшению эксплуатационной производительности гидрофицированных самоходных машин.

Так, М.Д. Ногай [67] утверждает, что существует такое значение температуры рабочей жидкости, при котором величина механического КПД окажется максимальной.

Повысить эксплуатационную производительность можно поддержанием в рациональном диапазоне состояния рабочей жидкости, зазоров и натягов и физико-механических свойств материалов гидрооборудования. Технически это проще всего осуществить искусственным регулированием температуры рабочей жидкости [1].

1.3. Способы улучшения работоспособности гидравлических систем транспортно-технических машин.

Анализ ранее выполненных исследований показал, что экономичная работа гидросистемы трактора возможна только при рациональном тепловом режиме. Современные тракторы не имеют системы терморегулирования масла в агрегатах гидросистемы [5]. Ее отсутствие сказывается в основном при эксплуатации тракторов в зимнее время.

Общий осмотр

1. Осмотреть автомобиль (прицеп, полуприцеп). Проверить состояние кабины, платформы, стекол, зеркал заднего вида, противосолнечных козырьков, оперения, номерных знаков, механизмов дверей, запоров бортов платформы, капота, крышки багажника, буксирного (опорно-сцепного) устройства.

2. Проверить действие стеклоочистителя и омывателей ветрового стекла и фар, действие системы отопления и обогрева стекол (в холодное время года), системы вентиляции.

Двигатель, включая системы охлаждения, смазки

3. Проверить осмотром герметичность систем смазки, питания и охлаждения двигателя (в том числе пускового подогревателя), а также крепление на двигателе оборудования и приборов.

4. Проверить состояние и натяжение приводных ремней.

5. Проверить крепление деталей выпускного тракта (приемная труба, глушитель и др.).

6. Проверить крепление двигателя.

Сцепление

7. Проверить действие оттяжной пружины и свободный ход педали сцепления. Проверить герметичность системы гидропривода выключения сцепления.

8. У автомобилей, оборудованных пневмоусилителем сцепления, проверить крепление кронштейна и составных частей силового цилиндра усилителя.

Коробка передач

9. Проверить крепление коробки передач и ее внешних деталей.

10. Проверить в действии механизм переключения передач на неподвижном автомобиле.

Гидромеханическая коробка передач

11. Проверить крепление гидромеханической коробки передач к основанию автобуса, крепление масляного поддона и состояние масляных трубопроводов.

12. Проверить крепление наконечников электрических проводов.

13. Проверить правильность регулировки механизма управления периферийными золотниками.

Карданная передача

14. Проверить люфт в шарнирных и шлицевых соединениях карданной передачи, состояние и крепление промежуточной опоры и опорных пластин игольчатых подшипников. Проверить крепление фланцев карданных валов.

Задний мост

15. Проверить герметичность соединений заднего (среднего) моста.

16. Проверить крепление картера редуктора, фланцев полуосей и крышек колесных передач.

Рулевое управление и передняя ось

17. Проверить герметичность системы усилителя рулевого управления.

18. Проверять крепление и шплинтовку гаек шаровых пальцев, сошки, рычагов поворотных цапф, состояние шкворней и стопорных шайб гаек.

19. Проверить люфт рулевого колеса и шарниров рулевых тяг.

20. Проверить затяжку гаек клиньев карданного вала рулевого управления.

21. Проверить люфт подшипников ступиц колес.

Тормозная система

22. Проверить компрессор: визуальное внешнее состояние, работу на слух и создаваемое давление по штатному манометру.

23. Проверить состояние и герметичность трубопроводов и приборов тормозной системы.

24. Проверить эффективность действия тормозов на стенде.

25. Проверить шплинтовку пальцев штоков тормозных камер пневматического привода тормозов, величины хода штоков тормозных камер, свободного и рабочего хода педали тормоза.

26. Проверить и при необходимости устранить неисправности тормозного крана пневматического привода тормозов.

27. Проверить состояние и герметичность главного цилиндра, усилителя, колесных цилиндров и их соединений с трубопроводами.

28. Проверить исправность привода и действие стояночного тормоза.

Рама, подвеска, колеса

29. Проверить осмотром состояние рамы, узлов и деталей подвески, буксирного и опорно-сцепного устройств. Проверить состояние и действие механизма подъема опорных катков (полуприцепа).

30. Проверить крепление стремянок и пальцев рессор, крепление колес.

31. Проверить герметичность пневматической подвески.

32. Проверить состояние шин и давление воздуха в них: удалить посторонние предметы, застрявшие в протекторе и между спаренными колесами.

Кабина, платформа (кузов) и оперение

33. Проверить состояние и действие запорного механизма, упорограничителя и страхового устройства опрокидывающейся кабины.

34. Проверить состояние и действие замков, петель и ручек дверей кабины.

35. Проверить крепление платформы к раме автомобиля, держателя запасного колеса; у полуприцепа проверить состояние и крепление средней стойки.

36. Проверить крепление крыльев, подножек, брызговиков. Осмотреть поверхности кабины и платформы; при необходимости зачистить места коррозии и нанести защитное покрытие.

Система питания

37. Проверить осмотром состояние приборов системы питания, их крепление и герметичность соединений.

38. У автомобилей с дизельными двигателями проверить действие привода насоса высокого давления.

39. Проверить и при необходимости отрегулировать содержание окиси углерода (СО) в отработавших газах карбюраторных двигателей.

На большей части территории нашей страны (96...97% площади) средняя месячная температура окружающего воздуха находится в пределах

$\pm 20^{\circ}\text{C}$, причем при температуре минус 20°C свыше четырех месяцев в году эксплуатируется 65% тракторного парка [73].

Объем зимних работ может составлять до 30% от всего объема работ [21,43]. Машины широко используются на таких видах работ как снегозадержание, подвозка кормов на животноводческие фермы, транспортировка стройматериалов и различных сельскохозяйственных грузов, очистка дорог от снега, вывозка леса и ряде других.

Основными причинами, ухудшающими работоспособность и определяющими особенности функционирования агрегатов гидросистемы машины в холодное время года, являются следующие:

- отсутствие устройств терморегулирования масла в гидравлических системах современных сельскохозяйственных машин;
- высокая вязкость рабочей жидкости в начальный период работы, определяющая ухудшение пусковых качеств гидронасосов, а также нарушение режима смазки узлов и механизмов;
- большая продолжительность прогрева рабочей жидкости до эксплуатационных температур;
- низкое значение установившегося теплового режима основных функциональных систем гидросистемы.

Как показало обобщение опыта представляется возможным осуществить следующие способы улучшения работоспособности гидросистем: перед зимними работами подбирать для использования масла с улучшенными эксплуатационными свойствами, производить подогрев непосредственно перед началом работы и поддерживать рациональные температурные режимы непосредственно при эксплуатации [43,74].

Наилучшим решением вопроса необходимо было бы считать применение масел с пологой вязкостно-температурной характеристикой (масла на минеральной и синтетической основах) [1,42]. Однако использование масел с улучшенными низкотемпературными свойствами эффективно в основном только в период пуска и в начале работы. На уровень установившегося теп-

лового режима гидросистемы это не оказывает существенного влияния. Кроме того, объем производства указанных масел в нашей стране пока еще недостаточен, их применение ограничено высокой стоимостью, поэтому их разрабатывают, в основном, для районов Крайнего Севера и используют только в самых ответственных узлах трения [75].

