

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Лысьвенский филиал федерального государственного автономного
образовательного учреждения высшего образования
**«Пермский национальный исследовательский политехнический
университет»**

Факультет: Профессионального образования

Направление: 23.03.03 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов»

Профиль: Эксплуатация наземных транспортных, технологических и беспилотных машин

Кафедра: Общенаучных дисциплин

Допускается к защите
и.о. зав. кафедрой ОНД
_____ К.В. Кондратьева
«___» _____ 2026 г.

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

на тему:

«Разработка демонстрационного стенда по изучению рабочих процессов гидравлической системы автотракторной техники»

Студент: _____ Д.В. Постановов
(подпись, дата)

Группа: ЭТМ-21-1бзЛФ

Состав ВКР:

1. Пояснительная записка на _____ стр.
2. Графическая часть на _____ листах.
3. Электронный носитель с материалами ВКР.

Руководитель: _____ старший преподаватель А.В. Лепихин
(подпись, дата)

Проверено

на наличие

заимствования: _____ канд. экон. наук, доцент, К.В. Кондратьева
(подпись, дата)

Лысьва 2026

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ СИСТЕМ АВТОТРАКТОРНОЙ ТЕХНИКИ	7
1.1. Назначение и устройство гидравлических систем автотракторной техники	7
1.2. Основные рабочие процессы и элементы гидросистем	8
1.3. Современные методы и средства обучения принципам работы гидросистем	14
1.4. Анализ существующих демонстрационных стендов и их недостатков ...	16
2. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ДЕМОНСТРАЦИОННОГО СТЕНДА	17
2.1. Техническое задание на разработку стенда	17
2.2. Выбор и обоснование конструктивных элементов стенда.....	17
2.3 Разработка принципиальной гидравлической схемы демонстрационного стенда	18
2.4. Расчёт основных параметров гидросистемы стенда	21
2.4.1 Давление и развиваемое усилие на цилиндр	21
2.4.2 Расход и скорость поршня	22
2.4.3 Выбор двигателя по мощности	22
2.4.4 Тепловой расчёт и обоснование защитной схемы	22
3.ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ	24
3.1 Описание технологий изготовления и заборки элементов	24
3.2. Выбор материалов и комплектующих	25
3.2.1. Основные материалы.....	25
3.2.2. Комплектующие (покупные изделия)	26
3.3. Организация рабочего места и техника безопасности при работе со стендом	26
3.3.1. Организация рабочего места при изготовлении и сборке	26
3.3.2. Нормативные требования безопасности при изготовлении и сборке ...	29

3.3.3. Требования безопасности при эксплуатации стенда (для пользователя)	30
4 МЕТОДИКА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДЕМОНСТРАЦИОННОГО СТЕНДА В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ	33
4.1. Описание последовательности проведения учебных занятий с использованием стенда	33
4.1.1. Общие положения	33
4.1.2. Этапы подготовки и проведения занятия	34
4.1.3. Алгоритм визуализации функционирования стенда	35
Шаг 1. Подготовка стенда	35
4.1.4. Рекомендации для преподавателя	36
4.2. Примеры практических заданий для студентов	36
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	37
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	39
ПРИЛОЖЕНИЕ А	45
ПРИЛОЖЕНИЕ Б	49
ПРИЛОЖЕНИЕ В	52
ПРИЛОЖЕНИЕ Г	54
ПРИЛОЖЕНИЕ Д	55

ВВЕДЕНИЕ

Современный этап развития транспортно-технологического комплекса Российской Федерации характеризуется интенсивным насыщением автотракторной техники сложными гидравлическими системами, которые непосредственно влияют на эффективность выполнения рабочих операций, безопасность движения и топливную экономичность. От качества подготовки специалистов в области эксплуатации и обслуживания таких систем напрямую зависит производительность машин в строительстве, сельском и лесном хозяйстве, а также на промышленных предприятиях. В рамках укрупненной группы специальностей 23.00.00 «Техника и технологии наземного транспорта» особое внимание уделяется формированию у обучающихся не только теоретических знаний, но и устойчивых практических навыков диагностирования неисправностей и понимания физики рабочих процессов гидравлического оборудования.

Актуальность темы исследования обусловлена противоречием между возрастающей сложностью гидросистем современной автотракторной техники (применение насосов с регулируемым рабочим объемом, пропорциональных распределителей, электронно-управляемых клапанов) и ограниченными возможностями традиционных аудиторных средств обучения. Штатное оборудование учебных мастерских часто не позволяет в реальном времени демонстрировать внутренние процессы гидравлики — изменение давления, направления потоков жидкости, работу предохранительных клапанов в динамике. Промышленные лабораторные стенды либо имеют высокую стоимость, либо не адаптированы под конкретные образовательные программы среднего профессионального и высшего образования. В связи с этим разработка специализированного демонстрационного стенда становится не просто методическим решением, а насущной необходимостью для повышения качества подготовки техников и инженеров по направлению «Транспортные средства специального назначения».

Объектом исследования является процесс изучения рабочих процессов гидравлических систем автотракторной техники в условиях учебной лаборатории.

Предмет исследования – конструктивные, гидравлические и методические решения, реализованные в демонстрационном стенде для визуализации работы насосов, распределителей, гидроцилиндров и вспомогательных элементов.

Цель выпускной квалификационной работы – разработать, обосновать и представить проект демонстрационного стенда, позволяющего наглядно изучать рабочие процессы гидросистем автотракторной техники, а также методику его применения при подготовке специалистов транспортной отрасли.

Для достижения поставленной цели в работе решаются следующие задачи:

1. Проанализировать современное состояние гидравлического оборудования автотракторной техники и выявить типовые рабочие процессы, требующие обязательной демонстрации.

2. Изучить существующие учебные стенды и определить их конструктивные недостатки с точки зрения информативности и эксплуатационной надежности.

3. Разработать техническое задание на проектирование стенда, обосновать выбор гидравлических элементов (насосная станция, гидрораспределитель, гидроцилиндр двухстороннего действия, предохранительный и дросселирующий клапаны, измерительные приборы).

4. Выполнить гидравлический расчет основных параметров (давление, расход, мощность привода) и разработать принципиальную гидравлическую схему.

5. Описать технологию изготовления стенда с учетом требований электробезопасности и охраны труда при работе с гидравлическим оборудованием.

6. Предложить методику проведения лабораторно-практических занятий с использованием стенда и оценить повышение усвоения материала.

Необходимость разработки данной темы продиктована также обновлением федеральных государственных образовательных стандартов по укрупненной группе 23.00.00, где усиливается практико-ориентированная составляющая. Существующие на рынке решения либо не позволяют моделировать неисправности, либо имеют закрытую конструкцию, исключаящую прямой доступ к элементам гидросхемы. Предлагаемый стенд, в отличие от аналогов, выполняется на базе доступных отечественных комплектующих и предполагает возможность модификации под конкретные типы гидроаппаратуры, что соответствует стратегии импортозамещения в учебном оборудовании.

Практическая значимость состоит в том, что разработанная конструкторская и методическая документация может быть использована в учебных лабораториях колледжей, техникумов и вузов, осуществляющих подготовку по специальностям «Техническое обслуживание и ремонт автотранспортных средств», «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов». Стенд позволяет не только наблюдать за работой гидроаппаратуры, но и проводить измерения параметров, моделировать утечки, засорение фильтров, что формирует у студентов компетенции по реальной диагностике.

Данная работа увязана с общими научно-техническими задачами развития транспортного комплекса РФ, поскольку повышение качества подготовки кадров напрямую влияет на снижение аварийности, уменьшение простоев дорожно-строительной и сельскохозяйственной техники, а также на реализацию Транспортной стратегии Российской Федерации до 2030 года в части кадрового обеспечения.

1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ СИСТЕМ АВТОТРАКТОРНОЙ ТЕХНИКИ

1.1. Назначение и устройство гидравлических систем автотракторной техники

Гидропривод автотракторной техники используется в качестве связующего звена между энергетической установкой и исполнительными устройствами, обеспечивая силовое замыкание и координацию перемещений навесного инструментария. Диапазон реализуемых функций охватывает вертикальное и горизонтальное перемещение, вращение в горизонтальной плоскости и фиксацию рабочих органов в заданном положении, что составляет базу для выполнения широкого перечня технологических приемов в поле и на стройплощадке.

Конструктивной особенностью гидросистем является способность реализовывать высокие значения крутящего момента и осевых усилий в ограниченном конструктивном объеме. Возможность стабильно удерживать давление в пределах нескольких сотен атмосфер позволяет компактным гидроцилиндрам и моторам уверенно работать с инерционными массами (культиваторы, зерноуборочные адаптеры, грунтозаборные ковши), сохраняя маневренность самой машины.

Бесступенчатость управления скоростными режимами гарантирует отсутствие скачкообразных изменений в траектории движения агрегатов. Подобная характеристика критична для длительных циклов вспашки или профилирования дорожного полотна, где равномерность хода напрямую диктует качество результата. Кроме того, деликатное управление усилием незаменимо при работе с ранимыми материалами, где превышение порогового давления чревато нарушением целостности объекта.

Гибкость в настройке рабочих параметров открывает возможность адаптации машины к конкретным условиям эксплуатации без смены оснастки. Регулируемый поток рабочей жидкости позволяет оператору

выбирать оптимальный скоростной режим для каждой задачи, расширяя технологический потенциал единицы техники. Изложенные характеристики свидетельствуют о ключевой роли гидравлики в обеспечении функциональности автотракторного парка, что логически подводит к необходимости изучения её типологических разновидностей с точки зрения конструктивной реализации и алгоритмов управления.

1.2. Основные рабочие процессы и элементы гидросистем

Гидравлические системы автотракторной техники состоят из нескольких основных компонентов, каждый из которых выполняет строго определённую функцию в процессе преобразования и передачи энергии рабочей жидкости. Ключевыми элементами являются гидронасосы, распределители и гидроцилиндры, составляющие основу системы управления и силового привода.

Гидронасосы служат источником подачи рабочей жидкости под необходимым давлением. В автотракторной технике чаще всего применяются шестерёнчатые, плунжерные и лопастные насосы.

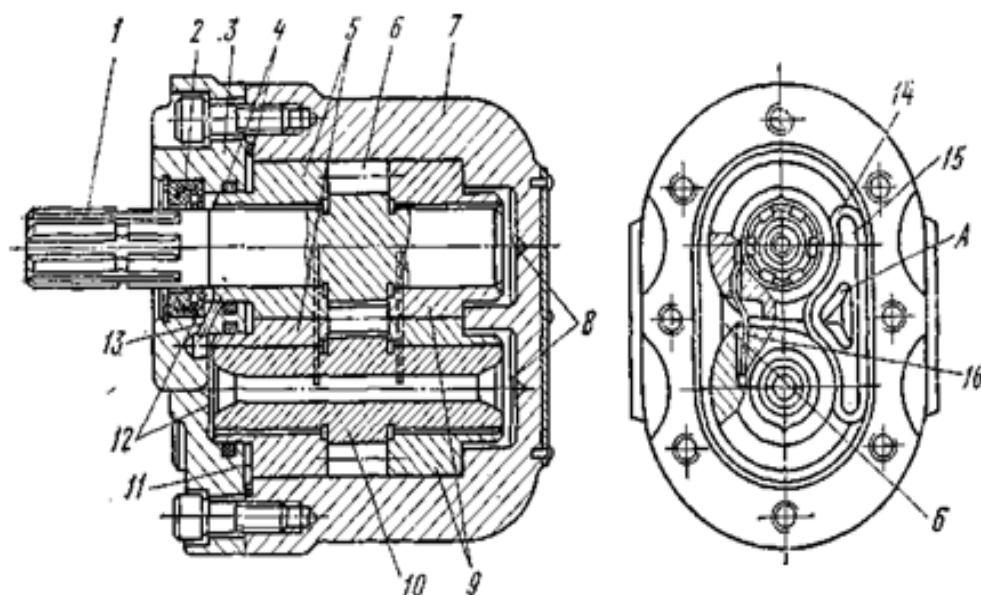


Рисунок 1 – Масляный шестерёнчатый насос:

1 – ведущий вал; 2 – уплотнение; 3 – крышка; 4, 14 – кольца; 5,9 – втулки; 6,10 – ведущая и ведомая шестерни соответственно; 7 – корпус; 8,12 – задняя и передняя камеры утечек соответственно; 11 – камера гидравлического поджатия втулок; 13 – соединительное отверстие; 15 – фигурная пластина; 16 – пружина

По типу рабочего органа гидронасосы делятся на шестерённые, плунжерные и лопастные. Первые (рисунок 1) примечательны конструктивной простотой и устойчивостью к загрязнению рабочей среды, что ограничивает их применение задачами, не требующими высокой стабильности подачи. Вторые — плунжерные — демонстрируют максимальную удельную мощность и функциональную гибкость: наличие регулируемых упоров позволяет изменять производительность в широких пределах и получать любые промежуточные значения усилия на выходе. Третий тип — лопастные установки — представляет собой золотую середину, обеспечивая приемлемую для большинства промышленных применений производительность при меньших, чем у плунжерных, габаритах и массе.

