

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ГИДРОПРИВОДА СТРОИТЕЛЬНО-ДОРОЖНЫХ МАШИН

**Конеv В.В., Пирогов С.П., Бородин Д.М., Созонов С.В., Половников Е.В.**

*ФГБОУ ВПО «Тюменский государственный нефтегазовый университет», Тюмень, Россия (625000, Тюмень, ул. Мельникайте, 72), e-mail: konev@tsogu.ru*

---

Статья посвящена вопросу тепловой подготовки гидропривода строительно-дорожных машин. При эксплуатации машин исполнительные элементы гидропривода открыты к воздействию температуры окружающего воздуха, атмосферных осадков, ветра. Это приводит к интенсивным износам и потере работоспособности гидропривода и, как следствие, к материальным затратам. На основе анализа предшествующих исследований предложены новые подходы к системам тепловой подготовки гидропривода (локальный прогрев), определены и разработаны способы тепловой подготовки гидроцилиндров. Определены основные факторы и их характеристики, влияющие на время тепловой подготовки гидроцилиндров. С целью проверки теоретических исследований в статье представлено описание экспериментального исследования, которое содержит планирование эксперимента, разработку экспериментальной установки (подбор измерительного оборудования, модернизация гидроцилиндров, монтаж экспериментальной установки), также приведено описание хода проведения экспериментальных исследований по прогреву гидроцилиндров различными способами.

---

Ключевые слова: тепловая подготовка, гидропривод, локальный прогрев, гидродвигатель, экспериментальные исследования.

## EXPERIMENTAL STUDY OF HYDRAULIC ROAD CONSTRUCTION MACHINERY

**Konev V.V., Pirogov S.P., Borodin D.M., Sozonov S.V., Polovnikov E.V.**

*"Tyumen State Oil and Gas University", Tyumen, Russia (625000, st. Melnikaite 72), e-mail: konev@tsogu.ru*

---

The article focuses on the preparation of the thermal hydraulic drive road construction machinery. When operating the machine actuators hydraulic drive open to ambient air temperature, precipitation and wind. This leads to intense wear and loss of efficiency of hydraulic drive and, as a result, material costs. Based on an analysis of previous studies suggesting new approaches to systems of thermal preparation of the hydraulic drive (local warming), defined and developed methods of thermal preparation of hydraulic cylinders. The main factors and characteristics that affect the cooking time of preparation of hydraulic cylinders. In order to verify the theoretical research in the article describes a pilot study, which contains experimental design, the development of the experimental setup (selection of the measuring equipment, modernization of hydraulic cylinders, installation of the experimental setup) also describes the progress of the pilot studies on the heating of cylinders in different ways.

---

Keywords: thermal preparation, hydraulic, local heating, hydraulic motor, experimental studies.

Основную часть парка современных строительно-дорожных машин (СДМ) составляют машины с объемным гидравлическим приводом, получившим широкое распространение по ряду известных преимуществ, в сравнении с другими видами приводов.

Особенностью эксплуатации этих машин является то, что большой объем работ, в зимний период, необходимо выполнить в ограниченные сроки [4, 10]. При этом техника эксплуатируется автономно вдали от стационарных баз, гаражей, в суровых условиях [5] и ограниченного использования внешних источников тепловой энергии.

Готовность СДМ к работе в значительной степени зависит от состояния гидропривода. Традиционный метод обеспечения надежности гидроприводов основывается на системе планово-предупредительных ремонтов, а также прогрева гидропривода после межсменной

стоянки под нагрузкой, но их активное использование ведет к большим материальным затратам.

Основными исполнительными элементами в гидроприводе строительно-дорожных машин (СДМ) являются гидродвигатели, на которые воздействуют внешние факторы (температура, атмосферные осадки), тем самым повышается износ его элементов. В условиях эксплуатации СДМ на Севере воздействие низких температур изменяет посадки элементов гидродвигателя. Притом, что они выполнены из разных материалов, они имеют и разное тепловое расширение. В соответствии с изложенным, необходимы мероприятия по снижению указанного воздействия внешних факторов на исполнительные элементы гидропривода. Так, исследователями предлагаются различные средства и способы прогрева гидропривода, но они рассматривают прогрев бака гидропривода, при этом необходим локальный прогрев [1, 2, 3]. Была поставлена задача повысить надежность и сократить затраты ресурсов на разогрев гидропривода СДМ, работающих в полевых условиях при низких отрицательных температурах.