Улучшение работоспособности гидросистемы при эксплуатации поддержанием рациональных нагрузочного и скоростного режимов работы механизмов в сочетании с повышением коэффициента сменности и увеличением загрузки гидросистемы в течение рабочего дня является малоперспективным ввиду специфичности зимних видов работ.

Хранение машины в межсменное время в теплом гараже значительно снижает скорость охлаждения агрегатов трактора и к началу смены температура масла в гидроагрегатах несколько выше температуры в помещении. При этом обеспечивается легкий пуск трактора в работу, значительно улучшаются условия труда механизаторов, повышается производительность. Однако, учитывая территориальную разобщенность парка машина и работу их в зимних условиях небольшими группами, отсутствие отапливаемых гаражей в большинстве хозяйств, и принимая во внимание, что не всегда экономически выгодно иметь утепленные гаражи во всех точках эксплуатации, до сих пор приходится считаться с наличием эксплуатации машин при безгаражном хранении. И если для разогрева двигателей в настоящее время разработано много различных способов (индивидуальные средства разогрева, групповой разогрев и т.д.), то гидросистемы машины чаще всего пускаются в работу без подогрева, что ведет к известным отрицательным последствиям [42,76].

Весьма эффективно утепление корпусов гидроагрегатов теплоизоляционными материалами, но эта задача технически трудно осуществима, так как агрегаты гидросистемы располагаются по всей длине машины, на значительном расстоянии друг от друга [62].

Из немногих способов подогрева рабочей жидкости гидросистемы следует отметить следующие: горячим воздухом, теплом инфракрасных горелок,

дросселированием, изменением площади теплообмена, электронагревательными элементами, за счет тепла выделяемого двигателем внутреннего сгорания (ДВС), отработавшими газами ДВС [1,6,62,66,72,77,78,79,80,81,82].

Разогрев агрегатов гидросистемы горячим воздухом достаточно эффективен, прост и доступен. Водно-воздушный подогреватель Целинного филиала ГОСНИТИ может разогреть сразу шесть машин. С его помощью нагревается масло в картерах двигателя, баках гидросистем, КПП, заднем мосту. Масло разогревают горячим воздухом с температурой 300...350 °С [43]. Основными недостатками данного способа являются необходимость приобретения дополнительного оборудования и значительные затраты на горюче-смазочные материалы.

Разогрев агрегатов гидросистемы газовыми горелками инфракрасного излучения также не получил широкого распространения из-за низкого КПД этих установок и необходимости дополнительных затрат на приобретение газа. Следует отметить, что показатели установок, основанных на применении горелок инфракрасного излучения и сжиженного газа, значительно улучшаются, если их применяют для других целей, например, для отопления зданий [85].

Системы разогрева рабочей жидкости дросселированием [1,80,81,82,83], основаны на том, что при прохождении жидкости через дроссель с перепадом давлений, она нагревается. Разогрев рабочей жидкости в результате дросселирования происходит при прохождении жидкости через гидравлическое сопротивление (дроссель) за счет потери давления в процессе деформации (мятия) жидкости и превращения механической энергии в тепловую.

Недостатком этих систем является то, что при прохождении жидкости под давлением с высокой скоростью через каналы и зазоры направляющей и регулирующей гидроаппаратуры и другие местные сопротивления происходит многократное мятие жидкости, что весьма вредно влияет на физико-химические свойства рабочей жидкости. В процессе дросселирования масла при больших давлениях происходит деструкция молекулярных цепочек, в результате уменьшается вязкость, ухудшаются смазывающие свойства, и наблюдается потемнение масла.

Известны системы разогрева рабочей жидкости за счет уменьшения вместимости гидробака и площади теплоотдачи [1,77,78,79], которые включают малый и большой баки, основной и дополнительный распределители, насос, термодатчик, гидродвигатель.

Недостатком этих систем является то, что после достижения рациональной температуры в период работы на малом баке при подключении большого бака температура рабочей жидкости резко понижается и становится значительно ниже рациональной, так как температура масса холодного масла значительно больше массы горячего масла. Кроме того, это направление терморегулирования рабочей жидкости требует довольно существенных конструктивных изменений гидросистемы, что влечет усложнение технологии изготовления, увеличение габаритов, массы и стоимости машины.

Основным недостатком систем нагрева рабочей жидкости электронагревательными элементами [1,66,86] является обязательное наличие источников электроэнергии для питания электронагревательных элементов гидросистем, что не всегда можно обеспечить, особенно, в условиях значительного удаления техники от стационарных источников электроэнергии. Нагревательные же элементы, питающиеся от бортовой сети, как правило, имеют низкий КПД и значительно увеличивают нагрузку электросистемы машины.

Конструкция устройства для разогрева масла за счет тепла выделяемого ДВС [72] применена на тракторе «Беларусь» МТЗ-1221 и состоит из трубчатого теплообменника и крышки, крепящейся к блок-картеру двигателя при помощи болтов. Масло, подаваемое гидронасосом, нагревается в теплообменнике за счет тепла выделяемого ДВС.

К недостаткам данного способа следует отнести то, что в начальный момент прокачки масла через теплообменник температура корпусных деталей двигателя все еще остается достаточно низкой. Разогрев рабочей жидкости осуществляется лишь за счет ее перемешивания и барботирования шестеренным насосом, что ведет к его повышенному изнашиванию. В период же, когда температура двигателя возрастет до максимально установившейся в

процессе теплообмена с окружающей средой, температура блока цилиндров будет намного превышать рациональную рабочую температуру гидрожидкости, создавая тем самым условия для ухудшения физико-механических свойств рабочей жидкости.

Системы разогрева рабочей жидкости отработавшими газами ДВС [1,6,84] также не нашли широкого распространения из-за того, что масло гидросистемы претерпевает значительные локальные перегревы в режиме его разогрева, так как температура отработавших газов при выпуске их из двигателя в несколько раз превышает рациональную температуру рабочей жидкости. Под воздействием высокой температуры ускоряется интенсивность процесса окисления и окислительной полимеризации – это является основным фактором старения масла, при котором выделяются и выпадают в осадок органические кислоты и асфальтосмолистые вещества, которые засоряют маслопроводы и каналы.

Рассмотренные выше организационные и технические мероприятия, при неоспоримой важности и перспективности каждого из них, все же не полностью решают проблемы, связанной с улучшением выходных показателей гидросистемы, особенно, при низких температурах окружающего воздуха. Они могут быть улучшены за счет комплекса мероприятий, обеспечивающих рациональный температурный режим гидросистемы.

Анализируя все перечисленные способы подогрева рабочей жидкости, можно сделать вывод о целесообразности применения того или иного способа. Выбранный подогреватель должен удовлетворять следующим требованиям:

- минимальные затраты времени на разогрев рабочей жидкости;
- минимальная длина трубопроводов;
- отсутствие сложных и дорогих в изготовлении конструктивных элементов и, в свою очередь, использование серийно выпускаемых рабочих элементов;
- равная продолжительность срока службы элементов гидросистемы;
- возможность переключения разогрева на охлаждение;

- простота и автоматизм включения, выключения и переключения;
- ремонтпригодность.