Важной опцией насосных агрегатов является автоматический регулятор расхода, поддерживающий давление в заданном диапазоне вне зависимости от колебаний нагрузки, что расширяет область применения гидросистем в условиях переменных режимов эксплуатации. Функцию адресного направления потока выполняют гидрораспределители (рисунок 2), реализованные преимущественно по золотниковой или кулачковой схеме. Выбор конкретного типа распределительного элемента определяется требуемой динамикой и степенью дискретности переключения гидролиний.

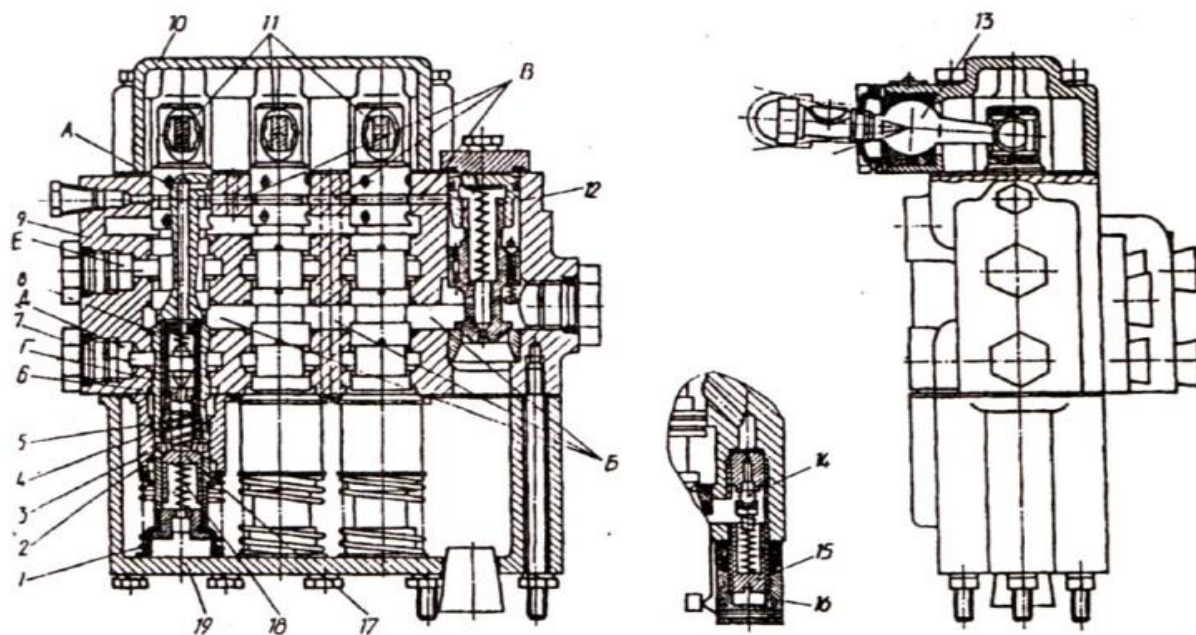


Рисунок 2 – Распределитель Р-80-3/4-222:

1 – пружина золотника; 2 – обойма фиксатора; 3 – шарик; 4 – бустер; 5 – гильза; 6 – гнездо клапана; 7 – клапан; 8 – пружина клапана; 9 – корпус; 10 – нижняя крышка; 11 – золотник; 12 – перепускной клапан; 13 – сферическая опора; 14 – предохранительный клапан; 15 – регулировочный винт; 16 – колпачок; 17 – фиксатор; 18 – пружина фиксатора; 19 – верхняя крышка; А, Б и В – масляные каналы; Д и Е – масляные полости

Золотниковые распределители представляют собой золотник в цилиндрическом корпусе, который при перемещении открывает или закрывает определённые каналы, направляя поток в требуемом направлении. Кулачковые распределители обеспечивают переключение путей жидкости с помощью кулачка, вращающегося по определённой программе. Современные тракторные гидросистемы всё чаще используют электроуправляемые распределители, что повышает точность и удобство управления. Распределитель регулирует как направление движения исполнительных органов, так и скорость перемещения, влияя на плавность и точность выполняемых операций.

Гидроцилиндр – это самый простой образец двигателя. Выходное (подвижное) звено, которым может быть шток, плунжер или же сам корпус цилиндра, осуществляет возвратно-поступательное движение.

Основные параметры, которыми характеризуют все гидроцилиндры – это внутренний диаметр, ход поршня, диаметр штока и номинальное давление рабочей жидкости. Гидроцилиндры бывают нескольких видов: поршневые, телескопические, плунжерные, двустороннего и одностороннего действия. По типу закрепления гидроцилиндры делятся на модели с шарнирным креплением и жестким.

Гидроцилиндр одностороннего действия совершает усилие на подвижном звене, которое направлено только в одну сторону (рабочий ход цилиндра). В противоположном направлении подвижное звено просто перемещается обратно под действием силы тяжести или возвратного механизма, например, пружины. У этих цилиндров есть лишь одна рабочая плоскость.

У гидроцилиндров двустороннего действия (рисунок 3) возможностей несколько больше. У них две рабочих плоскости, то есть рабочие усилия на выходном звене они могут создавать в двух направлениях. Чтобы обеспечить возвратно-поступательное движение жидкость поочередно поступает под давлением в полости цилиндра. Когда одна из полостей наполняется жидкостью, другая соединяется со сливом. У гидроцилиндра две полости: штоковая полость, в которой располагается шток, и поршневая.

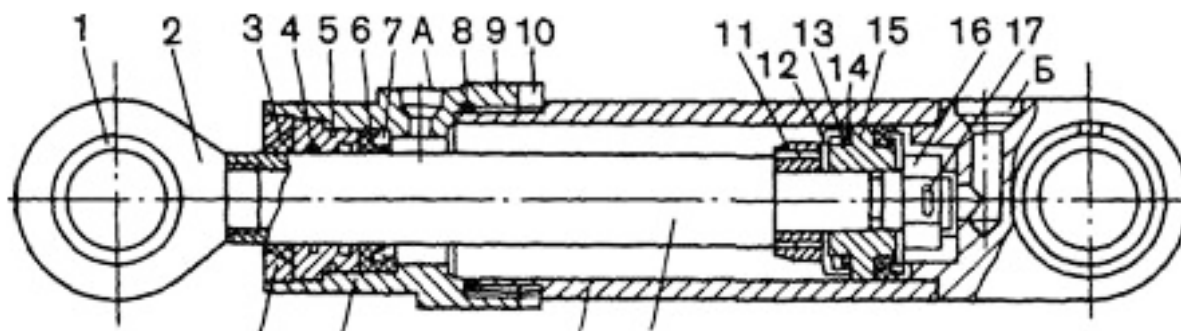


Рисунок 3 – Гидравлический цилиндр двустороннего действия:

1 – сферический подшипник; 2 – проушины штока; 3 – грязесъемник; 4, 5, 8, 13 – уплотнительные кольца; 6, 14 – манжеты; 7, 12 – манжетодержатель; 9 – передняя крышка; 10 – контргайка; 11 – демпфер; 15 – поршень; 16 – гайка; 17 – шплинт; 18 – шток; 19 – гильза цилиндра с задней крышкой; 20 – втулки; 21 – гайки грязесъемника

Конструктивно гидроцилиндр состоит из цилиндрической трубы, поршня с уплотнениями и штока, передающего усилие на наружный механизм. В автотракторной технике применяют одностороннего и двустороннего действия цилиндры. Одностороннего действия гидроцилиндры перемещают шток за счёт давления жидкости в рабочей полости, а возврат осуществляется под действием пружины или нагрузки. Двустороннего действия цилиндры используют давление для перемещения штока в обоих направлениях, что обеспечивает более точный контроль положения и усилия. Особое внимание уделяется герметичности уплотнений и устойчивости к загрязнениям, так как эксплуатация происходит в агрессивных условиях.

Современный рулевой насос дозатор (рисунок 4) является составной частью рулевого управления трактора.

Механизм включает гидрораспределитель, героторный дозирующий узел и клапаны: по два противоударных, антикавитационных и обратных, а также один предохранительный.

Гидрораспределитель состоит из гильзы и золотника, которые соединяются между собой с помощью штифта и центрирующих пружин.

Золотник имеет хвостовик, предназначенный для крепления к валу рулевой колонки и непосредственно к рулевому колесу. В гильзе зафиксирован штифт, а отверстие золотника превышает диаметр штифта. Это дает возможность последнему поворачиваться в отношении гильзы.

В состав героторного дозирующего узла входят:

- Статор, закрепленный на корпусе;

- Ротор, связанный через кардан с золотником;
- Гильза.

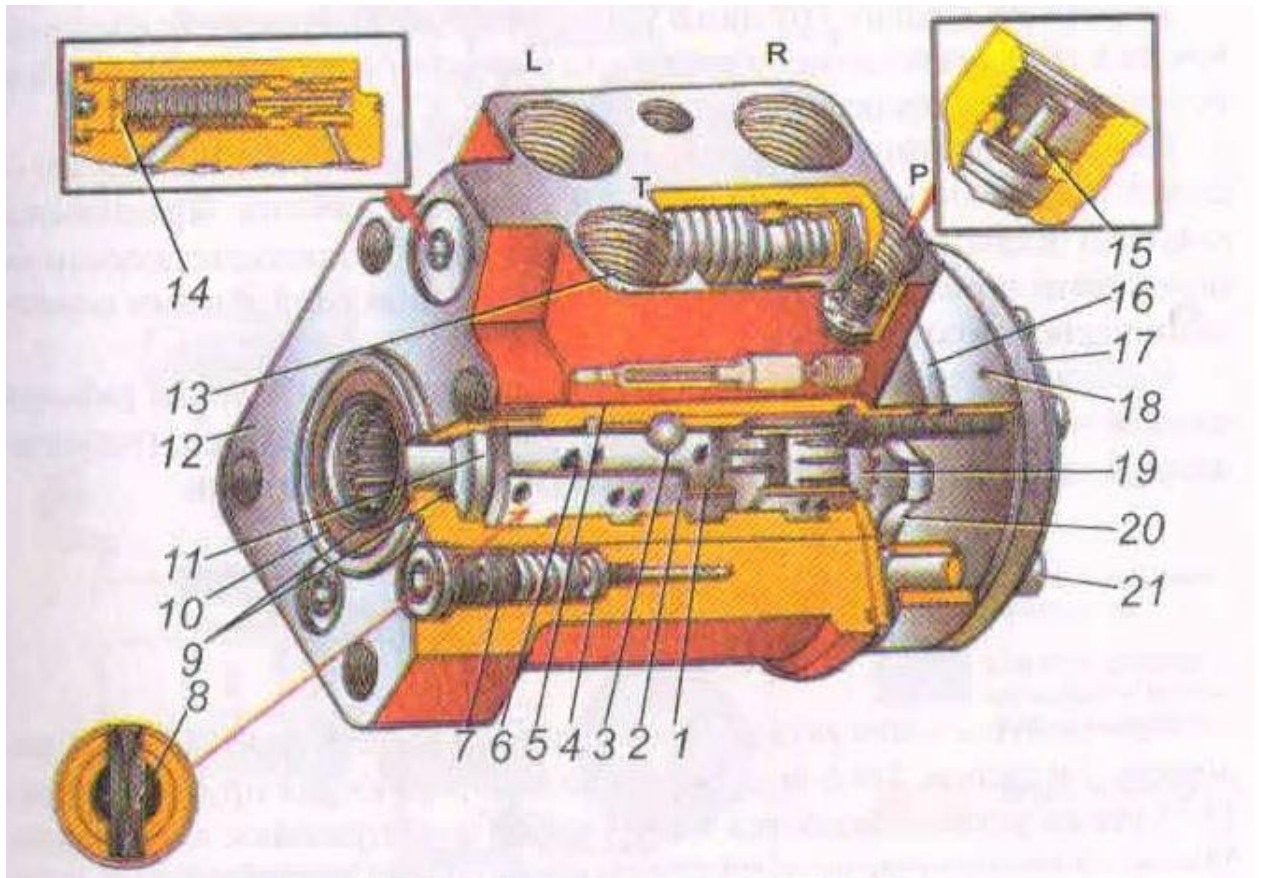


Рисунок 4 – Насос-дозатор рулевого управления трактора «БЕЛАРУС-1221/1523/2022»:

1 – золотник гидрораспределителя; 2 – гильза гидрораспределителя; 3 – обратный клапан; 4 – противоударный клапан; 5 – антикавитационный клапан; 6 – штифт; 7 – регулировочный винт; 8 – центрирующие пружины; 9 – уплотнение золотника; 10 – грязесъемник; 11 – упорный подшипник; 12 – корпус насос-дозатора; 13 – предохранительный клапан; 14 – регулировочный винт; 15 – обратный клапан; 16 – распределительный диск; 17 – крышка; 18 – статор дозирующего узла; 19 – карданный вал; 20 – ротор дозирующего узла; 21 – крепежный винт; Т – сливная магистраль; Р – нагнетательная магистраль; L – магистраль левого поворота; R – магистраль правого поворота

Во время поворота руля зубья ротора проходят по выступам и впадинам на статоре. Предохранительный клапан на рулевом насосе дозаторе МТЗ 82 предназначен для ограничения уровня рабочего давления внутри гидросистемы. Его величина не должна превышать 175-195 кгс/см² квадратных, отрегулировать давление можно винтом.