Анализ патентов по рассматриваемому вопросу показал, что имеются следующие системы прогрева гидропривода. В устройстве [7] гидроцилиндр содержит корпус, штоковую и бесштоковую полости, которые образуются посредством соединенных поршня и штока. Поршень содержит проходной канал. В шток гидроцилиндра встроен дистанционно управляемый клапан, воздействующий на втулку. Втулка также содержит проходной канал произвольного сечения. Причем канал поршня совмещается с каналом втулки при срабатывании клапана.

При разогреве гидропривода включается дистанционно управляемый клапан, перемещая втулку таким образом, чтобы ее проходной канал совпал с проходным каналом поршня. Разогретая рабочая жидкость из гидробака подается в одну из полостей гидроцилиндра, проходит через проходной канал в другую полость. При этом перемещение соединенного с поршнем штока становится невозможным. Тем самым обеспечивается продолжение процесса разогрева гидропривода.

После завершения цикла разогрева гидропривода клапан перемещает втулку, закрывая проходной канал. При закрытом канале рабочая жидкость действует непосредственно на поршень, перемещая его в корпусе гидроцилиндра. Работа разогретого гидропривода начинается.

Недостатком указанной конструкции является малая пропускная способность канала в поршне гидроцилиндра, низкая надежность клапана, установленного в штоке гидроцилиндра, который в условиях повышенной вязкости рабочей жидкости и высоких давлениях не обеспечит работоспособность конструкции.

В конструкции [8] система тепловой подготовки гидропривода состоит из контура тепловой подготовки двигателя и контура тепловой подготовки гидропривода. Технический результат реализуется путем прямого перетекания разогретой в гидробаке рабочей жидкости (от теплообменника и теплового аккумулятора) по дополнительной гидрролинии, соединяющей штоковую и бесштоковую полости гидроцилиндра. Открытый вентиль дополнительной гидрролинии позволяет разогретому маслу свободно перетекать по полостям гидроцилиндра, что сокращает время на разогрев элементов гидропривода. Работа системы прогрева гидроцилиндра возможна при выполнении условия, в котором давление рабочей жидкости в дополнительной гидрролинии меньше давления на поршень гидроцилиндра.

Для уточнения результатов теоретических исследований проведенных ранее [1, 2] и проверке работоспособности рассмотренных систем тепловой подготовки гидроцилиндров проведены экспериментальные исследования.

На лабораторном стенде (рис. 1) исследовалась тепловая подготовка следующих гидроцилиндров: гидроцилиндр с теплообменной рубашкой, гидроцилиндр с электропрогревом [6], гидроцилиндр с обводным трубопроводом [8].