Из всех вышеописанных способов перечисленным требованиям в полной мере не удовлетворяет ни один. Поэтому, была разработана собственная система для терморегулирования жидкости гидросистемы. Ее можно применять как для подогрева, так и для охлаждения масла в условиях пониженных или повышенных температур.

Эта система содержит гидронасос, сообщенный напорной гидролинией с теплообменником, который связан с баком посредством сливной гидролинии, гидравлическое сопротивление, установленное в упомянутой напорной гидролинии, масляный насос системы смазки двигателя и вентилятор блока охлаждения кабины, также соединенные с теплообменником, и отличается тем, что для разогрева рабочей жидкости гидросистемы используется тепловая энергия моторного масла из системы смазки ДВС.

Данная система позволит устранить отмеченные выше недостатки, и ее использование повысит эффективность, надежность и точность регулирования температуры рабочей жидкости гидросистемы.

В связи с этим, улучшение работоспособности агрегатов гидросистем за счет разогрева и поддержания рационального температурного режима рабочей жидкости при эксплуатации трактора представляется достаточно эффективным средством, позволяющим наиболее полно реализовать его потенциальные возможности. Это возможно за счет текущего совершенствования (модернизации) гидросистемы трактора при эксплуатации [87] путем разработки системы ее терморегулирования.

1.4. Выводы и задачи исследования

На основании анализа литературных источников можно сделать следующие выводы:

1. Надежность агрегатов гидросистем современных транспортно техни-

ческих машин в настоящее время остается недостаточно высокой. Исследование надежности гидрофицированных машин различного назначения показывает, что на зимний период эксплуатации приходится 70...90% всех отказов и неисправностей гидрооборудования.

2. На работоспособность гидросистемы воздействует множество случайных факторов, которые могут привести к значительному уменьшению сроков службы гидроагрегатов. Основным видом изнашивания агрегатов гидросистем сельскохозяйственных тракторов является абразивное изнашивание, что обусловлено качеством уплотнений и условиями эксплуатации гидросистемы.

3. Температура рабочей жидкости гидросистемы в условиях эксплуатации изменяется в широких пределах. Температура окружающего воздуха является наиболее существенным фактором, влияющим на температурный режим работы масла. Серийные отдельно-агрегатные гидросистемы тракторов (особенно при низких температурах окружающего воздуха) не обеспечивают рациональный температурный режим работы узлов трения.

4. До настоящего времени не установлено количественной связи между температурой и интенсивностью изнашивания. Большинство ученых все же считает, что с понижением температуры интенсивность изнашивания увеличивается и основной причиной повышения интенсивности изнашивания, следует считать ухудшение условий трения – проникновения абразивных частиц в зону контакта деталей гидрооборудования, ослабление защитных свойств смазки, изменение зазоров сопряжения, обусловленных изменением температуры рабочей жидкости гидросистемы. Уменьшить это отрицательное влияние можно при помощи оптимизации теплового режима рабочей жидкости.

5. Наиболее предпочтительным и рациональным способом подогрева рабочей жидкости является подогрев за счет использования тепловой энергии моторного масла из системы смазки ДВС, обеспечивающий возможность разогрева масла и его терморегулирование в процессе эксплуатации гидросистемы машины.

На основании вышеизложенного и в соответствии с поставленной целью, намечено решение следующих **задач**:

1. Теоретически обосновать применение системы терморегулирования рабочей жидкости в гидросистеме машин.
2. Разработать и изготовить теплообменник, обеспечивающий разогрев и поддержание рабочей жидкости гидросистемы в рациональном интервале температур.
3. Исследовать влияние эксплуатационных факторов на энергозатраты на трение и износ образцов поверхностей трения.
4. Исследовать влияние системы терморегулирования на изменение температуры рабочей жидкости и технико-экономические показатели гидросистемы машины.
5. Разработать рекомендации по внедрению результатов исследований в производство и провести их технико-экономическую оценку.

2. ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

2.1 Программа экспериментальных исследований

Программа экспериментальных исследований включала в себя три этапа. На первом этапе проводились лабораторные испытания по оценке влияния объемной температуры масла на энергозатраты на трение, в частности на изменение момента трения, и оценке влияния эксплуатационных факторов (температурного режима работы узла трения и загрязнения смазочного масла абразивными примесями) на интенсивность изнашивания образцов поверхностей трения по схеме «ролик-колодка». Испытания проводились в лабораторных условиях на машине трения модели МИ-1М Зав.№ 79 Ивановского завода по производству приборов для испытания металлов

«ИВМАШПРОМ». С целью сокращения количества опытов использовались методы математического планирования эксперимента. Программа экспериментальных исследований представлена в таблице 3.1.

На втором этапе работы, на стенде КИ-4815М Зав.№ 487, исследовалась динамика изменения объёмной температуры моторного масла М-10Г₂ ГОСТ 8581-78, заправленного в лабораторную установку, представляющую собой модель гидросистемы трактора, в условиях имитирующих эксплуатационные при различных температурах окружающего воздуха. Исследования проводились с использованием классического однофакторного эксперимента.

На третьем этапе проводились исследования технических средств регулирования температуры гидравлического масла в эксплуатационных условиях, которые разработаны на основании анализа существующих конструкций подогревателей рабочих жидкостей и смонтированы в гидробаках камаз 6520

Таблица 3.1 – Программа экспериментальных исследований

ЭТАП 1	Лабораторные исследования
	Исследования влияния объёмной температуры масла на изменение момента трения образцов поверхностей трения «ролик-колодка»;
	Исследования влияния эксплуатационных факторов на износ образцов поверхностей трения «ролик-колодка»;
ЭТАП 2	Стендовые исследования
	Исследования влияния разработанной системы терморегулирования на динамику объёмной температуры моторного масла в условиях имитирующих эксплуатационные;
	Исследование влияния разработанной системы терморегулирования на работоспособность гидроагрегатов смоделированной

2.2 Объект и лабораторное оборудование первого этапа исследований

В условиях эксплуатации ресурс гидросистемы в значительной степени характеризуется техническим состоянием наиболее ответственных агрегатов – гидронасоса, распределителя, гидроцилиндров. Различные режимы и условия эксплуатации гидроагрегатов обуславливают многообразие видов изнашивания деталей. Наиболее ярко выраженное механическое и абразивное изнашивание наблюдается в колодцах корпуса гидронасоса в местах сопряжения с зубьями шестерен, а также в сопряжениях цапфа шестерни – втулка. В результате изнашивания увеличиваются зазоры и, следовательно, снижается объемный КПД, что приводит к возникновению параметрических отказов. Поэтому в качестве образцов, использовавшихся при проведении лабораторных испытаний, были выбраны цилиндрические ролики, изготовленные из стали 18ХГТ, и колодки – из литейного алюминия АЛ9, т.к. шестерни современных гидронасосов изготавливаются, как правило, из низколегированных конструкционных сталей с твердостью поверхности зубьев HRC , 58...62 при твердости сердцевины HRC , 30...45 /4/, а твердость корпуса и втулок гидронасоса находится в пределах HRC , 42...59 /10/. На основании этого ролики были подвержены цементации на глубину 0,9...1,5 мм с последующей закалкой до твердости поверхности HRC , 60...62, при твердости сердцевины HRC , 40...45. Колодки подвергались закалке с последующим отпуском, и твердость образцов после проведения термообработки составляла HRC , 47...59. После термообработки ролики и колодки шлифовались. Шероховатость поверхности после обработки составила $R_a = 1,8$ мкм. Диаметр ролика, на котором проводились замеры шероховатости и износа, составлял $\varnothing 50$ мм. Ширина контактной поверхности, позволяющая добиваться нагрузок в контакте, соответствующих нагрузкам в реальном сопряжении корпус-шестерня (удельная нагрузка – $1,3 \cdot 10^6$ Н/м² [4]), была равна рабочей части колодки и

составляла $0,39 \cdot 10^3 \text{ мм}^2$. Ширина ролика составляла 10 мм. Это позволило приблизить условия испытания образцов к условиям работы реальных гидронасосов.