Противоударные клапаны используются для ограничения давления в гидроцилиндрах в пределах 220-240 кгс/см² (квадратных). Это позволяет сгладить ударные нагрузки в случае наезда на препятствие. Давление здесь также регулируют с помощью винта. После срабатывания противоударного клапана в полость гидроцилиндра всасывается масло.

Этот процесс обеспечивают антикавитационные клапаны, необходимые для предотвращения образования кавитации и вакуума в гидроцилиндре, а также в рулевом насосе дозаторе МТЗ 82. За счет работы обратного клапана ручного управления масло всасывается в нагнетательную магистраль. Это происходит в ручном режиме работы механизма.

В золотнике насоса есть канал, а снаружи имеются отверстия, через которые рабочая жидкость направляется на слив. Продольные канавки детали соединены с полостями дозирующего героторного узла, а также цилиндрическими полостями в насосе дозаторе МТЗ 82 рулевого управления.

Отверстия есть и в стенках гильзы. Элементы нужны для распределения жидкости в полостях дозирующего узла и гидроцилиндра поворотного механизма, а также направления масла для слива.

1.3. Современные методы и средства обучения принципам работы гидросистем

Модернизация гидравлического оснащения автотракторной техники концентрируется вокруг двух стратегических целей: энергоэффективности и глубины автоматизации. Происходит поэтапная замена пассивных гидроагрегатов на активно-адаптивные системы с обратными связями по

нагрузке. Установка прецизионных датчиков (пьезо-резистивных манометров, вихревых расходомеров, инкрементальных энкодеров положения) с их интегрированием в контур управления позволяет реализовать замкнутый цикл регулирования, сокращая нерациональный сброс масла через предохранительную аппаратуру и повышая быстродействие.

Технология рекуперации становится стандартным элементом перспективных гидросхем. Аккумулирование энергии, высвобождаемой при опускании навесных орудий или торможении вращающихся масс, реализуется через гидропневмо-аккумуляторы или генераторные модули. Возвратная энергия используется для частичной компенсации потребляемой насосами мощности, что обеспечивает реальное снижение расхода дизельного топлива в тяжёлых циклах (погрузка, бульдозерные работы). Сопряжение гидравлических линий с сервоприводами и литий-ионными батареями формирует техническую базу для полностью электрифицированных гидросистем с нулевыми выбросами на рабочем месте.

Конструкционные материалы подвергаются глубокой оптимизации. Замена традиционных сталей на высокоэнтропийные сплавы и углепластики даёт снижение инерционных масс роторных групп и штоков цилиндров. Применение аддитивных установок для выращивания корпусных деталей с развитой внутренней полостью позволяет улучшить гидравлическое сопротивление каналов и одновременно уменьшить толщину стенок. Лазерное легирование рабочих поверхностей и нанесение износостойких керамических покрытий кратно увеличивают межремонтный период в условиях запылённой и абразивной атмосферы.

В области алгоритмического обеспечения происходит переход от детерминированных программ к самообучающимся моделям. Нейросетевые классификаторы по вибро-акустическому спектру и изменениям давления идентифицируют предаварийные состояния, корректируют параметры в

реальном времени и выдают рекомендации по сервисному вмешательству. Многофакторная оптимизация учитывает температуру окружающей среды, текущую загрузку двигателя и специфику выполняемой операции, обеспечивая наилучшее сочетание производительности и экономичности.

Совокупность отмеченных направлений позволяет утверждать, что гидросистемы будущего — это интеллектуально-материальные комплексы, в которых каждый компонент проходит цифровую доводку. Они не только обеспечивают требуемые силовые параметры, но и встраиваются в общую архитектуру «умной» машины, формируя новую техническую реальность для аграрного и строительного секторов.

1.4. Анализ существующих демонстрационных стендов и их недостатков

Перед тем как приступить к проектированию, необходимо провести анализ уже существующих решений и выделить их плюсы и минусы. В данном разделе мы рассмотрим уже разработанные стенды, которые используют для исследования гидродинамических систем. Краткий обзор существующих учебных лабораторных стендов по гидравлическим системам автомобильной и тракторной техники представлен в таблице А.1.

Как видно из результатов анализа существующих стендов, у них имеются существенные недостатки, что еще раз подтверждает необходимость разработки собственной концептуальной модели универсального лабораторного учебного стенда по гидравлическим системам автомобильной и тракторной техники.

2. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ДЕМОНСТРАЦИОННОГО СТЕНДА

2.1. Техническое задание на разработку стенда

Разработка технического задания для учебного гидравлического стенда выполняет роль связующего моста между дидактической задумкой и конкретным воплощением в металле, переводя общее пожелание «сделать понятно и наглядно» в жёстко регламентированные цифры и характеристики, такие как предельное усилие в 10 МПа или производительность насоса до 15 л/мин. Этот документ является главным арбитром при сдаче-приёмке работ, так как именно его пункты служат эталоном для проверки каждого узла — от точности замеров манометров до выдержки теплового режима в течение двух часов, — а значит, он исключает риск получить оборудование, не соответствующее заявленным ожиданиям. Более того, ТЗ выступает правовой гарантией для обеих сторон, поскольку заранее прописанные позиции по комплектации и системе безопасности предотвращают необоснованные требования «улучшить» изделие уже после подписания акта или, напротив, попытки сэкономить на критически важных элементах вроде защитных кожухов и клапанов с ручным дублированием. Наконец, грамотно составленное задание закладывает основу для беспроблемной эксплуатации: оно однозначно определяет марку расходной жидкости, допустимые климатические рамки и порядок обслуживания, что превращает стенд не в разовую лабораторную поделку, а в долговечный и предсказуемый инструмент образовательного процесса, где все риски сведены к минимуму ещё на стадии проектирования. Техническое задание на разработку демонстрационного стенда по изучению рабочих процессов гидравлической системы автотракторной техники представлено в приложении Б.

2.2. Выбор и обоснование конструктивных элементов стенда

В таблице 2 произведены подбор и обоснование конструктивных элементов разрабатываемого стенда.

Таблица 2 – Выбор конструктивных элементов

Элемент	Тип / Модель	Обоснование
Насос	Шестерённый НШ-32	Простота, надёжность, создаёт давление до 16 МПа, стабильный расход при вязкости масла, низкая чувствительность к загрязнениям.
Электродвигатель	АИР80В2 (1,5 кВт, 2800 об/мин)	Промышленная доступность, достаточная мощность для демонстрационных режимов, малый уровень шума.
Гидробак	Стальной, 10 л	Обеспечивает отстой, охлаждение и компенсацию утечек; габариты вписаны в стенд.
Гидроцилиндр	Цилиндр поршневой ø40/20 мм, ход 200 мм	Наглядное перемещение нагрузки, легко рассчитать усилие, стандартные уплотнения.
Распределитель	P40 (трёхпозиционный, четырёхлинейный)	Позволяет демонстрировать нейтраль, подъём/опускание штока; ручное или электромагнитное управление.
Манометры	МП-4 (0–16 МПа), класс 1,5	Достаточная точность для учебных целей, вибростойкие.
Насос дозатор	Д100-14.20-02	Наглядное перемещение нагрузки, легко рассчитать усилие, стандартные уплотнения

Конструкция панели: Сам каркас из металлического профиля предлагается выполнить в форме тумбы для удобства транспортировки и хранения с возможностью трансформации в полноценное рабочее место для проведения работ. Элементы стенда будут крепиться на резьбовых соединениях для удобства замены и обслуживания. Рабочее поле предлагается выполнить из фанеры, окрашенной защитным слоем краски. Для иллюстрации принципиальной гидравлической схемы и устройства стенда предлагается распечатать листы формата А4 и прикрепить их к рабочей поверхности.

2.3 Разработка принципиальной гидравлической схемы демонстрационного стенда

За основу гидравлической системы станда взяты гидросистемы упарвления навесным оборудованием и рулевого управления с насос-дозатором трактора МТЗ-80.

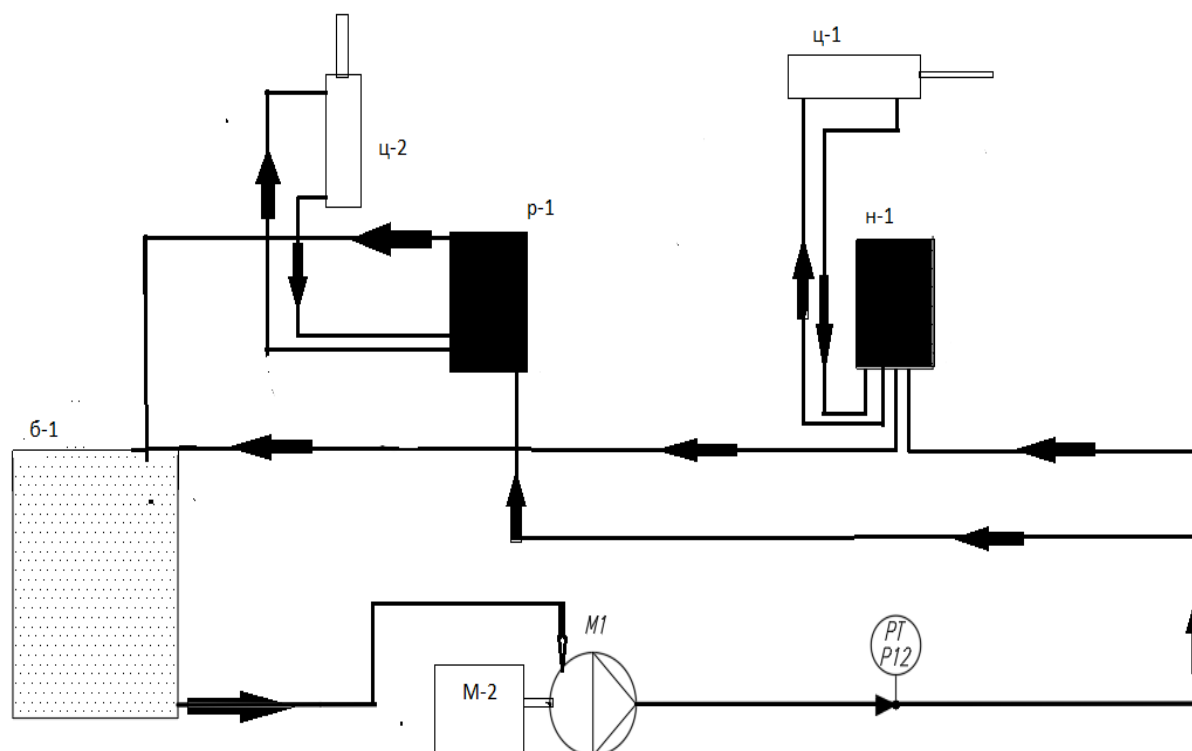


Рисунок 8 – Принципиальная гидравлическая схема станда:

б-1 – гидробак, м-2 – электродвигатель, м-1 – насос гидравлический, рт-р12 – манометр давления, н-1 – насос-дозатор, ц-1 – цилиндр рулевого управления, р-1 – распределитель, ц-2 – цилиндр подъема навесного оборудования

Рабочий процесс гидросистемы, основанной на насосе НШ 32, начинается с подачи масла из резервуара всасывания б-1 в зону ввода насоса. Насос представляет собой шестерённый агрегат внутреннего зацепления, где ведущая шестерня, вращаясь, приводит в движение ведомую, при этом за счёт образования замкнутых полостей между шестернями и корпусом масло захватывается в зоне всасывания и перемещается по направлению к нагнетательной зоне. Таким образом, жидкость срабатывает как носитель энергии, которую насос преобразует в давление и поток, необходимый для питания рабочих органов гидросистемы [8].

Вращательное движение шестерён заставляет масло последовательно заполнять объёмы между соседними зубьями и перемещаться вдоль серповидного канала корпуса, при этом зазор между вершинами зубьев и рабочей поверхностью остаётся минимальным, что создаёт надёжную запорную линию и блокирует обратные потоки. В реальной эксплуатации высокие контактные напряжения на плоскостях трения шестерён и компенсаторных шайб провоцируют образование концентрических микрорисок, аналогичный износ фиксируется и в подшипниковых узлах вал-втулка. Причиной данных дефектов служит не только адгезионно-усталостный механизм, но и абразивный износ, инициируемый загрязнением масла продуктами окисления и частицами износа. Среди конструктивных способов продления ресурса выделяют технологию восстановления посадочных мест втулок пластической деформацией с последующей установкой упругих компенсационных вставок — это увеличивает интервал между капитальными ремонтами в 2–2,5 раза. Для упрочнения корпусных деталей активно используют микродуговое оксидирование, которое значительно улучшает микроструктуру поверхности и повышает её устойчивость к кавитационному и абразивному воздействию [21][7].

Стабильная подача масла под требуемым давлением обеспечивает энергией все подключенные гидравлические линии, что позволяет управлять силовыми цилиндрами, роторными гидромоторами и вспомогательными сервомеханизмами. Блоки регулировочной и защитной аппаратуры, сопряжённые с насосом, оперативно реагируют на отклонения параметров, ограничивают пиковые давления, компенсируют колебания расхода и защищают гидрооборудование от перегрузочных режимов. Выполнение перечисленных функций достигается совместной работой обратных клапанов, регуляторов перепада и дозирующих устройств, которые непрерывно анализируют состояние системы и адаптируют её характеристики.