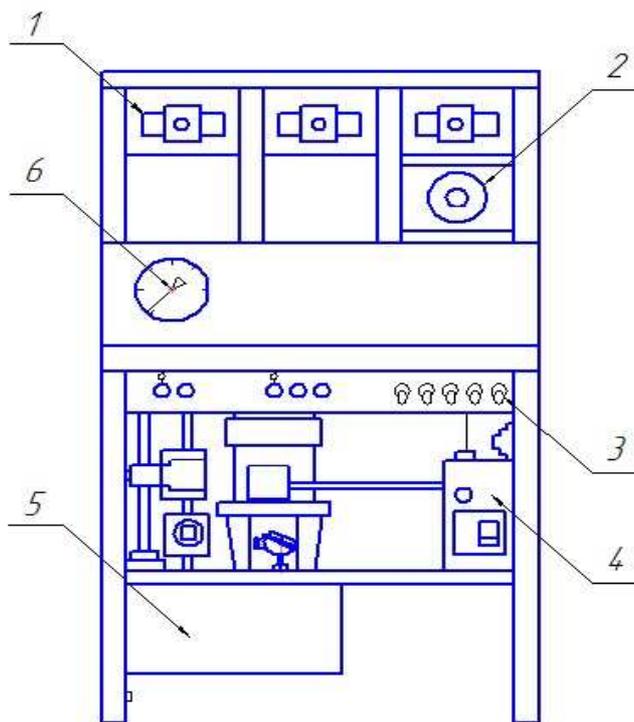


Рис.1. Общий вид управляющей станции: 1 – распределитель; 2 – дроссель; 3 – панель управления; 4 – выключатель сети; 5 – гидробак; 6 – манометр

Была разработана, спроектирована и изготовлена рама, на которую подвешивались гидроцилиндры для испытаний. Гидравлическая схема экспериментальной установки представлена на рис. 2.