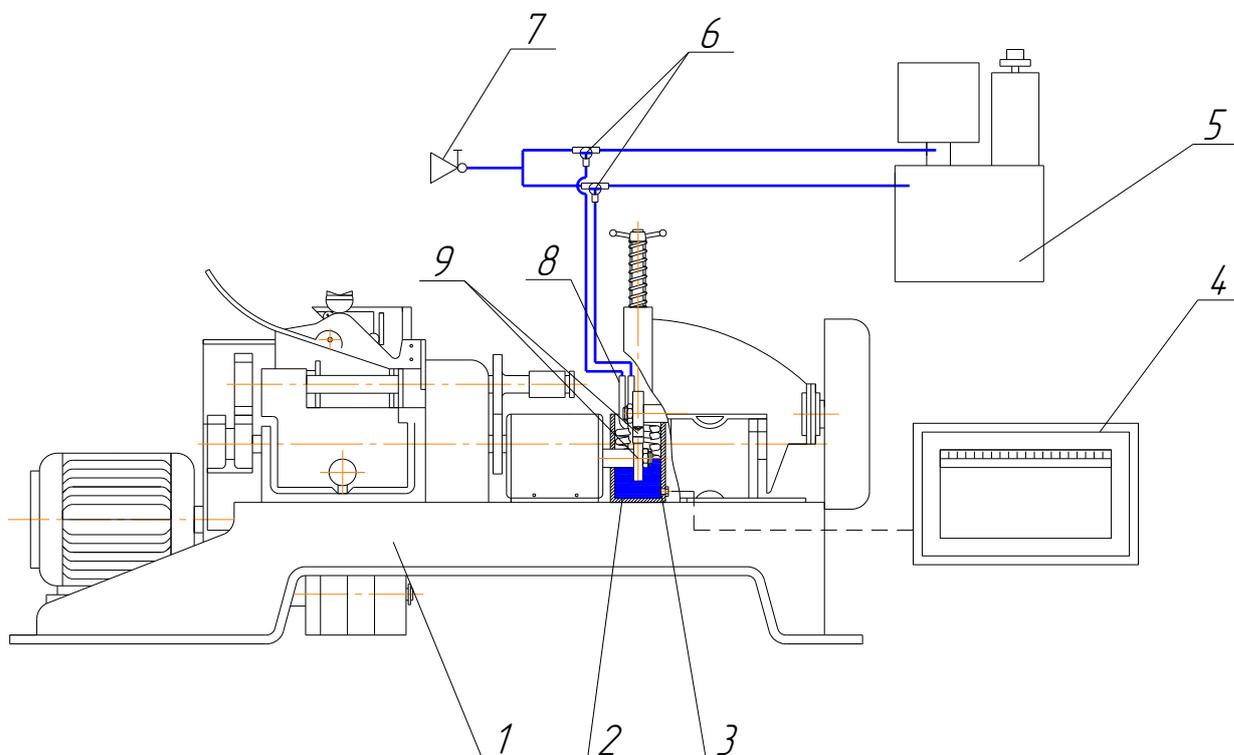


Рисунок 3.4 – Схема движения теплоносителя и рабочей жидкости на машине трения

1 – машина трения МИ-1М; 2 – испытательная камера; 3 – змеевик; 4 – потенциометр (КСП-4); 5 – термостат; 6 – трехпроходные краны; 7 – водопроводный кран.

Температура масла в камере измерялась хромель-копелевой термопарой 3 и регистрировалась электронным потенциометром КСП-4 Зав.№ 4.1.40053. Перед установкой в испытательную камеру термопара тарировалась при ступенчатом нагревании и охлаждении в масле по показаниям ртутного термометра с ценой деления $0,5 \text{ }^\circ\text{C}$ [124].

2.3 Методика проведения лабораторных испытаний

Измерение твердости поверхности образцов (параметр HRC_9) перед испытаниями проводилось на приборе ТК-14-250 Зав.№ 1150 ГОСТ 13407-67 по методу Роквелла, в соответствии с ГОСТ 9013-59, вдавливанием в поверхность образцов наконечника с алмазным конусом. Шероховатость поверхности образцов перед испытаниями измерялась на профилометре модели

«Абрис ПМ-7» Зав.№ 238 по показывающему прибору. Критерием оценки показывающего прибора был параметр R_a ГОСТ 2789-59. Измерения проводились в четырех диаметрально противоположных точках в трехкратной повторности у роликов и в трех точках по длине дуги (через 15°) в трехкратной повторности у колодок.

2.3.1 Методика исследования влияния вязкостно-температурных свойств масел на энергозатраты на трение

В качестве смазочного материала использовалось моторное масло М-10Г₂ ГОСТ 8581-78 различной температуры (вязкости), применяемое в агрегатах большинства автотракторных гидросистем, с той целью, чтобы выявить характер изменения момента трения, в зависимости от температуры.

Перед испытаниями проводилась приработка образцов на масле М-10Г₂ ГОСТ 8581-78 с добавкой (5 % от объема масла) абразивной пыли с удельной поверхностью $5600 \text{ см}^2/\text{г}$ до стабилизации момента трения и объемной температуры масла в ванне [127].

Испытания проводились при нагрузке на верхний образец 2 кН. Момент трения фиксировался при температурах испытуемых масел $(20 \dots 80) \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ (через каждые $10 \text{ }^\circ\text{C}$). Длительность испытаний составила, в среднем, 75 ± 5 минут. Исследование проводилось с использованием классического однофакторного эксперимента. Для каждого значения вязкости масла проводилось по три серии опытов, которые, в свою очередь, подвергались рандомизации с целью получения более точных данных.

2.3.2 Методика определения рациональных температурных режимов работы узла трения на масле, содержащем абразивные примеси

С целью сокращения объема испытаний на данном этапе применялось математическое планирование эксперимента.

В качестве варьируемых факторов были выбраны: температура масла в

ванне (X_1), концентрация абразивных примесей в масле (X_2), нагрузка на верхний образец трения (X_3). Значения нагрузочно-скоростных факторов выбирались близкими к действующим в гидросистеме машины, а также исходя из возможностей установки. Температура масла принималась близкой к реальной, устанавливаемой в агрегатах транспортно-технологических гидросистем в зимнее и летнее время [75, 78, 128]. Концентрация абразивных примесей в масле выбрана на основании анализа исследований [12, 34, 35, 37, 42, 43, 47, 50].