Таким образом, физическая суть работы гидросистемы состоит в преобразовании механической энергии вращения (на примере насоса НШ 32) в гидравлическую энергию сжатого масла, которая далее распределяется и регулируется совокупностью управляющих гидроаппаратов. Существенное внимание уделяется проблеме снижения интенсивности износа и продления жизненного цикла компонентов за счёт современных восстановительных операций и методов упрочнения поверхностного слоя, что является залогом стабильной работы стенда при проведении лабораторных экспериментов и диагностических мероприятий. В продолжение работы будут рассмотрены материалы, применяемые для изготовления корпуса насоса, их вклад в обеспечение конструктивной прочности и стойкости к разрушению в условиях реального эксплуатационного нагружения [21][7].

2.4. Расчёт основных параметров гидросистемы стенда

Выбор расчётных величин произведён на основе технического задания и конструктивных проработок, изложенных в разделе 2.2. Установлены следующие исходные параметры: максимальное давление на предохранительном клапане Давление настройки предохранительного клапана: $p_{\max} = 10 \text{ МПа}$ (рабочее $p_{\text{раб}} = 6 \text{ МПа}$);

- Расход насоса: $Q_{\text{ном}} = 15 \text{ л/мин} = 0,25 \times 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$
- КПД насоса: объёмный - $\eta_{\text{об}} = 0,85$, механический - $\eta_{\text{мех}} = 0,9$
- Площадь поршня гидроцилиндра: Для поршневой полости цилиндра диаметром $D = 40 \text{ мм}$ ($0,04 \text{ м}$) площадь сечения $A_{\text{порш}} = 4\pi \cdot D^2 = 0,001256 \text{ м}^2$

2.4.1 Давление и развиваемое усилие на цилиндр

Усилие, создаваемое на штоке при рабочем давлении, определяется по выражению:

$$F = p_{\text{раб}} * A_{\text{порш}} = 6 * 10^6 * 0,001256 = 7536 \text{ Н} (\approx 750 \text{ кгс}) \quad (1)$$

Полученного усилия вполне достаточно для визуального моделирования рабочего цикла перемещения груза в демонстрационном режиме.

2.4.2 Расход и скорость поршня

Скорость продвижения поршня при номинальной подаче:

$$u = \frac{Q_{ном}}{A_{порш}} = \frac{0,25 \cdot 10^{-3}}{0,0001256} \approx 0,199 \text{ м/с} (\approx 0,2 \frac{\text{м}}{\text{с}}) \quad (2)$$

Для хода поршня $L = 0,2$ м время перемещения составляет:

$$t = \frac{L}{u} = \frac{0,2}{0,2} = 1 \text{ с} \quad (3)$$

2.4.3 Выбор двигателя по мощности

Гидравлическая мощность, потребляемая системой:

$$N_{гидр} = p_{раб} * Q_{ном} = 6 * 10^6 * 0,25 * 10^{-3} = 1500 = 1,5 \text{ кВт} \quad (4)$$

Мощность на валу двигателя с учётом потерь в насосе:

$$N_{дв} = \frac{N_{гидр}}{n_{об} * n_{мех}} = \frac{1,5}{0,85 * 0,9} \approx 1,96 \text{ кВт} \quad (5)$$

Выбранный двигатель мощностью 1,5 кВт считается допустимым, поскольку в штатном режиме стенд функционирует при $Q = 10$ л/мин и $p = 4$ МПа. Пиковые нагрузки ($p = 6$ МПа, $Q = 15$ л/мин) являются кратковременными (менее 1 минуты) и не вызывают превышения допустимого нагрева обмоток.

2.4.4 Тепловой расчёт и обоснование защитной схемы

Интенсивность выделения тепла при срабатывании предохранительного клапана на предельных параметрах:

$$N_{тепл} = p_{мах} * Q_{ном} = 10 * 10^6 * 0,25 * 10^{-3} = 2,5 \text{ кВт} \quad (6)$$

Масляный бак ёмкостью 10 л имеет форму цилиндра с диаметром 0,3 м и высотой 0,4 м; его эффективная теплоотдающая поверхность $S = 0,5$ м². При естественной конвекции ($K = 15$ Вт/(м²·°C)) температура перегрева масла:

$$\Delta T = \frac{N_{тепл}}{k * S} = \frac{2500}{15 * 0,5} = 333 \text{ °C} \quad (7)$$

Очевидный перегрев требует принудительного обдува. При установке вентилятора ($K = 35$) тепловой напор снижается:

$$\Delta T = \frac{2500}{35 \cdot 0,5} \approx 143 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad (8)$$

Однако даже с вентилятором температурный режим остаётся недопустимым для длительной работы. Это приводит к жесткому эксплуатационному ограничению: непрерывная работа на предохранительном клапане запрещена. В соответствии с гидравлической схемой (п. 2.3) предусмотрена аварийная перепускная магистраль, через которую насос при перегрузках сбрасывает поток непосредственно в бак через переливной клапан.

Результаты расчетных параметров разрабатываемого стенда приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Итоговые расчётные параметры стенда

Параметр	Значение
Рабочее давление	6 МПа
Максимальное давление	10 МПа
Расход насоса	15 л/мин
Мощность привода	1.5 кВт (эл/дв)
Усилие на цилиндре	750 кгс
Скорость штока	0,2 м/с (без регулирования)
Рабочая жидкость	Масло И-20А, 15 л

3.ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

3.1 Описание технологий изготовления и сборки элементов

Формирование сборочного регламента базируется на шести основных требованиях, обеспечивающих высокий уровень технологичности изделия:

- распределение сборки на самостоятельные сборочные единицы (агрегатный метод);
- свободный порядок монтажа узлов относительно базовой платформы;
- открытость зон соединений для использования стандартного инструмента;
- конструктивная прозрачность, допускающая проведение контрольных операций;
- широкая взаимозаменяемость комплектующих за счёт унификации;
- исключение потребности в заказных монтажных приспособлениях [12].

Технологическая карта пооперационной сборки оформлена в виде таблицы Б.4.

В отношении гидравлической части установлены следующие исполнительные нормативы:

Очистка и подготовка — все компоненты гидролинии освобождаются от консервационных смазок, продуктов коррозии и инородных частиц путём мойки в специализированных растворах с последующей сушкой.

Сборка герметичных стыков — уплотнение резьбовых и фланцевых соединений производится с использованием фторопластовой ленты или полимерного герметика, отверждаемого в зазоре.

Дозированное усилие затяжки — моменты закручивания контролируются тарированным инструментом и должны соответствовать паспортным значениям конкретных типов штуцеров и фитингов.

Промывочный прогон — перед вводом в эксплуатацию выполняется прокачка системы рабочим маслом в течение 20 мин при открытом обратном сливе; цель операции — удаление технологических загрязнений, оставшихся после монтажа.

Испытание на плотность — выполняется опрессовка испытательным давлением 12 МПа (превышающим рабочее на 20 %), длительность выдержки 5 мин; критерием годности служит падение манометрического давления не более 2 % от начального.

Качественная реализация перечисленных этапов требует продуманной организации труда и неукоснительного соблюдения технологической дисциплины. Инженерный расчёт и практическая реализация должны дополнять друг друга на каждом шаге. Выполнение инструкций производителя компонентов рассматривается как обязательное условие достижения проектной надёжности. Важно также помнить, что безопасность является неотъемлемой составляющей как монтажных, так и последующих эксплуатационных процедур [9].

3.2. Выбор материалов и комплектующих

3.2.1. Основные материалы

Таблица 4 – Материалы для изготовления элементов стенда

Элемент	Материал	Обоснование выбора
Рама	Железный профиль профиль 20×20	Высокая жёсткость, лёгкость обработки, возможность быстрого монтажа/демонтажа панелей
Гидробак	Сталь 10,	Хорошая свариваемость, коррозионная стойкость в масле, низкая стоимость
Шланги рвд	Нитрил, сталь	Высокая прочность, устойчивость к давлению до 20 МПа
Рабочая панель, корпус	Фанера 12 мм	Лёгкость, достаточная жёсткость, удобство сверления и нарезания резьб

3.2.2. Комплектующие (покупные изделия)

Таблица 5 – Перечень покупных комплектующих

Наименование	Тип/модель	Производитель	Кол-во, шт	Цена, т.р.
Электродвигатель	АИР80В2 (1.5 кВт, 2800 об/мин)	РФ	1	5
Насос шестерённый	НШ-32	РФ	1	6
Распределитель	Р40 (3-поз., 4-лин.)	РФ	1	30
Манометр	МП-4 (0–16 МПа)	РФ	1	1
Гидроцилиндр	Ц40/20×200	РФ	2	8
Рукава высокого давления	РВД 8-18-16	РФ	7	7
Кнопки/тумблеры	ХБТ	РФ	2	500
Профиль 20х20		РФ	5	6
Масло	ВМГЗ	РФ	1	3

Общий вид концептуальной модели разрабатываемого стенда проиллюстрирован в приложении Г.

3.3. Организация рабочего места и техника безопасности при работе со стендом

3.3.1. Организация рабочего места при изготовлении и сборке

Построение эффективного и безопасного рабочего места сборщика гидравлических систем предполагает учёт комплекса факторов, влияющих на качество сборки и здоровье персонала. Основополагающие принципы такой организации перечислены ниже [8]:

1. **Защита персонала.** Все элементы рабочего пространства адаптируются под требования техники безопасности, включая обязательное использование сертифицированных средств индивидуальной защиты. В зоне проведения работ обязательно наличие медицинской аптечки, а члены бригады проходят обучение методам доврачебной помощи пострадавшим.

2. **Снижение физического напряжения.** Инструменты и узлы размещаются согласно принципам эргономики — с учётом траекторий

движений рук и корпуса, что позволяет сократить количество наклонов и поворотов. Высота верстаков подбирается индивидуально: рабочие поверхности должны находиться на уровне локтя согнутой руки [2].

3. Рациональная планировка пространства. Помещение структурируется на специализированные участки: приёмочный (для комплектации), сборочный, испытательный и складской. Все необходимые для текущей операции элементы располагаются в зоне досягаемости вытянутой руки, что минимизирует вспомогательные перемещения.

4. Соблюдение чистоты. Наведение порядка и систематическая уборка являются обязательными элементами регламента, поскольку загрязнённая поверхность повышает риск соскальзывания инструмента и потери мелких деталей [13]. Для складирования используются маркированные ящики, стеллажи и модульные системы хранения.

5. Качественное световое обеспечение. Уровень освещения должен позволять без труда различать цветовую маркировку уплотнительных колец, номера деталей и показания измерительных приборов. Рекомендуется комбинированная схема: общее освещение плюс локальные светильники над монтажным столом.

6. Беспрепятственный доступ к технической документации. Комплект рабочих чертежей, принципиальных схем, спецификаций и карт смазки предоставляется в виде, исключающем задержки при поиске информации — как на бумажных носителях, так и в электронном виде на планшете или ПК.

7. Развитие профессиональных навыков. Систематическое обучение, участие в семинарах и освоение новых технологий сборки позволяют механику не только сохранять, но и наращивать квалификационный уровень, соответствуя требованиям современного производства.

8. Эффективная внутрикомандная коммуникация. Организация информационного обмена между сборщиками, инженерами и ремонтными службами обеспечивает быстрое решение вопросов в случае отклонений от штатного процесса [16].

Таким образом, продуманная организация рабочего поста представляет собой единый системный проект, включающий технические, организационные и санитарно-гигиенические компоненты. Следование перечисленным правилам позволяет не только повысить производительность труда, но и значительно уменьшить число профессиональных травм, что особенно актуально при сборке гидравлической аппаратуры, работающей под высоким давлением.

Дополнительные нормативные показатели для помещения:

- рекомендованный температурный режим: +18...+22 °С;
- предельно допустимая влажность воздуха: 75 %.

Таблица 6 – Оснастка

Оснастка	Количество	Назначение
Верстак слесарный с тисками	1	Сборка узлов
Шкаф для инструмента	1	Хранение ключей, отвёрток
Стеллаж для деталей	2	Хранение комплектующих
Ёмкость для слива масла	1	Сбор отработанного масла
Аптечка	1	Первая помощь
Огнетушитель (ОУ-3)	1	Пожарная безопасность

Комплектация инструментом:

Для полноценного выполнения сборочных работ необходим следующий арсенал инструментальных средств:

- комбинированный набор накидных и торцевых головок с охватом размеров от 6 до 24 мм;
- набор шестигранных стержневых ключей для винтов с внутренним многогранником;
- динамометрический прибор для точного дозирования усилия при затяжке штуцеров и болтов;
- универсальные отвёртки обоих основных исполнений (крестовое и плоское);

- комбинированные клещи (пассатижи) и режущий инструмент (кусачки);
- устройство для гибки металлических труб диаметром 10 мм;
- пресс рычажного или гидравлического типа с усилием до 2 тонн;
- индикатор стрелочного типа (часовой) для проверки соосности валов и муфт;
- цифровой измерительный прибор для контроля параметров электроцепей.

3.3.2. Нормативные требования безопасности при изготовлении и сборке

Все сборочные работы должны выполняться в строгом соответствии с типовой межотраслевой инструкцией по технике безопасности для слесарей-гидравликов. Ниже обобщены основные разделы данной документации.