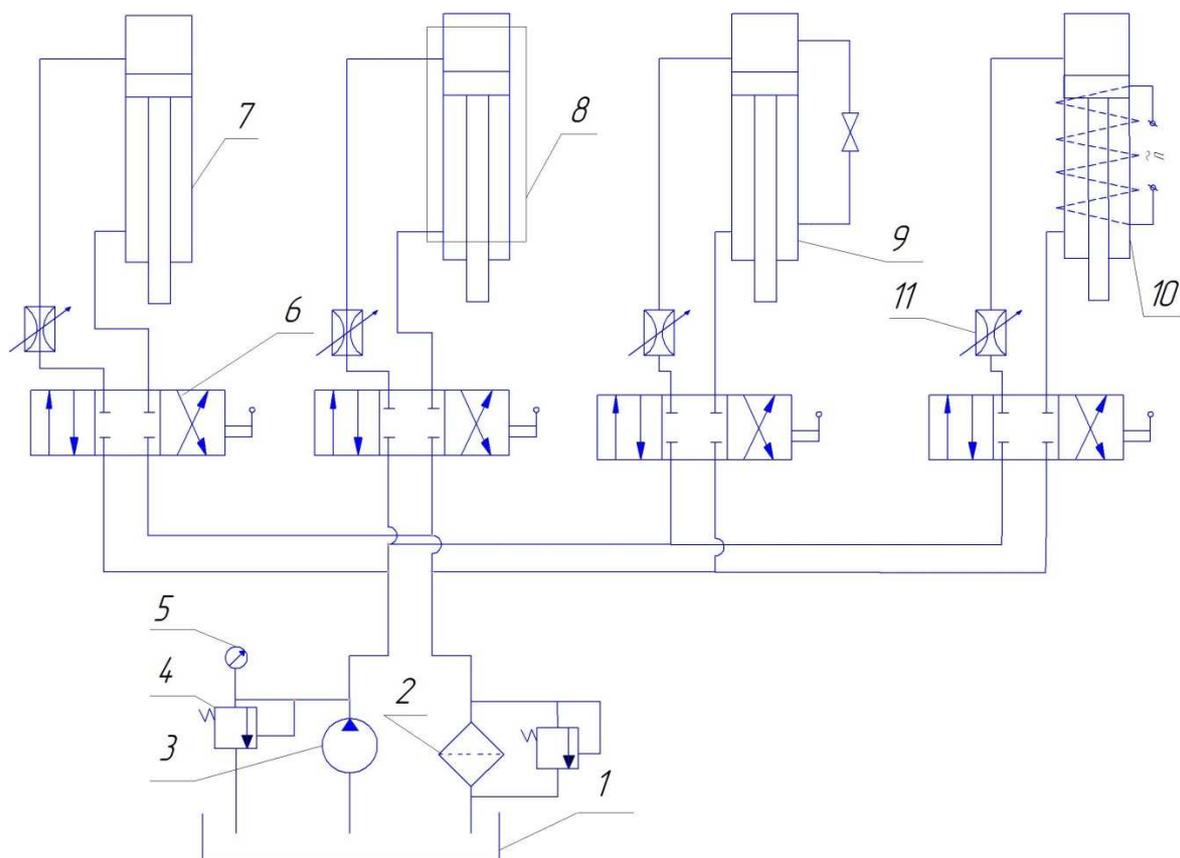


Рис. 2. Гидравлическая схема экспериментальной установки: 1 – гидробак; 2 – фильтр; 3 – насос; 4 – клапан перепускной; 5 – манометр; 6 – гидрораспределитель; 7 – гидроцилиндр контрольный; 8 – гидроцилиндр с теплообменной рубашкой; 9 - гидроцилиндр с обводным трубопроводом; 10 – гидроцилиндр с электропрогревом; 11 – дроссель

Гидроцилиндры представлены на рис. 2. При этом их работа сравнивалась с работой гидроцилиндра без конструктивных изменений.

Планирование эксперимента включало составление матрицы эксперимента (таблица) и определение необходимого числа измерений результирующего параметра в каждой строке матрицы плана.

На первом этапе определялись факторы влияния:  $X_1$  – температура воздуха,  $t_{\text{воз}} (^{\circ}\text{C})$ ;  $X_2$  – расход жидкости (рабочей, охлаждающей),  $Q$  (л/мин);  $X_3$  – толщина теплоизоляционного материала,  $\delta$  (м);  $X_4$  – диаметр поршня,  $d$  (м).

Пределы варьирования факторов приведены в таблице и выбраны на основе следующих данных:

- температура воздуха согласно полученных средних и среднеминимальных температур для территорий Тюменской области;
- расход жидкости, управление осуществлялось изменением частоты вращения насоса;
- толщина теплоизоляционного материала, исходя из расчетных данных;
- диаметру поршня определяет размерную группу гидроцилиндров.

Выходным параметром являлось время прогрева гидроцилиндра.

Матрица эксперимента

Параметр фактора	Факторы			
Характеристики плана	$X_1, t_{\text{воз}}^{\circ\text{C}}$	$X_2, Q(\text{л/мин})$	$X_3, \delta (\text{м})$	$X_4, d (\text{м})$
Нулевой базовый уровень	-25	20	0,04	0,1
Интервал варьирования	15	10	0,02	0,06
Верхний уровень	-10	30	0,06	0,16
Нижний уровень	-40	10	0,02	0,04

Планирование эксперимента проводилось для сокращения времени исследований при сохранении достоверности полученных результатов. Поэтому опыты проводились только в ключевых точках факторного пространства. По методике планирования экспериментов определено, что необходимое число опытов в одной точке – 2 [9].

Для исследования процессов, изменяющихся в ходе эксперимента, необходимо измерительное оборудование. Измерение температуры окружающего воздуха осуществлялось с использованием жидкостного термометра с пределами измерения от минус 50 °С до плюс 50 °С, класс точности 1,0 и ценой деления 1 °С.

Для измерения температуры рабочей жидкости спроектирована и изготовлена рампа, в которую встроены манометр, термометр, а также термодатчик для замеров температуры стенок гидроцилиндров (термопара типа «К») и мультиметр Mastech M830B. Погрешность измерений в пределах измерений от минус 40 °С до плюс 250 °С составляет не более  $\pm 3$  °С. С целью уменьшения погрешности измерения температуры мультиметром с термопарой, они подвергались контрольной проверке и отбору, что позволяет повысить точность измерения температуры до  $\pm 1$  °С. Это определяется сравнением показаний термопары с показаниями эталонного термометра. Мультиметры с термопарой типа «К» обладают высокой надежностью в работе и позволяют визуально, непосредственно во время эксперимента, наблюдать за изменениями температуры.

Для измерения температуры стенок гидроцилиндров в его корпусе было изготовлено не сквозное отверстие, в которое была помещена термопара. Она соприкасалась со стенкой цилиндра через термопасту АлСил-3 и была закреплена с помощью фольгированного скотча.