В качестве смазочного материала использовалось моторное масло М-10Г₂ ГОСТ 8581-78, применяемое в агрегатах большинства гидросистем. Перед каждым опытом проводилась приработка образцов на указанном масле с поддержанием его температуры на уровне 60 ± 2 °С, путем четырехступенчатого повышения нагрузки с 0,5 до 2,0 кН, длительностью 100 минут.

При испытаниях использовалась абразивная пыль с удельной поверхностью $5600 \text{ см}^2/\text{г}$, в связи с тем, что данная пыль содержит наибольшее количество (по массе) частиц размером 15 мкм, которые попадают в рабочую жидкость и являются наиболее агрессивными (на основании анализа дисперсного состава абразива [32, 33]). Абразив нужной концентрации подмешивался в масло, которое затем заливалось в испытательную камеру 1 (см. рисунок 3.3).

Образцы изнашивались при фиксированных на различных уровнях значениях исследуемых факторов (таблица 3.2). В качестве параметра оптимизации был принят суммарный износ образцов трения, который оценивался весовым методом. Для получения математической зависимости параметра оптимизации от изменяемых факторов был реализован полный факторный эксперимент типа 2^3 близкий по своим статистическим характеристикам к D-оптимальным планам [98]. Согласно плану проведено 15 опытов (в трехкратной повторности каждый) (таблица 3.3).

В качестве аналитического выражения для функции отклика использован полином второго порядка вида

$$y = a_1x_1^2 + a_2x_2^2 + a_3x_3^2 + a_4x_1x_2 + a_5x_1x_3 + a_6x_2x_3 + a_7x_1 + a_8x_2 + a_9x_3 + a_{10}, \quad (3.1)$$

где y – функция отклика;

x – факторы;

a – коэффициенты.

Уровни и интервалы варьирования выбранных факторов приведены в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Уровни факторов и интервалы варьирования в эксперименте

Обозначение и наименование факторов	Уровни факторов			Интервал варьирования
	Основной	Верхний	Нижний	
X_1 – температура масла, °С	50	80	20	30
X_2 – концентрация абразивных примесей в масле, % от массы	0,25	0,47	0,03	0,22
X_3 – нагрузка на верхний образец трения, кН	1,5	2	1	0,5

Перевод натуральных значений уровней факторов в кодированные безразмерные величины (с целью построения стандартной матрицы эксперимента) проводился по формуле [98]:

$$x_j = \frac{X_j - X_{jo}}{I_j}, \quad (3.2)$$

где x_j – кодированное значение фактора;

X_j – натуральное значение j -го фактора;

X_{jo} – натуральное значение основного уровня j -го фактора;

I_j – интервал варьирования j -го фактора

Таблица 3.3 – Матрица эксперимента с образцами трения

Номер опыта	Значения факторов		
	X_1	X_2	X_3
1	-1	-1	-1
2	-1	-1	1
3	-1	0	0
4	-1	1	-1
5	-1	1	1
6	0	-1	0

7	0	0	-1
8	0	0	0
9	0	0	1
10	0	1	0
11	1	-1	-1
12	1	-1	1
13	1	0	0
14	1	1	-1
15	1	1	1

$$I_j = \frac{X_j^{\max} - X_j^{\min}}{2}, \quad (3.3)$$

где X_j^{\max} – натуральное значение верхнего фактора;

X_j^{\min} – натуральное значение нижнего фактора.

Результаты эксперимента приведены в таблице 3.3.

2.4 Методика определения износа образцов

Среди существующих способов определения износа деталей машин [99] наиболее точным и информативным является метод искусственных баз. В нашем случае недостатком этого способа является то, что базы выполняются на поверхностях деталей, которые при изнашивании загрязняются продуктами износа, кроме того, высокие контактные давления также приводят к искажению формы искусственной базы из-за пластического деформирования металла по контуру углубления. По указанным причинам точность измерения износа способами отпечатков и вырезанных лунок снижается, а иногда измерение вообще невозможно (при полном исчезновении отпечатка). Поэтому при лабораторных исследованиях для определения износа применялся весовой метод, который заключался в определении убыли веса путем взвешивания на аналитических весах ВЛР-200 Зав.№ 51А с погрешностью взвешивания $\pm 0,5$ мг (рисунок 3.5). При этом образцы тщательно промывались в авиационном бензине перед взвешиванием до и после испытаний.

2.5 Конструкция и принцип работы системы терморегулирования

Для подогрева рабочей жидкости в гидросистеме тракторов и машин на предприятии ООО "МОТОРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ" разработана система терморегулирования рабочей жидкости [90] (рисунок 3.6). Она может использоваться как для подогрева рабочей жидкости в процессе работы двигателя, с целью подготовки агрегатов гидросистемы к восприятию эксплуатационных нагрузок, так и для охлаждения рабочей жидкости в условиях повышенных температур [88, 90].

Система регулирования температуры рабочей жидкости содержит гидронасос 1, сообщенный напорной гидролинией 3 с агрегатами гидросистемы и баком-теплообменником 15, в котором расположены два теплоэлемента – змеевик 7 и радиатор 6 для подогрева и охлаждения рабочей жидкости.

Масляный насос 10 системы смазки ДВС по радиаторной гидролинии 11 подает горячее моторное масло из двигателя в змеевик теплообменника, где оно остывает до рабочей температуры, нагревая в то же время рабочую жидкость гидросистемы и затем по сливной гидролинии 8 поступает обратно в картер двигателя. Ресивер 4 пневмосистемы трактора, соединен с радиатором теплообменника для подачи воздуха в случае перегрева масла свыше рекомендуемой температуры.