Общие положения по допуску персонала. К выполнению сборочных работ могут быть привлечены лица не младше восемнадцати лет, прошедшие обязательный предварительный медицинский осмотр и не имеющие противопоказаний к данному виду деятельности. Перед началом работы каждый специалист проходит вводный и первичный инструктажи по охране труда с фиксацией в журнале. Кроме того, работник должен иметь вторую группу по электробезопасности (с правом работы с электроинструментом и подключения оборудования). Запрещается выполнять работы в спецодежде, загрязнённой горюче-смазочными материалами, а также при незаправленных или свисающих рукавах, которые могут быть захвачены вращающимися частями.

Действия на подготовительном этапе. Перед началом любой операции механик обязан:

1. провести внешний осмотр рабочего места и убрать всё, что не относится к текущему заданию;

2. проверить техническое состояние используемого инструмента — особое внимание уделить целостности изолирующих рукояток и отсутствию трещин;

3. убедиться, что все вращающиеся элементы станда защищены съёмными или стационарными ограждениями согласно конструкторской документации [17].

Таблица 7 – Опасные факторы и меры безопасности

Операция	Опасные факторы	Меры безопасности
Запрессовка	Защемление пальцев	Использовать съёмники, направляющие; руки на безопасном расстоянии
Резка труб	Порез кромкой	Применять перчатки, очищать заусенцы
Затяжка резьб	Срыв ключа, удар	Использовать ключи по размеру; не применять удлинители
Монтаж РВД	Подскок шланга при опрессовке	Опрессовку проводить за защитным экраном
Электромонтаж	Поражение током	Обесточить щит; проверить отсутствие напряжения

Во время работы: Запрещается превышать установленное рабочее давление. При подтекании масла необходимо сбросить давление перед устранением. Масло, попавшее на кожу, немедленно смыть водой с мылом. Работа на станде допускается только при исправном предохранительном клапане.[20]

По окончании работы: Выключить электродвигатель, отключить питание. Сбросить давление в гидросистеме. Протереть оборудование, убрать инструмент. Сдать рабочее место преподавателю или мастеру по эксплуатации.

3.3.3. Требования безопасности при эксплуатации станда (для пользователя)

При работе студентов на демонстрационном станде соблюдаются

следующие правила:

1)Использование СИЗ: Работники должны быть обеспечены необходимыми средствами индивидуальной защиты, такими как: Защитные очки или лица (для защиты глаз и лица от разбрызгивания жидкости).

2)Перчатки (для защиты рук от агрессивных жидкостей и механических повреждений).

3)Спецодежда и обувь (для защиты от механических и химических воздействий). Безопасные процедуры работы Проверка оборудования:

4)Перед запуском стенда необходимо проверить все соединения, насосы, шланги и электрические компоненты на наличие повреждений и утечек.

5)Запуск и остановка: Воспользуйтесь только инструкциями и кнопками, предназначенными для запуска и остановки стенда. Не запускайте оборудование при наличии повреждений. Избегание перегрузок: Соблюдайте установленные пределы давления и расхода. Не превышайте эти параметры.

6)Поддержание порядка Чистота на рабочем месте: Регулярно поддерживайте порядок и чистоту на рабочем месте. Боковые проходы и рабочие зоны должны быть свободны от препятствий.

7)Устранение разливов: В случае разлива жидкости, немедленно очистите место происшествия, чтобы предотвратить скольжения и падения.

8)Знание аварийных маршрутов: Все пользователи должны знать, где находятся аварийные выходы и пути эвакуации.

9)Огнетушители и аварийные средства: Огнетушители и другие средства первой помощи должны быть в пределах досягаемости. Работники должны знать, как ими пользоваться.

10)Регулярное техническое обслуживание Плановое обслуживание: Стенд должен проходить регулярные проверки и техническое обслуживание в соответствии с рекомендациями производителя для защиты от возможных поломок.

11)Запись результатов: Все проверки и ремонты должны

документироваться.

12)Запрет на вмешательство в работу: Не пытайтесь ремонту или регулирование стенда во время его работы.

13)Запрет на использование несанкционированных средств: Не используйте несертифицированные компоненты или жидкости в системе.

14)Допуск к работе: Студент обязан пройти целевой инструктаж перед началом лабораторной работы. Работа выполняется под наблюдением преподавателя или лаборанта.

15)Запрещается: Находиться рядом со стендом в незащищённых очках. Открывать крышки и панели при включённом стенде. Касаться вращающихся частей (вал насоса, муфта).Направлять штуцер гидролинии на себя при сбросе давления.

16)Обязательно: Убедиться, что все защитные кожухи установлены. При резком повышении температуры или появлении постороннего шума немедленно выключить стенд из источника питания

17)При попадании масла в глаза: промыть большим количеством воды, обратиться к врачу.

Соблюдение требований безопасности при эксплуатации стенда является критически важным для предотвращения несчастных случаев и обеспечения эффективной работы. Все пользователи должны быть должным образом обучены и осведомлены о потенциальных рисках и способах их предотвращения.[10]

4 МЕТОДИКА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДЕМОНСТРАЦИОННОГО СТЕНДА В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ

4.1. Описание последовательности проведения учебных занятий с использованием стенда

4.1.1. Общие положения

Настоящий документ устанавливает правила эксплуатации и последовательность операций при работе с гидравлическим испытательным комплексом. Оборудование спроектировано для проведения проверочных мероприятий и тестовых нагрузок на гидроагрегаты и магистрали, а также служит инструментом для диагностики их работоспособности. Сфера внедрения комплекса охватывает три направления: проведение научно-исследовательских работ, обеспечение учебного процесса и решение производственных задач, что предполагает выполнение широкого спектра экспериментов и оценочных процедур, касающихся гидравлического оснащения.

Функционал лабораторного модуля, позволяющего наблюдать за протеканием рабочих циклов в гидросистемах колесной и гусеничной техники, востребован при изучении следующих образовательных курсов:

- «Гидравлика и пневмоприводы»;
- «Подвижной состав»;
- «Конструкция автомобиля»;
- «Конструкция транспортно-технологических машин»
- Учебная практика.

Вариативность педагогических подходов с задействованием данного стенда реализуется через три формата:

- Лекции с элементами демонстрации — визуализация физических процессов в гидравлике в режиме реального времени.

– Лабораторный практикум — самостоятельное снятие студентами рабочих параметров и графических зависимостей.

– Семинарские занятия в интерактивной форме — вычисление аналитических показателей с последующей эмпирической проверкой полученных результатов.

4.1.2. Этапы подготовки и проведения занятия

Таблица 8 – Структура учебного занятия с использованием стенда

Этап	Время (мин)	Содержание	Методические приёмы
1. Организационный	5	Проверка присутствующих, объявление темы и цели занятия	Беседа, постановка задачи
2. Актуализация знаний	10	Опрос по теоретическому материалу (устройство гидросистемы, основные параметры)	Фронтальный опрос, тестирование
3. Инструктаж по ТБ	5	Повторение правил работы со стендом, порядок включения/выключения	Инструктаж целевой
4. Демонстрация/эксперимент	30–40	Работа стенда в различных режимах, фиксация показаний	Наблюдение, измерение, запись
5. Обработка результатов	15–20	Расчёт параметров по полученным данным, построение графиков	Индивидуальная работа
6. Обсуждение и выводы	10	Анализ полученных результатов, сравнение с теорией	Беседа, дискуссия
7. Заключительный	5	Подведение итогов, выставление оценок, задание на дом	Обобщение

4.1.3. Алгоритм визуализации функционирования стенда

При организации как демонстрационного материала в ходе лекционных занятий, так и практических манипуляций в рамках лабораторного практикума, целесообразно придерживаться унифицированной схемы действий. Ниже представлен эталонный перечень операций, выстроенных в хронологическом порядке:

Шаг 1. Подготовка стенда

1. Проверка уровня масла в баке (по уровнемеру).
2. Осмотр соединительных рукавов и электрических кабелей.
3. Убедиться, что предохранительный клапан отрегулирован на давление 6–8 МПа.

Шаг 2. Запуск системы

1. Перевести распределитель в нейтральное положение.
2. Включить электродвигатель кнопкой «Пуск».
3. Проконтролировать показания манометра на выходе насоса.

Шаг 3. Демонстрация базовых режимов

Таблица 9 – демонстрация режимов

Режим	Положение распределителя	Действие	Наглядный эффект
Холостой режим	Нейтраль	Масло сливается в бак	Давление близко к 0
Выдвижение штока	Позиция «А»	Масло поступает в поршневую полость	Шток выдвигается, манометр Р_А показывает давление
Втягивание штока	Позиция «В»	Масло поступает в штоковую полость	Шток втягивается, манометр Р_В показывает давление
Регулирование скорости	Нейтраль + дроссель	Изменение проходного сечения	Скорость изменяется плавно
Перегрузка (срабатывание предохранительного клапана)	Любая рабочая позиция при запертом цилиндре	Перелив масла через клапан	Характерный звук, нагрев бака

Шаг 4. Остановка системы

1. Перевести распределитель в нейтраль.
2. Выключить электродвигатель кнопкой «Стоп».
3. Сбросить давление (при необходимости открыть сливной кран).

4.1.4. Рекомендации для преподавателя

Перед запуском стенда убедиться в исправности предохранительного клапана.

Не допускать работы стенда при полностью закрытом дросселе более 20 секунд (во избежание перегрева).

Использовать цветные схемы (наложенные на реальный стенд) для пояснения траектории движения жидкости.

Для малых групп (до 5 человек) организовывать поочередное управление стендом студентами.

4.2. Примеры практических заданий для студентов

Примеры лабораторных работ с использованием разработанного стенда приведены в приложении Д.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы полностью достигнута поставленная цель: спроектирован и обоснован демонстрационный стенд для изучения рабочих процессов гидравлических систем автотракторной техники, а также разработано методическое сопровождение его применения в учебном процессе.

В теоретической части проведён был проведен всесторонний анализ современного гидравлического оборудования автомобильной и тракторной техники. Рассмотрены устройство, назначение и типовые рабочие циклы гидросистем, идентифицированы ключевые элементы. Обзор существующих учебных лабораторных комплексов выявил их системные недостатки: высокая стоимость, закрытость конструкции, отсутствие возможности моделирования неисправностей, низкая дидактическая информативность. Полученные выводы подтвердили необходимость создания собственного стенда, адаптированного под конкретные образовательные задачи.

В конструкторско-технологическом разделе разработано техническое задание, обоснован выбор основных конструктивных элементов разрабатываемого стенда. Разработана принципиальная гидравлическая схема, выполнены гидравлические расчёты. Тепловой расчёт показал необходимость ограничения длительной работы на предохранительном клапане во избежание перегрева масла. Предусмотрено использование частотного преобразователя для плавного регулирования скорости гидроцилиндра, позволяющего демонстрировать влияние расхода на быстродействие механизма.

В технологической части описаны материалы и комплектующие, разработана маршрутная карта сборки, определены перечни инструмента и оснастки. Особое внимание уделено организации рабочего места механика-сборщика, требованиям безопасности при изготовлении, сборке и эксплуатации стенда.

В методической части предложена последовательность проведения учебных занятий, структура типового урока, рекомендации для преподавателя. Разработаны 2 лабораторных работы, охватывающих ключевые темы: изучение устройства гидросистемы; определение давления и усилия.

Практическая значимость работы состоит в том, что разработанная конструкторская и методическая документация может быть непосредственно использована в учебных лабораториях организаций, ведущих подготовку по специальностям «Техническое обслуживание и ремонт автотранспортных средств» и «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов». Стенд позволяет не только наблюдать за работой гидроаппаратуры, но и проводить измерения, моделировать неисправности, формируя у студентов компетенции в области реальной диагностики. Применение доступных отечественных комплектующих соответствует стратегии импортозамещения.

Все задачи решены в полном объёме, результаты соответствуют теме и заданию на ВКР. Проект универсален, масштабируем и может быть адаптирован под различные образовательные программы и бюджетные ограничения. Стенд рекомендуется к внедрению в учебный процесс технических специальностей СПО и вузов при изучении гидравлических систем. Для повышения эффективности использования необходим комплект методических материалов: рабочие тетради, видеоинструкции, тесты.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Аистов И.П., Свищев А.В. Анализ и оценка экспериментальных и теоретических исследований пульсации давления нагнетательной полости шестеренного насоса // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2016. – № 3 (51). – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-i-otsenka-eksperimentalnyh-i-teoreticheskikh-issledovaniy-pulsatsii-davleniya-nagnetatelnoy-polosti-shesterennogo-nasosa> (дата обращения: 10.06.2025).
2. Хайдарова А.Ф., Неклюдова П.А. Монтаж насосных агрегатов // Инновационная наука. – 2017. – № 2-1. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/montazh-nasosnyh-agregatov> (дата обращения: 19.12.2024).
3. Ткач В.В. Влияние вязкости рабочей жидкости на режим смазки гидравлических агрегатов строительных машин // Глобус: технические науки. – 2021. – № 3 (39). – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-vyazkosti-rabochey-zhidkosti-na-rezhim-smazki-gidravlicheskih-agregatov-stroitelnyh-mashin> (дата обращения: 07.02.2025).
4. Наумов В.А. Влияние плотности жидкости, перекачиваемой пищевым центробежным насосом, на рабочую точку // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2020. – № 5. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-plotnosti-zhidkosti-perekachivaemoy-pischevym-tsentrobezhnym-nasosom-na-rabochuyu-tochku> (дата обращения: 15.05.2025).
5. Трушин Н.Н., Чиликин А.А. Изменение рабочих свойств минеральных масел при температурном воздействии // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2016. – № 7-2. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/izmenenie-rabochih-svoystv-mineralnyh-masel-pri-temperaturnom-vozdeystvii> (дата обращения: 12.03.2025).