Для измерения температуры рабочей жидкости на входе и выходе из гидроцилиндра в штуцер рампы с измерительными приборами была клеена двухкомпонентным эпоксидным клеем «Эксперт» термопара. Соединения в измерительной рампе проводились при помощи нити (подмотка) для труб «Рекорд» 1м ГОСТ/ТУ 2257-001-53159841-2004, герметика силиконового универсального Krass 100 мл.

Для измерения температурных характеристик рабочей жидкости использовался термометр биметаллический типа БТ, который был вмонтирован в рампу. Класс точности 1,5, диапазон измеряемых температур от минус 40 до плюс 70 °С. Термометр осевой биметаллический БТ предназначен для измерения температуры жидкостей и газов в отопительных и санитарных установках, в системах кондиционирования и вентиляции.

Жидкостный термометр с пределами измерения минус 30 до +70 °С, класс точности 1,0 и ценой деления 1°С. Систематическая ошибка на всем диапазоне измерения составляет  $(30 - (-70)) \times 1,0/100 = 1^{\circ}\text{C}$ . Манометр с пределами измерений от 0 до 4 МПа.

Также установлен датчик расхода жидкости (ДРЖ) EVS 3110 (максимальное давление 400 бар, диапазон измерений 1,2...20 л/мин, 6...60 л/мин, 15...300 л/мин, 40...600 л/мин).

Для измерения характеристик давления использовался манометр типа МП2-Уф с диапазоном измерений от 0 до 4 МПа (40 кгс/см<sup>2</sup>), ценой деления 0,1 МПа и классом точности 2,5. Он предназначен для измерения избыточного и вакуумметрического давления неагрессивных, некристаллизующихся жидкостей или газов. Данный прибор имеет степень защиты от окружающей среды IP40, что соответствует таким характеристикам, как защищенность от песка и от прикосновения к токоведущим частям конструкций рукой или инструментом.

Температура в гидробаке насосной установки измерялась также мультиметром с помощью термопары.

Для уменьшения тепловых потерь использовался изоляционный материал – базальтовое волокно. После сборки и изоляции базальтовым волокном дополнительной гидролинии в цилиндр была вмонтирована рампа с измерительным оборудованием.

Эксперименты по нагреванию гидроцилиндра проводились при отрицательных температурах окружающего воздуха на моделях – с различной толщиной теплоизоляционного материала, массами гидроцилиндров, расходом рабочей жидкости, расходом теплоносителя.

Гидроцилиндр с разной толщиной теплоизоляционного материала помещался в условия при отрицательной температуре (таблица). Время нагревания до 0 °С измерялось с использованием секундомера. При этом фиксировалась температура и давление рабочей жидкости.

Каждый гидроцилиндр экспериментальной установки имеет по две гидролинии. В гидроцилиндр с теплообменной рубашкой присоединялось два трубопровода для охлаждающей жидкости, которая подавалась через насос из бака охлаждающей жидкости. До включения насоса и начала циркуляции охлаждающей жидкости по цилиндру, охлаждающая жидкость нагревалась до температуры +40 °С, для имитации прогретого

двигателя внутреннего сгорания машины. После включения насоса, подающего охлаждающую жидкость к цилиндру, включался секундомер для замера времени прогрева гидроцилиндра и его ramпы. Первые 10 минут результаты фиксировались через каждые 10 секунд, в последующее время через каждые 20 секунд. Эксперимент проводился до прогрева гидроцилиндра до 0 °С. Для сравнения результатов эффективности теплообменной рубашки одновременно также прогревался контрольный цилиндр без каких-либо конструктивных изменений.

Для циркуляции охлаждающей жидкости использовался самовсасывающий центробежный насос NIPER1 350M, оснащенный фильтром. Электродвигатель: асинхронный, двухполюсный. Степень защиты от физического воздействия – IP55. Класс изоляции – F, предназначен для длительной непрерывной работы. Однофазная модель оснащена встроенной тепловой защитой.