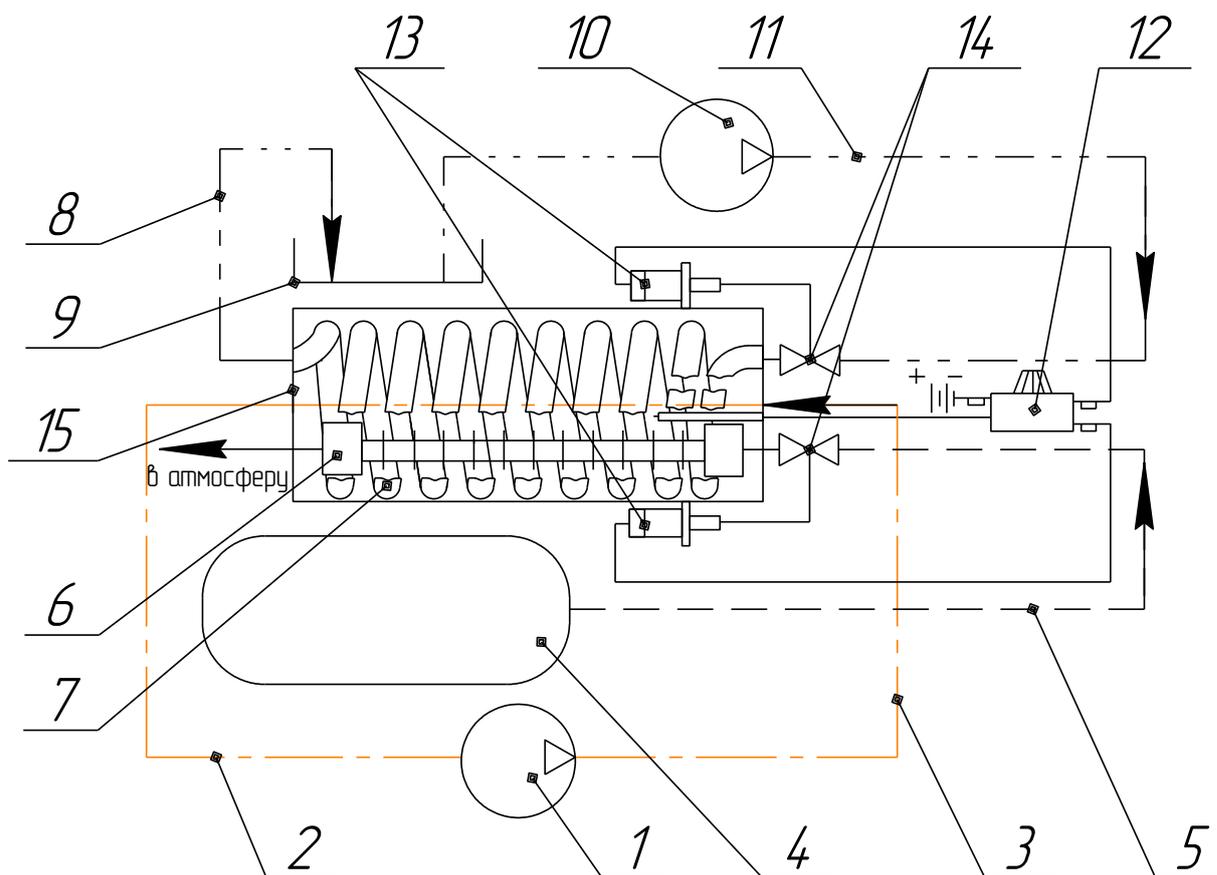


Рисунок 3.6 – Система терморегулирования

1 – насос шестеренный НШ; 2 – заборная гидролиния; 3 – напорная гидролиния; 4 – ресивер пневмосистемы; 5 – нагнетательная пневмолиния; 6 – радиатор охлаждения; 7 – змеевик; 8 – сливная гидролиния; 9 – поддон картера ДВС; 10 – масляный насос; 11 – радиаторная гидролиния масляного насоса; 12 – терморегулятор; 13 – электромагнитные реле; 14 – краны шаровые; 15 – теплообменник

Температуру масла внутри бака-теплообменника регистрирует терморегулятор 12, который влияет на работу втягивающих электромагнитных реле 13, представляющих собой электромагнитные катушки с подпружиненными сердечниками, которые в свою очередь управляют открытием шаровых кранов 14, изменяя направление движения теплоносителей и тем самым, регулируя температуру рабочей жидкости.

3 ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ

На основании проведенных исследований установлено, что для повы-

шения работоспособности тракторной гидросистемы терморегулированием в условиях изменяющейся температуры окружающего воздуха можно рекомендовать использование системы регулирования температуры рабочей жидкости.

Применение предложенной системы обеспечивает уменьшение износа ресурсопределяющих сопряжений гидросистемы в 1,47 раза (на 47%) и согласно проведенной аналитической оценке часовой расход топлива дизеля снизится на 2%.

Разработанная система регулирования температуры рекомендуется для раздельно-агрегатных гидросистем транспортно-технических машин и дорожно-строительной техники, работающих в условиях изменяющихся температур окружающего воздуха. Она проста в изготовлении и обслуживании, приспособлена для переоборудования машин (модернизации), уже находящихся в эксплуатации.

Для оценки экономической эффективности от реализации практических мероприятий по поддержанию рационального температурного режима рабочей жидкости гидросистемы в условиях эксплуатации машины ниже приведен расчет от повышения ресурса агрегатов гидросистемы (на примере гидронасоса), обеспечиваемого за счет текущего совершенствования (модернизации) гидросистемы машины при эксплуатации [] путем разработки системы ее терморегулирования. Техничко-экономические показатели вычислялись по общепринятой методике [].

3.1 Определение затрат на модернизацию гидравлической системы транспортно-технической машины

Дополнительные затраты на модернизацию гидросистемы трактора определяются по формуле:

$$\Delta C = C_{уд} - C_{у.с.} + C_{монт} + C_{нал} + H_{он}, \quad (5.1)$$

где $C_{уд.}$ – стоимость оборудования, дополнительно устанавливаемого на трактор, руб.

$C_{у.с.}$ – стоимость снимаемых агрегатов, которые можно использовать на запчасти или продать, $C_{у.с.} = 0 \text{ руб.}$;

$C_{монт}$ – затраты на монтажные работы, руб.;

$C_{нал}$ – затраты на наладку оборудования, руб.;

$H_{оп}$ – общепроизводственные накладные расходы, связанные с модернизацией гидросистемы, руб.

Стоимость оборудования $C_{уд.}$ определяется по формуле:

$$C_{уд} = C_{к.д.} + C_{о.д.} + C_{п.д.} + C_{сб.к.} + C_{в.м.} + C_{о.н.}, \quad (5.2)$$

где $C_{к.д.}$ – стоимость изготовления корпусных деталей, рам, каркасов, руб.;

$C_{о.д.}$ – затраты на изготовление оригинальных деталей, руб.;

$C_{п.д.}$ – цена покупных деталей, руб.;

$C_{сб.к.}$ – полная заработная плата с начислениями на социальные нужды, производственных рабочих занятых на сборке конструкции, руб.;

$C_{в.м.}$ – стоимость вспомогательных материалов (2 – 4 % от основных), руб.;

$C_{о.н.}$ – общепроизводственные накладные расходы на изготовление конструкции, руб.

Затраты на изготовление корпусных деталей:

$$C_{к.д.} = C_{м.к.} + Z_{п.к.}, \quad (5.3)$$

где $C_{м.к.}$ – стоимость материала, руб.;

$Z_{п.к.}$ – оплата труда производственных рабочих с отчислениями на социальные нужды, руб.

$$C_{м.к.} = Ц_{з.к.} \cdot Q_{к.д.}, \quad (5.4)$$

где $Ц_{з.к.}$ – цена одного килограмма металла (готовых деталей), руб.;

$Q_{к.д.}$ – масса заготовки, кг.

Оплата труда с отчислениями на социальные нужды производственных рабочих, занятых на изготовлении корпусных деталей:

$$Z_{п.к} = Z_{о.к} + Z_{д.к} + C_{соц.к}, \quad (5.5)$$

где $Z_{о.к}$ – основная оплата труда рабочих, занятых на изготовлении корпуса, руб.;

$Z_{д.к}$ – дополнительная оплата труда рабочих, занятых на изготовлении корпуса, руб.;

$C_{соц.к}$ – отчисления на социальные нужды, руб.

Основная оплата труда рабочих, занятых на изготовлении корпусных деталей:

$$Z_{о.к} = T_{изг} \cdot C_ч, \quad (5.6)$$

где $T_{изг}$ – средняя трудоемкость изготовления, чел.-ч;

$C_ч$ – часовая тарифная ставка рабочего, исчисляемая по среднему разряду, $C_ч = 15,2$ руб.