6. Веренич И.А., Тини М.А. Изменение свойств рабочей жидкости при нестационарных режимах работы гидропривода // Вестник Белорусско-Российского университета. – 2006. – № 3. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/izmenenie-svoystv-rabochey-zhidkosti-pri-nestatsionarnyh-rezhimah-raboty-gidroprivoda> (дата обращения: 10.06.2026).
7. Логачев В.Н., Касьянова Т.Н. Исследование внутренних напряжений корпуса шестеренного насоса типа НШ-У восстановленного пластическим деформированием и упрочненного МДО // Научный журнал молодых ученых. – 2016. – № 1 (6). – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-vnutrennih-napryazheniy-korpusa-shesterennogo-nasosa-tipa-nsh-u-vosstanovlennogo-plasticheskim-deformirovaniem-i> (дата обращения: 20.12.2024).
8. Матущенко А.Е., Сергунцов А.С., Сарксян М.Д. К вопросу расчета на прочность корпуса гидронасоса типа НШ // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2023. – № 190. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/k-voprosu-rascheta-na-prochnost-korpusa-gidronasosa-tipa-nsh> (дата обращения: 15.02.2025).
9. Иншаков Р.С., Цыбуля И.И., Вязкова Е.А., Цырендашиев Н.Б., Панасенко Н.Л., Яснюк Т.И. Компьютерное моделирование в Ansys Fluent гидравлического стенда, созданного для проверки эффективности действия завихрителя, снижающего гидравлические потери в трубопроводе // Вестник евразийской науки. – 2018. – № 6. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/kompyuternoe-modelirovanie-v-ansys-fluent-gidravlicheskogo-stenda-sozdannogo-dlya-proverki-effektivnosti-deystviya-zavihritelya> (дата обращения: 25.02.2025).
10. Великанов Н.Л., Наумов В.А. Коэффициент полезного действия шестеренного насоса с внешним зацеплением // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. – 2021. – № 3 (732). –

URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/koeffitsient-poleznogo-deystviya-shesterennogo-nasosa-s-vneshnim-zatsepleniem> (дата обращения: 10.12.2024).

11. Красильников А.В. Математическое описание работы гидродинамического стенда с системой поддержания давления, содержащей разгруженный клапан // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. – 2015. – № 4. –

URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/matematicheskoe-opisanie-raboty-gidrodinamicheskogo-stenda-s-sistemoy-podderzhaniya-davleniya-soderzhaschey-razgruzhennyi-klapan> (дата обращения: 10.06.2026).

12. Красильников А.В. Методика проектной оценки характеристик системы поддержания давления гидродинамического стенда // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. – 2014. – № 8. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metodika-proektnoy-otsenki-harakteristik-sistemy-podderzhaniya-davleniya-gidrodinamicheskogo-stenda> (дата обращения: 26.03.2025).

13. Питолин В.Е. Оптимальное регулирование гидравлических систем // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия С. Фундаментальные науки. – 2018. – № 4. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/optimalnoe-regulirovanie-gidravlicheskih-sistem> (дата обращения: 04.01.2025).

14. Бурумкулов Ф.Х., Иванов В.И., Величко С.А., Ионов П.А., Сульдин С.П. Повышение надежности гидронасосов типа НШ-У электроискровым легированием рабочих поверхностей пар трения // Электронная обработка материалов. – 2005. – № 6. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/povyshenie-nadezhnosti-gidronasosov-tipa-nsh-u-elektroiskrovym-legirovaniem-rabochih-poverhnostey-par-treniya> (дата обращения: 15.02.2025).

15. Кожухова А.В., Худокормов В.В. Применение частотного регулирования электродвигателя насоса для привода исполнительного оборудования // Символ науки. – 2016. – № 11-3. –

URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-chastotnogo-regulirovaniya-elektrodvigatelya-nasosa-dlya-privoda-ispolnitelnogo-oborudovaniya> (дата обращения: 25.05.2025).

16. Кожухова А.В., Невзорова М.Ю. Проектирование стенда для исследования частотного регулирования объемного насоса // Символ науки. – 2016. – № 3-3. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/proektirovanie-stenda-dlya-issledovaniya-chastotnogo-regulirovaniya-obemnogo-nasosa> (дата обращения: 10.06.2026).

17. Ионов П.А., Сенин П.В., Пьянзов С.В., Столяров А.В., Земсков А.М. Разработка стенда для оценки технического состояния объемных гидроприводов с гидравлическим нагружающим устройством // Инженерные технологии и системы. – 2019. – № 4. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/razrabotka-stenda-dlya-otsenki-tehnicheskogo-sostoyaniya-obemnyh-gidroprivodov-s-gidravlicheskim-nagruzhayuschim-ustroystvom> (дата обращения: 14.06.2025).

18. Гулезов С.С. Стенд для исследования характеристик гидравлического привода тормозов с усилителем // Вестник Курганского государственного университета. – 2012. – № 2 (24). – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/stend-dlya-issledovaniya-harakteristik-gidravlicheskogo-privoda-tormozov-s-usilitelem> (дата обращения: 20.02.2025).

19. Спиридонов С.А., Чупахин Д.Н., Цуканов Д.М., Сафронников Д.М. Стендовые испытания гидравлических шестеренных насосов типа НШ-К с восстановленными и упрочненными плазменным электролитическим оксидированием деталями // Научный журнал молодых ученых. – 2017. – № 1 (8). – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/stendovye-ispytaniya-gidravlicheskih-shesterennyh-nasosov-tipa-nsh-k-s-vosstanovlennymi-i-uprochnennymi-plazmennymi> (дата обращения: 13.12.2024).

20. Барышев В.И. Температурно-силовая совместимость материалов подшипников скольжения шестеренных насосов типа НШ // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Машиностроение. – 2005.

– № 1 (41). – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/temperaturno-silovaya-sovmestimost-materialov-podshipnikov-skolzheniya-shesterennyh-nasosov-tipa-nsh> (дата обращения: 13.02.2025).

21. Логачев В.Н., Санжаровский Ю.П. Технология восстановления и упрочнения подшипников скольжения, на примере втулки шестеренного насоса НШ-32У-2 // Агротехника и энергообеспечение. – 2015. – № 1 (5). – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/tehnologiya-vosstanovleniya-i-uprochneniya-podshipnikov-skolzheniya-na-primere-vtulki-shesterennogo-nasosa-nsh-32u-2> (дата обращения: 31.01.2025).

22. Жирный А.В. Экспериментальные исследования методики диагностирования гидронасоса на основе инфракрасного излучения при стендовых и эксплуатационных испытаниях // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2015. – № 39. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/eksperimentalnye-issledovaniya-metodiki-diagnostirovaniya-gidronasosa-na-osnove-infrakrasnogo-izlucheniya-pri-stendovyh-i> (дата обращения: 10.10.2025).

23. ГОСТ EN 894-3-2012. Безопасность машин. Эргономические требования к оформлению индикаторов и органов управления. Часть 3. Органы управления. – Введ. 2014-01-01. – М. : Стандартинформ, 2013. – 16 с.

24. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работ : санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. – Введ. 2003-06-30. – М. : Минздрав России, 2003. – 58 с.

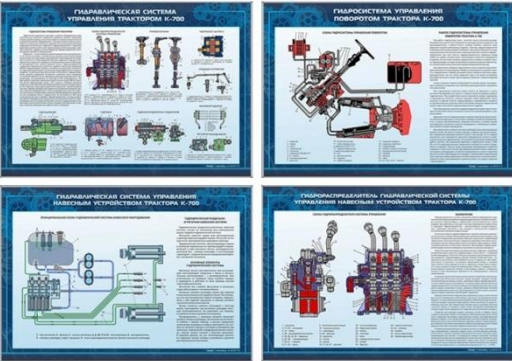
25. СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений : санитарные правила и нормы. – Введ. 1997-01-01. – М. : Госкомсанэпиднадзор России, 1997. – 20 с.

26. ГОСТ 12.1.003-2014. Система стандартов безопасности труда. Шум. Общие требования безопасности. – Введ. 2016-07-01. – М. : Стандартинформ, 2015. – 8 с.

27. СНиП 23-05-95. Естественное и искусственное освещение : строительные нормы и правила. – Введ. 1996–01–01. – М. : Минстрой России, 1995. – 34 с.
28. ГОСТ 12.1.019-2017. Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты. – Введ. 2018–05–01. – М. : Стандартинформ, 2018. – 12 с.
29. НПБ 105-03. Нормы пожарной безопасности. Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности. – Введ. 2003–07–01. – М. : МЧС России, 2003. – 20 с.
30. Васильев Б.С. Ремонт дорожных машин, автомобилей и тракторов : учебник для студентов учреждений сред. проф. образования / Б.С. Васильев, Б.П. Долгополов, Г.Н. Доценко ; под ред. В.А. Зорина. – 5-е изд., стер. – М. : Академия, 2008. – 512 с. – ISBN 978-5-7695-5557-2.
31. Синельников А.Ф. Основы технологии производства и ремонт автомобилей : учебное пособие для студентов учреждений высш. проф. образования / А.Ф. Синельников. – 2-е изд., стер. – М. : ИЦ Академия, 2013. – 320 с. : ил. – ISBN 978-5-7695-9762-6.
32. Лепешкин А.В. Гидравлика и гидропневмопривод. В 2 ч. Ч. 2. Гидравлические машины и гидропневмопривод / А.В. Лепешкин ; под ред. А.А. Шейпака. – 5-е изд., доп. и перераб. – М. : МГИУ, 2008. – 352 с. – ISBN 978-5-2760-1625-9.
33. ГОСТ 7.32-2017. Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Отчет о научно-исследовательской работе. Структура и правила оформления. – Введ. 2018–07–01. – М. : Стандартинформ, 2018. – 24 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Таблица А.1 – анализ существующих учебных лабораторных стендов по гидравлическим системам автомобильной и тракторной техники

Наименование стенда	Состав стенда	Преимущества	Недостатки
Комплект стендов «Гидросистемы тракторов» Представляет собой комплект информационных панелей, на которых размещены рисунки, схемы, таблицы, графики и формулы по курсу «Устройство автотракторной техники». (15шт) 	В комплекте представлены стенды по следующим темам: - Гидравлическая система управления трактором К-700 - Гидросистема управления поворотом трактора К-700 - Гидравлическая система управления навесным устройством трактора К-700 - Гидрораспределитель гидравлической системы управления навесным устройством трактора К-700 - Гидравлическая система трактора МТЗ-100 - Универсальная система автоматического регулирования трактора МТЗ-100 - Гидросистема отбора мощности трактора МТЗ-100 - Гидросистема коробка передач МТЗ-100 - Устройство раздельно-агрегатной гидравлической навесной системы трактора ЮМЗ-6	1. Низкая стоимость — самый бюджетный вариант. 2. Широкий охват — охватывает сразу несколько марок тракторов (К-700, МТЗ, ЮМЗ, Т-130). 3. Методическая поддержка — вся необходимая теория (схемы, графики) всегда перед глазами. 4. Легкость — прост в монтаже на стены.	1. Полное отсутствие практики (статичный) — студент видит только картинку, нет понимания движения жидкости и давления. 2. Низкая наглядность — скрытые процессы (поток масла, работа золотника) невозможно показать в динамике. 3. Быстрое устаревание информации (морально) — не дает навыков работы с реальным оборудованием. 4. Только теория — не подходит для лабораторных работ по измерению давления или регулировке клапанов.