Для гидроцилиндра с электрическим прогревом использовался нагревательный кабель 95ВТХ. В качестве теплоизоляции – базальтовое волокно с фольгированной оболочкой и фольгированный скотч на основе стекловолокна для фиксации нагревательного кабеля на цилиндре и предотвращения потерь тепла в виде инфракрасного излучения кабеля в целях лучшего прогрева стенок гидроцилиндра и экономии электроэнергии. Нагревательный кабель, в процессе подготовки гидроцилиндра к эксперименту, был намотан вокруг гидроцилиндра виток к витку.

В гидроцилиндре с обводом принцип работы основан на замене рабочей жидкости в гидроцилиндре. Для этого на гидроцилиндр дополнительно установлен трубопровод с вентилем.

Показателями оценки качества тепловой подготовки гидропривода являются время прогрева и количество затраченной энергии. При этом необходимо учитывать затраты на модернизацию и обслуживание гидропривода.

Эффективность средств тепловой подготовки зависит от характеристик гидропривода СДМ (массы и количества элементов) и условий эксплуатации, хранения техники.

### **Список литературы**

1. Конев В.В., Карнаухов Н.Н., Гуляев Б.А., Бородин Д.М., Карнаухов М.М., Половников Е.В. Математическое моделирование тепловых процессов локального прогрева гидродвигателя // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 5. – Режим доступа: <http://www.science-education.ru/119-15076>.

2. Конев В.В., Созонов С.В., Бородин Д.М., Райшев Д.В., Карнаухов М.М. МЕТОДИКА Расчета электропрогрева гидродвигателей // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 6; URL: <http://www.science-education.ru/120-15595>.
3. Мерданов Ш.М. и др. Исследование и разработка системы тепловой подготовки гидропривода строительного-дорожных машин [Текст] / Ш.М. Мерданов, Ю.Я. Якубовский, В.В. Конев, М.М. Карнаухов //Строительные и дорожные машины. – 2013. – № 1. – С. 27-29.
4. Мерданов Ш.М. Научные основы создания комплексов машин для строительства временных зимних дорог в районах Севера и Сибири: дисс. ... д-ра техн. наук / Тюменский гос. нефтегазовый ун-т. – Тюмень, 2010.
5. Чайников Д.А. Оценка эксплуатации: суровость и норма // Мир транспорта. – 2009. – Т. 27. – № 3. – С. 66-70.
6. Пат. 94649 Рос. Федерация : МПК F15B 21/04. Гидродвигатель [Текст] / В.В. Конев, С.В. Куруч; заявитель и патентообладатель ТюмГНГУ. – № 2008140577/22; заявл. 13.10.2008; опубл. 27.05.2010, Бюл. № 15.
7. Пат. 2351810 Рос. Федерация, МПК F15B 21/04. Гидроцилиндр [Текст] / В.В. Конев, Д.В. Райшев, С.В. Куруч; заявитель и патентообладатель ТюмГНГУ. – № 2007142644/06; заявл. 19.11.2007; опубл. 10.04.2009, Бюл. № 10.
8. Пат. 2258153 Рос. Федерация, МПК F02N 17/06. Система предпусковой тепловой подготовки ДВС и гидропривода [Текст] / Н.Н. Карнаухов, В.В. Конев, А.А. Разуваев, Ю.В. Юринов; заявитель и патентообладатель ТюмГНГУ. – № 2004104477/06; заявл. 16.02.2004; опубл. 10.08.2005, Бюл. № 22.
9. Захаров Н.С. Программа «REGRESS». Руководство пользователя. – Тюмень, 1999. – 68 с.
10. Мерданов Ш.М., Спиричев М.Ю., Шаруха А.В., Егоров А.Л. Технология строительства снежоледовых дорог // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 5. – С. 112.

**Рецензенты:**

Захаров Н.С., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Сервис автомобилей и технологических машин» ФГБОУ ВПО «Тюменский государственный нефтегазовый университет», академик Академии транспорта, г. Тюмень;

Якубовский Ю.Е., д.т.н., профессор, зав. кафедрой «Прикладная механика» ФГБОУ ВПО «Тюменский государственный нефтегазовый университет», г. Тюмень.