Дополнительная оплата труда рабочих:

$$Z_{д.к} = (K_д - 1) \cdot Z_{о.к} \quad (5.7)$$

где $K_д$ – коэффициент, учитывающий доплаты к основной оплате труда, $K_д = 1,125$.

Отчисления на социальные нужды:

$$C_{соц.к} = \frac{R_{соц} \cdot (Z_{о.к} + Z_{д.к})}{100}, \quad (5.9)$$

где $R_{соц}$ – процент отчислений на социальные нужды, %. Включает единый социальный налог и обязательное страхование от несчастных случаев, $R_{соц} = 26,1\%$.

Затраты на изготовление оригинальных деталей определяются по формуле:

$$C_{o.d.} = C_{m.o.} + Z_{n.o.}, \quad (5.10)$$

где $C_{m.o.}$ – стоимость материала заготовок для изготовления оригинальных деталей, руб.;

$Z_{n.o.}$ – заработная плата (с начислениями) производственных рабочих, занятых на изготовлении оригинальных деталей, руб.

$$C_{m.o.} = C_{z.o.} \cdot Q_{o.d.}, \quad (5.11)$$

где $Q_{o.d.}$ – масса заготовки оригинальной детали, кг;

$C_{z.o.}$ – цена килограмма заготовки для изготовления оригинальных деталей, руб./кг.

Оплата труда с отчислениями на социальные нужды производственных рабочих, занятых на изготовлении оригинальных деталей $Z_{n.o.}$ и сборке конструкции $C_{сб.к.}$ определяется аналогично оплате труда, рабочих занятых на изготовлении корпусных деталей (формулы 5.5–5.9).

Стоимость вспомогательных материалов $C_{в.м.}$:

$$C_{в.м.} = \frac{p \cdot (C_{м.к.} + C_{m.o.} + C_{n.d.})}{100}, \quad (5.12)$$

где p – процент вспомогательных материалов от стоимости основных (корпусных, оригинальных и покупных деталей), $p=2\%$.

Общепроизводственные накладные расходы на изготовление конструкции $C_{он.}$:

$$C_{он.} = \frac{Z_{o.m.k.} \cdot R_{оп.}}{100}, \quad (5.13)$$

где $Z_{o.m.k.}$ – основная оплата труда производственных рабочих, участвующих в изготовлении конструкции (включая сборку), руб.;

$R_{оп.}$ – процент общепроизводственных расходов; $R_{оп.} = 142\%$.

Окончательные значения составляющих формулы (5.2) приведены в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Затраты на изготовление и сборку системы терморегулирования

№ п/п	Составляющая формулы (5.2)	Значение, руб.
1	$C_{к.д}$	3507,45
2	$C_{о.д.}$	2656,45
3	$C_{н.д}$	3251,04
4	$C_{сб.к}$	1323,44
5	$C_{в.м}$	1115,36
6	$C_{он}$	1918,59
	Итого ($C_{уд}$):	11772,33

Затраты на монтажные работы $C_{монт}$ определяются по формуле:

$$C_{монт} = 0,15 \cdot C_{уд}, \quad (5.14)$$

Затраты на наладку оборудования $C_{нал}$:

$$C_{нал} = 0,1 \cdot C_{уд}, \quad (5.15)$$

Общепроизводственные накладные расходы, связанные с модернизацией гидросистемы $H_{он}$ определяются по формуле:

$$H_{он} = 0,01 \cdot Z_n \cdot R_{он}, \quad (5.16)$$

где Z_n – основная заработная плата производственных рабочих, участвующих в модернизации конструкции, руб.

$$Z_n = t_p \cdot C_ч \cdot K_t, \quad (5.17)$$

где t_p – трудоемкость модернизации конструкции, $t_p = 14$ ч;

$C_ч$ – часовая тарифная ставка, руб;

K_t – коэффициент, учитывающий доплату за сверхурочные и другие работы, $K_t=1,1$.

Окончательные значения составляющих формулы (5.1) приведены в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Дополнительные затраты на модернизацию гидросистемы транспортно-технической машины

№ п/п	Составляющая формулы (5.1)	Значение, руб.
1	$C_{уд}$	11772,33
2	$C_{у.с.}$	0
3	$C_{монт}$	2165,85
4	$C_{нал}$	1777,23
5	$H_{оп}$	1332,39
	Итого (ΔC):	15047,8

3.2 Определение экономической эффективности модернизации гидросистемы транспортно-технической машины

Модернизация гидросистемы камаз 5320 путем установки в нее системы терморегулирования рабочей жидкости позволит в условиях эксплуатации снизить износ поверхностей трения ресурсопределяющих сопряжений в 1,49 раза, что позволит увеличить ее ресурс на 48% и повысить топливную экономичность дизеля на 2.1 %.

Комплексная годовая экономия от модернизации гидросистемы определяется по формуле:

$$\mathcal{E}_z = \mathcal{E}_1 + \mathcal{E}_2, \quad (5.19)$$

где \mathcal{E}_1 – экономия от увеличения ресурса гидросистемы машины, руб.;

\mathcal{E}_2 – экономия от снижения часового расхода топлива, руб.

Годовая экономия от модернизации гидравлической системы связанная с увеличением ресурса ее гидроагрегатов в расчете на одну машину

$$\mathcal{E}_1 = I_C - I_M, \quad (5.20)$$

где I_C , I_M – годовые издержки на проведение капитального ремонта гидросистемы трактора, существующие и после модернизации соответственно, руб.

$$I_{c,m} = \frac{C_k \cdot t_g}{T_{k,c,m}}, \quad (5.21)$$

где C_k – стоимость капитального ремонта гидронасоса транспортно-технической машины;

t_g – среднегодовое количество часов работы гидросистемы.

Согласно данным [3, 4] агрегаты гидросистемы работают под нагрузкой только до 65% времени работы транспортно-технической машины, поэтому

$$T_g = 0,65 \cdot t_{год}, \quad (5.22)$$

где $t_{год}$ – среднегодовое количество часов работы транспортно-технической машины, $t_{год} = 1350$ ч. [];

$$t_{\Gamma} = 0,65 \cdot 1350 = 877,5 \text{ ч.}$$

T_C, T_M – наработка до капитального ремонта, существующая и после модернизации гидросистемы соответственно, ч.

$$T_C = 6000 \text{ ч [3].}$$

После модернизации гидросистемы потребность в капитальном ремонте будет возникать через $T_M = 1,47 \cdot T_C = 1,47 \cdot 6000 = 8820$ ч.

$$I_c = \frac{8746,6 \cdot 877,5}{6000} = 2279,19 \text{ руб.}$$

$$I_M = \frac{8746,6 \cdot 877,5}{8820} = 1870,19 \text{ руб.}$$

$$\mathcal{E}_1 = 1279,19 - 870,2 = 409 \text{ руб.}$$

\mathcal{E}_2 определяется по формуле

$$\mathcal{E}_2 = 0,035 \cdot (G_{\text{ч}} \cdot t_2 \cdot C), \quad (5.23)$$

где $G_{\text{ч}}$ – часовой расход топлива, $G_{\text{ч}} = 11,3 \text{ кг/ч}$;

C – комплексная цена $1^{\text{го}}$ кг топлива, $C = 27,2 \text{ руб.}$

$$\mathcal{E}_2 = 0,02 \cdot (11,3 \cdot 877,5 \cdot 27,2) = 3411,02 \text{ руб.}$$

Таким образом, $\mathcal{E}_2 = 409 + 3411,02 = 3820,02 \text{ руб.}$

Окупаемость дополнительных затрат на модернизацию гидросистемы одного трактора

$$O_3 = \frac{\mathcal{E}_2}{\Delta C} \cdot 100, \% \quad (5.24)$$

$$O_3 = \frac{3820,02}{10047,8} \cdot 100 = 38\%$$

Срок окупаемости дополнительных капитальных вложений

$$T = \frac{\Delta C}{\mathcal{E}_2}, \quad (5.25)$$

$$T = \frac{10047,8}{3820,02} = 2,9 \text{ года}$$

Результаты расчета показателей экономической эффективности модернизации гидравлической системы трактора приведены в таблице 5.3.