	- Схема работы раздельно-агрегатной гидравлической навесной системы трактора ЮМЗ-6 - Рулевое управление с гидроусилителем трактора ЮМЗ-6 - Гидравлическая система трактора Т-40 - Гидравлическая система управления трактором Т-130 - Гидравлическая навесная система трактора Т-130 - Сервомеханизм сцепления трактора Т-130 Крепежные и декоративные элементы – 15 комплектов Один комплект содержит дюбель-гвозди диаметром 6 мм и длиной 40 мм – 2 шт. Стоимость 60 580 р.		
04.03.00.01 Стенд-тренажер «Гидравлическое оборудование»	Состав: — металлическое основание,	1. Практико-ориентированность — студент	1. Отсутствие прозрачности — не видно, что

трактора МТЗ» Стенд-тренажер представляет собой комплект гидравлического оборудования, установленный на металлическом основании, покрытым полимерной износостойчивой краской, с набором инструмента. Стенд-тренажер предназначен для изучения элементов гидравлического оборудования трактора МТЗ и его составных элементов, а так же для освоения навыков по техническому обслуживанию, монтажу, наладке оборудования. 	окрашенное полимерной износостойкой краской; — комплект гидравлического оборудования: масляный бак, гидрораспределитель, гидроцилиндр, гидронасос; — комплект рукавов высокого давления; — комплект крепежных элементов и штуцеров для проведения монтажа; — набор инструмента; — паспорт. Набор инструмента включает в себя: набор ключей, не менее 9 предметов, набор отверток, не менее 6 предметов, комплект шестигранников, не менее 7 предметов, молоток, не менее 1 кг, пассатижи, не менее 200 мм, ящик для инструмента пластиковый. Стоимость 881 075 р.	не просто смотрит, а <i>руками</i> собирает схему и затягивает соединения. 2. Развитие моторики — формирует навыки слесаря-гидравлика (работа с инструментом). 3. Изучение матчасти — видны реальные узлы (золотник, поршень) в разрезе конструкции. 4. Универсальность — позволяет отрабатывать ТО и монтаж.	происходит <i>внутри</i> цилиндра и распределителя при работе (поток масла невидим). 2. Отсутствие измерительных приборов — нет датчиков давления, расходомеров (нельзя построить графики). 3. Отсутствие привода — непонятно, создается ли давление, или это просто "конструктор" (если насос не включен). 4. Очень высокая цена (почти 900 тыс. руб.) при ограниченном функционале (изучение 1 модели).
04.02.00.01 Учебно-лабораторный стенд «Навесное оборудование трактора МТЗ-80» Стенд представляет собой механизм навески трактора МТЗ-80 на металлическом основании с блоком управления. Работу механизма	Состав: — металлическая рамная несущая конструкция, окрашенная полимерной износостойкой краской; — насосная станция; — механизм навески трактора	1. Динамика и реалистичность — работает как настоящий трактор (поднимает груз, создает усилие). 2. Наличие измерений (цифровизация) — есть датчики, можно снимать	1. Узкая специализация — только навесное устройство (не показывает работу рулевого управления или коробки передач). 2. Сложность ремонта — высокое давление (настоящее)

навески обеспечивает гидросистема стенда. Учебно-лабораторный стенд предназначен для проведения лабораторных работ по регулировке, изучению общего устройства и основных характеристик механизма навески колесного трактора МТЗ-80, конструкции его основных узлов, механизмов, принципов их функционирования и режимов работы. 	МТЗ-80; — датчики давления; — датчики угла наклона навески; — панель управления; — автосцепка; — гидрораспределитель; — комплект руковок высокого давления; — руководство по эксплуатации стенда; — паспорт. Стоимость 350 860 р.	показатели давления в зависимости от нагрузки. 3. Изучение рабочих процессов — позволяет увидеть связь "объем масла = угол подъема". 4. Оптимальная цена — дешевле тренажера, но функциональнее плакатов.	требует квалифицированного обслуживания и строгой техники безопасности. 3. Громоздкость — занимает много места в аудитории. 4. Скрытые процессы — хотя есть датчики, сам поток масла в трубках не визуализируется, что затрудняет понимание логики работы распределителя.
--	---	--	--

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

УТВЕРЖДАЮ

Руководитель проекта _____
«___» _____ 2026 г.

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ НА ИЗГОТОВЛЕНИЕ УЧЕБНО- ДЕМОНСТРАЦИОННОГО КОМПЛЕКСА

1. Общие сведения и назначение

1.1. Наименование изделия: Специализированный стендовый модуль для исследования рабочих процессов гидравлических контуров автомобильной и тракторной техники.

1.2. Цель создания: Обеспечение визуализации физических процессов передачи энергии посредством рабочей жидкости, получение практических навыков идентификации конструктивных элементов объемного гидропривода, а также проведение экспериментальных замеров производительности насосных агрегатов, характеристик направляющей аппаратуры и силовых цилиндров.

1.3. Область применения: Учебные аудитории профессиональных образовательных учреждений, центры подготовки механиков и сервисных инженеров.

2. Требования к функциональным возможностям

Комплекс должен обеспечивать выполнение следующего перечня операций:

1. Генерация давления в гидромагистрали: Обеспечение рабочего напора до 6 МПа с возможностью пикового кратковременного повышения до 10 МПа без разрушения элементов обвязки.

2. Регулировка подачи: Плавное изменение объемного расхода транспортируемой среды в диапазоне от 0 до 15 литров в минуту (с дискретностью не более 0,5 л/мин).

3. Коммутация потоков: Реализация сменных рабочих узлов, позволяющих устанавливать и тестировать минимум три разновидности гидрораспределительной аппаратуры (аксиально-плунжерный (золотниковый), поворотный крановый механизм и пропорциональный клапан с электрическим управлением).

4. Защита от аномальных режимов: Включение в схему предохранительной гидроаппаратуры прямого действия и автоматического выключателя электропитания, срабатывающего при достижении предельного давления.

3. Конструктивные параметры и эргономика

1. Компонировка: Настольный вариант исполнения с использованием сварной пространственной рамы и лицевой вертикальной панели для монтажа приборов контроля.

2. Габаритные размеры (Д×Ш×В): Не более 1200×700×1600 мм. Конструкция должна обеспечивать устойчивость при выполнении лабораторных работ.

3. Весогабаритные характеристики: Сухая масса снаряженного стенда не должна превышать 80 кг для обеспечения мобильности (оснащение транспортировочными колесами или ручками приветствуется).

4. Электроснабжение: Питание осуществляется от стандартной бытовой сети переменного тока напряжением 220 Вольт и частотой 50 Герц. Электрическая схема должна иметь гальваническую развязку и УЗО.

4. Эксплуатационные условия применения

1. Среда передачи энергии: В качестве рабочего тела используется индустриальное минеральное масло марки И-20А (допускается замена на аналоги с идентичным классом вязкости).

2. Климатические условия: Стабильная работа гарантируется при температуре окружающей среды в пределах +10...+35 °С при относительной влажности до 80%.

3. Режим загрузки: Допустимая длительность непрерывной работы гидросистемы без перерыва на охлаждение составляет не более 2 часов.

5. Меры безопасности и системы блокировки

1. Механическая защита: Все вращающиеся элементы привода (муфта, вал насоса) закрываются съемными защитными кожухами, исключающими контакт с оператором.

2. Аварийный слив: Помимо автоматического клапана, схема оснащается ручным дублирующим устройством сброса давления, активируемым оператором в экстренной ситуации.

3. Контроль целостности: Защитные крышки и регулировочные винты, не предназначенные для частого изменения настроек, подлежат пломбировке для предотвращения несанкционированного вмешательства в настройки безопасности.

6. Базовый состав оборудования (Комплект поставки)

В конструкцию стенда должны входить следующие функциональные блоки и элементы:

№	Наименование элемента	Количество
1	Мотор-редуктор (электродвигатель мощностью 1,5 кВт) в сборе с шестеренчатым гидронасосом	1 шт.
2	Емкость для масла (гидробак) со встроенным фильтрующим элементом, указателем уровня и биметаллическим термометром	1 шт.
3	Набор предохранительной и регулирующей арматуры: переливной клапан, клапан снижения давления (редукционный), обратный затвор, игольчатый дроссель	Комплект
4	Силовой гидроцилиндр двустороннего возвратно-поступательного	1 шт.

№	Наименование элемента	Количество
	действия	
5	Измерительная группа: показывающие манометры на входе и выходе (диаметр корпуса не менее 100 мм)	2 шт.
6	Операторский пульт управления с тактовыми кнопками, переключателями режимов и потенциометром задания расхода	1 шт.
7	Соединительная гидравлическая обвязка (рукава высокого давления, металлические трубки) и быстроразъемные муфты	Комплект

7. Дополнительные технические условия

- Все металлические элементы должны иметь антикоррозионное порошковое покрытие.
- Цветовое кодирование линий: линии всасывания и слива маркируются синим цветом, напорная магистраль — красным.
- Схема гидравлическая (принципиальная) наносится на лицевую панель методом шелкографии.

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Таблица В.4 – Маршрутная карта сборки стенда

Наименование операции	Содержание перехода	Оборудование/инструмент
Сборка рамы		
Подготовка профилей	Резка профиля по размерам	Пила отрезная ,болгарка
Сборка каркаса	Соединение профилей угловыми кронштейнами, затяжка а так же сварка конструкции	Ключи торцевые, уровень
Установка колёс	Монтаж поворотных колёс с тормозами	Ключ рожковый
Сборка насосного агрегата		
Установка полумуфты на вал насоса	Запрессовка, контроль соосности	Пресс ручной, индикатор
Установка полумуфты на вал двигателя	Аналогично	Индикатор часового типа
Соединение насоса с двигателем	Установка на подрамник, стыковка полумуфт, центровка	Щуп, ключи
Крепление агрегата на раму	Фиксация болтами через амортизаторы	Динамометрический ключ
Сборка гидравлической панели		
Разметка отверстий под аппараты	Согласно монтажной схеме	Линейка, кернер
Установка предохранительного клапана	Монтаж на панель через уплотнения	Ключи, манжеты
Установка распределителя Р40	Крепление 4 болтами, установка рукоятки	Набор ключей
Установка дросселя и обратных клапанов	Монтаж, герметизация резьб	Фум-лента, ключи
Установка манометров	Вкручивание в штуцеры, установка демпферов	Ключ специальный
Монтаж гидравлических соединений		
Монтаж рукавов высокого давления	Подсоединение к штуцерам	Ключи разрезные
Проверка герметичности	Опрессовка давлением 12 МПа (1.2 от рабочего)	Станция опрессовочная
Сборка электрической части		
Монтаж управления	Установка кнопок, тумблеров, ПЛК	Отвёртки, кримпер
Прокладка кабелей	Разводка по кабель-каналам	Кабельные стяжки
Подключение датчиков	Давления (М1, М2), температуры, конечных выключателей	Мультиметр
Подключение двигателя	Через магнитный пускатель и тепловое реле	Отвёртки
Генеральная сборка		
Установка гидробака	Крепление на раму, подключение всасывающей	Ключи, хомуты

	линии	
Установка насосного агрегата	Фиксация, подключение нагнетательной линии	Ключи
Установка гидропанели	На вертикальную раму, подключение линий А, В, Т	Ключи
Подключение гидроцилиндра	Шлангами к распределителю	Ключи
Общая проверка	Визуальный контроль всех соединений	—
Регулировка и испытания		
Заполнение маслом	Через заливную горловину до верхнего уровня	10 л масла ВМГЗ
Удаление воздуха	Открытие клапанов, прокачка системы	—
Настройка предохранительного клапана	Установка давления 10 МПа	Ключ-шестигранник
Проверка работы распределителя	Циклирование в 3-х позициях	Визуально
Проверка герметичности	Выдержка под давлением 5 мин	Визуально

ПРИЛОЖЕНИЕ Г



ПРИЛОЖЕНИЕ Д

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1. ИЗУЧЕНИЕ УСТРОЙСТВА И ПРИНЦИПА РАБОТЫ ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДЕМОНСТРАЦИОННОГО СТЕНДА

Цель работы: Изучить устройство, состав и принцип действия гидравлической системы автотракторной техники на основе демонстрационного стенда; идентифицировать основные гидравлические элементы на принципиальной схеме и в натурном исполнении; проследить пути движения рабочей жидкости при различных режимах работы.

1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Гидравлическая система автотракторной техники представляет собой совокупность гидравлических устройств, предназначенных для передачи и преобразования энергии посредством рабочей жидкости (масла). Основными элементами гидросистемы являются:

- Гидронасос — преобразует механическую энергию привода в гидравлическую, создавая поток рабочей жидкости под давлением.
- Гидрораспределитель — направляет поток рабочей жидкости к исполнительным механизмам или на слив.
- Гидроцилиндр — преобразует гидравлическую энергию в механическую (возвратно-поступательное движение штока).
- Предохранительный клапан — ограничивает максимальное давление в системе, сбрасывая избыток масла в бак.
- Насос-дозатор — обеспечивает управление расходом и давлением в рулевом контуре.
- Контрольно-измерительные приборы (манометры) — визуализируют значение давления в различных точках гидросистемы.

Разработанный демонстрационный стенд представляет собой действующую модель гидросистемы, состоящую из следующих узлов:

1. Насосная станция (электродвигатель АИР80В2 + шестерённый насос НШ-32);
2. Гидробак ёмкостью 10 л с фильтрующим элементом;
3. Гидрораспределитель Р40 (трёхпозиционный, четырёхлинейный);
4. Два гидроцилиндра двустороннего действия (Ц-1 — рулевого управления, Ц-2 — подъёма навесного оборудования);
5. Насос-дозатор Д100-14.20-02 (имитация рулевого управления);
6. Предохранительный клапан (регулируемый, давление настройки 6–10 МПа);
7. Дроссель для регулирования скорости перемещения штока;
8. Манометры (на входе в распределитель, в поршневой и штоковой полостях).

Принципиальная гидравлическая схема станда представлена на рисунке 1.