Таблица 5.3 – Экономическая оценка модернизации гидравлической системы транспортно-технической машины (на примере Камаз 5320)

№ п/п	Показатели	Значение по- казателя
1	Увеличение ресурса гидросистемы машины до капитального ремонта, %	47
2	Повышение топливной экономичности дизеля машины, %	2
3	Дополнительные затраты на модернизацию гидросистемы машины, руб. в т.ч. – стоимость оборудования, дополнительно устанавливаемого на машину, руб.;; – прочие затраты, руб.	15047,8 10772,33 3275,47
4	Комплексная годовая экономия, руб. в т.ч. – экономия от увеличения ресурса гидросистемы машины, руб.;; – экономия от снижения часового расхода топлива дизелем машины, руб.	3820,02 409 3411,02
5	Окупаемость дополнительных затрат на модернизацию гидросистемы машины, %	38
6	Срок окупаемости дополнительных затрат на модернизацию, лет	2,6

5.3.Экономические Выводы

1. Экономическое обоснование результатов исследований подтверждает эффективность модернизации гидросистемы Камаз 5320 за счет применения разработанной системы терморегулирования.

2. Комплексная годовая экономия от увеличения ресурса гидросистемы до капитального ремонта и увеличения топливной экономичности дизеля составила 3820,02 руб. на одну машину (в ценах на 01.04.2017 года). Окупаемость дополнительных затрат на модернизацию гидросистемы машины составляет 37%, срок окупаемости 2,9 лет.

Заключение

Разработанная конструкция теплообменника в полной мере обеспечивает оптимальный разогрев и поддержание в рациональном интервале температур рабочей жидкости в гидросистеме автомобиля, что в свою очередь снижает энергозатраты на трение и износ в гидросистеме. Так же за счет оптимального температурного режима в несколько раз увеличился ресурс рабочей жидкости и устранена необходимость её сезонной замены, что способствует экономии как материальных средств на покупку рабочей жидкости с меньшими или большими вязкостными характеристиками, так и сокращению времени проведения сезонных технических работ.

Теплообменник прост в изготовлении, не требует трудоёмкой установки на транспортно-технологическую машину и не нуждается в отдельном техническом обслуживании.

Экономическое обоснование результатов исследований подтверждает эффективность модернизации гидросистемы Камаз 6520 за счет применения разработанной системы терморегулирования. . Комплексная годовая экономия от увеличения ресурса гидросистемы до капитального ремонта и увеличения топливной экономичности дизеля составила 3820,02 руб. на одну машину (в ценах на 01.04.2017 года). Окупаемость дополнительных затрат на модернизацию гидросистемы машины составляет 37%, срок окупаемости 2,9 лет.

Всё это позволяет рекомендовать к внедрению данную разработку на все транспортно-технологические машины имеющие гидросистемы и работающие в резко меняющихся климатических условиях.

Список литературы

1. Гиргидов А.Д. Механика жидкости и газа (Гидравлика) : Учебник для вузов. 2 изд. Исп. И доп. Спб : Изд-во СПбГПУ, 2003, 545с.
2. Башта Т.М., Руднев С.С., Некрасов Б.Б. И др. Гидравлика, Гидромашина и гидроприводы : Учебник — М.: Машиностроение 1982.-423с
3. Иванов Р.А., Иванов Я.А., Гераськин С.В. Гидравлика и Гидропневмопривод: часть 1. Гидравлика : Учебник для вузов (под ред. Иванова Р.А.) - М. : Изд-во Военно-технического университета при федеральном агентстве специального строительства. - 2004, 210с
4. Иванов Р.А., Иванов Я.А., Гераськин С.В. Гидравлика и Гидропневмопривод: часть 2. Гидропневмопривод подъемно-транспортных, строительных и дорожных машин : Учебник для вузов (под ред. Иванова Р.А) — М. : Изд-во Военно-технического университета при федеральном агентстве специального строительства. - 2004.
5. Лепешкин А.В., Михайшъ А.А., Шейпак А.А., Гидравлика и гидропневмопривод, Гидравлические машины и гидропневмопривод : Учебник (под ред. А.А. Шейпака) 5 изд., доп. И перераб. - М. : МГИУ, 2008 - 352с
6. Шейпак А.А. Гидравлика и гидропневмопривод : Учебник. 2.1 : Основы механики и газа : 6-е изд., стереотип. - М.: МГИУ, 2007. - 264с.
7. Васильченко В.А. Гидравлическое оборудование мобильных машин: Справочник. : Машиностроение, 1983.
8. Погорелов В.И., Тющев В.С. Гидропневмопривод и автоматика. Учебное пособие. - Л : Изд-во СЗПИ, 1968, 431с.
9. Полубояринов, Ю.Г. Гидравлические системы в станочном оборудовании. Гидравлика (краткий курс): учебное пособие – Л.: СЗПИ, 1991, 96с.
10. Справочное пособие по гидравлике, гидромашинам и гидроприводам/ под общей редакцией докт. техн. наук Б.Б.Некрасова. Изд-во второе перераб. И допол. - Минск, Изд-во Высшая школа, 1985, 381с.
11. Колесник П.А. Техническое обслуживание и ремонт автомобилей. - М.: Транспорт, 1976. – 328 с.
12. Малышев А.И. Экономика автомобильного транспорта. - М.: Транспорт, 1983. – 336 с.

13. Анисимов А.П., Юфин В.К. Экономика, организация и планирование на автомобильном транспорте. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1980. – 328 с.
16. Жолобов Л.А. Устройство и техническое обслуживание автомобиля.- Ростов-на-Дону, 2002
17. Кисликов Устройство и эксплуатация автотранспортных средств. М., 1990
18. Техническая эксплуатация автомобиля: Учебник для ВУЗов/ Кузнецов Е.С., Воронов В.П.- М. Транспорт, 1991.-413 с.
- 19.4.ГОСТ Р 41.12-2001 (Правила ЕЭК ООН N 12) Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения транспортных средств в отношении защиты водителя от удара о систему рулевого управления.
20. Кравец В. Н. «Теория автомобиля»: учеб. Пособие / В. Н. Кравец. Нижний Новгород: НГТУ, – 2007.
21. Вахламов В.К. «Конструкция, расчет и эксплуатационные свойства автомобилей»: Учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / В. К. Вахламов. — М. : Издательский центр «Академия», 2007.