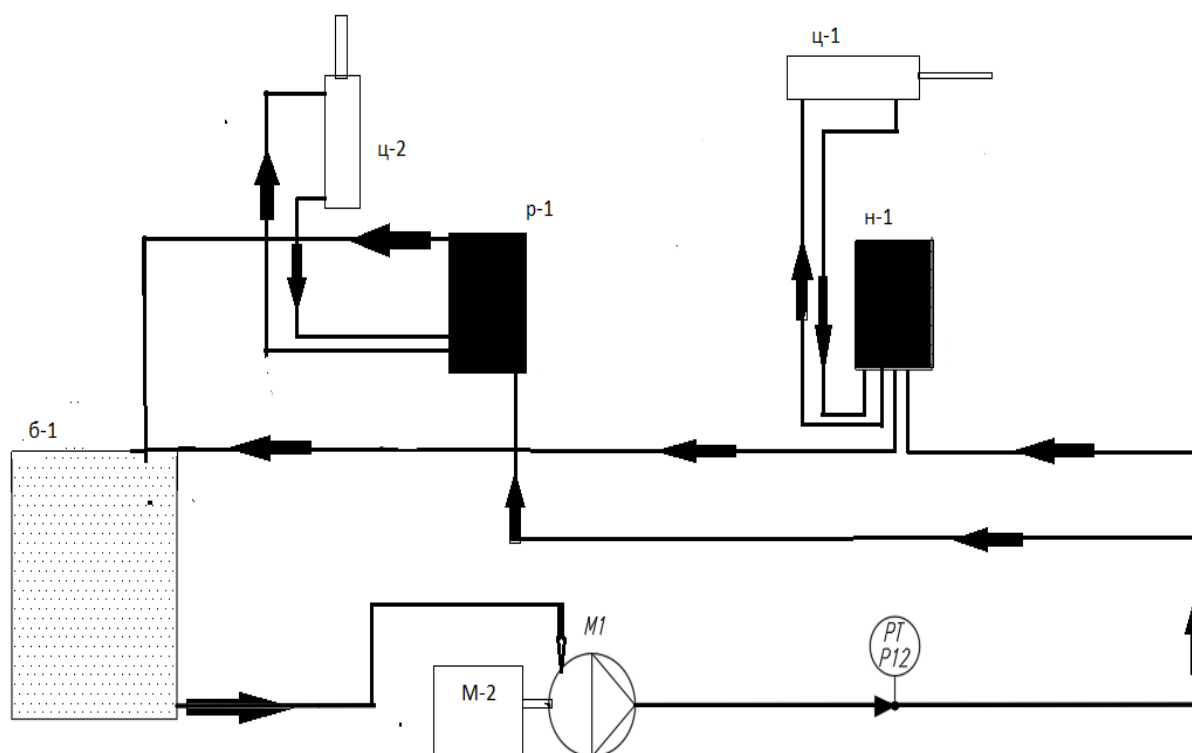


Рисунок 1 – Принципиальная гидравлическая схема станда:

б-1 – гидробак, м-2 – электродвигатель, м-1 – насос гидравлический, рт-р12 – манометр давления, н-1 – насос-дозатор, ц-1 – цилиндр рулевого управления, р-1 – распределитель, ц-2 – цилиндр подъема навесного оборудования

2. ОБОРУДОВАНИЕ И МАТЕРИАЛЫ

1. Демонстрационный гидравлический стенд (в сборе).
2. Принципиальная гидравлическая схема стенда (на лицевой панели).
3. Комплект гаечных ключей для обслуживания стенда.
4. Секундомер.
5. Инструкционная карта.
6. Журнал для записи наблюдений.
7. Рабочая тетрадь студента.

3. МЕРЫ БЕЗОПАСНОСТИ

Перед началом работы студент обязан:

1. Пройти целевой инструктаж по технике безопасности.
2. Надеть защитные очки и спецодежду (халат или комбинезон).
3. Убедиться в исправности защитных кожухов вращающихся элементов.
4. Проверить визуально целостность рукавов высокого давления (РВД) и отсутствие подтёков масла.
5. Убедиться, что предохранительный клапан отрегулирован на давление не более 10 МПа.

В процессе работы ЗАПРЕЩАЕТСЯ:

- Касаться вращающихся частей (муфта, вал насоса);
- Открывать крышки и панели при включённом стенде;
- Направлять штуцер гидролинии на себя при сбросе давления;
- Работать при неисправном предохранительном клапане;
- Превышать рабочее давление 6 МПа (кратковременное повышение до 10 МПа допускается только с разрешения преподавателя).

При попадании масла на кожу или в глаза:

- Немедленно смыть масло с кожи водой с мылом;
- При попадании в глаза — промыть большим количеством проточной воды и обратиться к врачу.

4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

4.1. Внешний осмотр стенда и идентификация элементов

1. Произведите внешний осмотр стенда. Обратите внимание на расположение основных узлов (насос, электродвигатель, гидробак, распределитель, гидроцилиндры, насос-дозатор, манометры).
2. Сопоставьте натурные элементы стенда с обозначениями на принципиальной гидравлической схеме.
3. Заполните таблицу 1.

Таблица 1 — Идентификация элементов стенда

Обозначение на схеме	Наименование элемента	Выполняемая функция	Местоположение на стенде
Н	Насос шестерённый НШ-32	Преобразование механической энергии в гидравлическую	Нижняя часть, слева
М	Электродвигатель АИР80В2	Привод насоса	Слева, на одной раме с насосом
Б	Гидробак (10 л)	Хранение масла, отстой, охлаждение	Нижняя часть, справа
Р	Гидрораспределитель Р40	Направление потока масла к цилиндрам	Центральная часть гидропанели
ПК	Предохранительный клапан	Ограничение максимального давления	На гидропанели, справа от распределителя
ДР	Дроссель	Регулирование скорости штока	На гидропанели, слева
Ц-1	Гидроцилиндр рулевого управления	Имитация поворота колёс	Верхняя часть, слева
Ц-2	Гидроцилиндр подъёма	Имитация подъёма	Верхняя часть,

Обозначение на схеме	Наименование элемента	Выполняемая функция	Местоположение на стенде
	навески	навесного оборудования	справа
НД	Насос-дозатор Д100-14.20-02	Управление расходом в рулевом контуре	На гидропанели, рядом с распределителем
МН1	Манометр (напорная линия)	Контроль давления насоса	На гидропанели, слева сверху
МН2	Манометр (поршневая полость)	Контроль давления в полости цилиндра	На гидропанели, справа сверху

4.2. Изучение траектории движения рабочей жидкости

Режим 1. Холостой режим (нейтральное положение распределителя)

1. Убедитесь, что рукоятка распределителя находится в нейтральном (среднем) положении.
2. Включите электродвигатель кнопкой «Пуск» на пульте управления.
3. Проконтролируйте показания манометра на выходе насоса (МН1). Давление должно быть близко к 0 МПа (масло свободно сливается в бак).
4. Проследите по принципиальной схеме и визуально путь масла: бак → насос → распределитель (нейтраль) → слив в бак.
5. Зафиксируйте показания манометра МН1: $P_{хол} = \text{_____}$ МПа.

Режим 2. Выдвижение штока гидроцилиндра навески

1. Установите рукоятку распределителя в позицию «А» (выдвижение штока).
2. Масло подаётся в поршневую полость гидроцилиндра Ц-2, шток начинает выдвигаться.
3. Проконтролируйте показания манометра МН2 (давление в поршневой полости).

4. Проследите путь масла: бак → насос → распределитель (поз. А) → поршневая полость Ц-2 → шток выдвигается → масло из штоковой полости → распределитель → слив в бак.

5. Зафиксируйте показания манометра $P_{\text{выдв}} = \text{_____}$ МПа.

Режим 3. Втягивание штока гидроцилиндра навески

1. Установите рукоятку распределителя в позицию «В» (втягивание штока).

2. Масло подаётся в штоковую полость гидроцилиндра Ц-2, шток втягивается.

3. Проконтролируйте показания манометра на штоковой полости.

4. Проследите путь масла: бак → насос → распределитель (поз. В) → штоковая полость Ц-2 → шток втягивается → масло из поршневой полости → распределитель → слив в бак.

5. Зафиксируйте показания манометра: $P_{\text{втяг}} = \text{_____}$ МПа.

Режим 4. Режим перегрузки (срабатывание предохранительного клапана)

1. Установите рукоятку распределителя в позицию «А» (выдвижение штока).

2. По команде преподавателя полностью закройте дроссель на поршневой полости или дождитесь полного выдвижения штока (упор в крайнее положение).

3. Давление в системе начнёт расти. При достижении давления настройки (6–10 МПа) предохранительный клапан откроется, и масло пойдёт на слив в бак.

4. Зафиксируйте давление срабатывания клапана (по манометру МН1): $P_{\text{кл}} = \text{_____}$ МПа.

5. **ВНИМАНИЕ:** Не допускайте работы в этом режиме более 10–15 секунд во избежание перегрева масла!

4.3. Изучение работы насоса-дозатора рулевого управления

1. Установите распределитель в нейтральное положение.

2. Поверните вал насоса-дозатора (имитация поворота рулевого колеса) вправо.
3. Проследите, как масло подаётся в гидроцилиндр Ц-1 (рулевого управления), имитируя поворот колёс.
4. Поверните вал насоса-дозатора влево — шток гидроцилиндра Ц-1 движется в обратном направлении.
5. Зарисуйте траекторию движения масла через насос-дозатор на принципиальной схеме.

4.4. Регулирование скорости перемещения штока

1. Установите рукоятку распределителя в позицию «А» (выдвижение штока Ц-2).
2. Медленно вращая регулировочный винт дросселя, изменяйте проходное сечение.
3. Наблюдайте изменение скорости выдвижения штока.
4. Измерьте время полного хода штока (200 мм) при полностью открытом и при частично закрытом дросселе.
5. Результаты занесите в таблицу 2.

Таблица 2 — Зависимость скорости штока от положения дросселя

Положение дросселя	Время полного хода, с	Скорость штока, м/с	Примечание
Полностью открыт			
Закрыт на 1/2			
Закрыт на 3/4			

5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Каковы назначение и устройство гидравлической системы автотракторной техники?
2. Какие элементы гидросистемы входят в состав разработанного демонстрационного стенда?
3. В чём разница между гидроцилиндром одностороннего и двустороннего действия?

4. Какую функцию выполняет предохранительный клапан в гидросистеме?
5. Что происходит в гидросистеме при перекрытии всех рабочих линий?
6. Как изменяется скорость перемещения штока гидроцилиндра при дросселировании потока?
7. Каким образом осуществляется изменение направления движения штока гидроцилиндра?
8. Для каких целей предназначен насос-дозатор в системе рулевого управления?

6. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЁТА

1. Название и цель работы.
2. Краткие теоретические сведения.
3. Схема стенда с обозначением основных элементов.
4. Заполненные таблицы 1 и 2.
5. Рисунок траектории движения масла для каждого режима.
6. Ответы на контрольные вопросы.
7. Вывод по работе.

7. ВЫВОДЫ

В ходе выполнения лабораторной работы студент должен:

- Уметь идентифицировать основные элементы гидросистемы на реальном оборудовании и на принципиальной схеме.
- Понимать путь движения рабочей жидкости при различных режимах работы.
- Уяснить функциональное назначение каждого элемента гидросистемы (насос, распределитель, клапан, гидроцилиндр, дроссель).
- Научиться визуально оценивать взаимосвязь между положением органов управления и движением исполнительных механизмов.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАБОЧЕГО ДАВЛЕНИЯ И РАЗВИВАЕМОГО УСИЛИЯ ГИДРОЦИЛИНДРА

Цель работы: Экспериментально определить давление в поршневой полости гидроцилиндра при различных нагрузках; вычислить усилие, развиваемое на штоке гидроцилиндра; сопоставить экспериментальные и расчётные значения; оценить влияние давления на силовые характеристики гидропривода.

1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Основным силовым параметром гидроцилиндра является усилие F , развиваемое на его штоке. Это усилие определяется давлением рабочей жидкости P и площадью поршня A :

$$F = P \cdot A = P \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4}$$

где: F — усилие на штоке, Н; P — давление в поршневой полости, Па (МПа $\times 10^6$); D — диаметр поршня, м; A — площадь поршня, м².

Для гидроцилиндра двустороннего действия различают:

- Поршневую полость — площадь поршня

$$A_1 = \frac{\pi \cdot D^2}{4}$$

- Штоковую полость — площадь поршня за вычетом площади штока

$$A_2 = \frac{\pi \cdot (D^2 - d^2)}{4}.$$

Усилие на штоке при подаче масла в поршневую полость (выдвижение):

$$F_{\text{выдв}} = P_1 \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4}$$

Усилие на штоке при подаче масла в штоковую полость (втягивание):

$$F_{\text{втяг}} = P_2 \cdot \frac{\pi \cdot (D^2 - d^2)}{4}$$

где d — диаметр штока, м; P_1 — давление в поршневой полости, Па; P_2 — давление в штоковой полости, Па.

На разработанном стенде установлен гидроцилиндр со следующими параметрами:

- Диаметр поршня $D=40 \text{ мм} = 0,04 \text{ м}$;
- Диаметр штока $d=20 \text{ мм} = 0,02 \text{ м}$;
- Ход поршня $L=200 \text{ мм} = 0,2 \text{ м}$.

Площадь поршня:

$$A_1 = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = 0,001256 \text{ м}^2$$

Теоретическое усилие при давлении $P=6 \text{ МПа}$ (рабочее):

$$F=6 \cdot 10^6 \cdot 0,001256=7536 \text{ Н} \approx 750 \text{ кгс}$$

2. ОБОРУДОВАНИЕ И МАТЕРИАЛЫ

1. Демонстрационный гидравлический стенд.
2. Манометры (МН1 — напорная линия, МН2 — поршневая полость).
3. Грузы для создания нагрузки на штоке гидроцилиндра (набор от 5 до 50 кг).
4. Секундомер.
5. Линейка или штангенциркуль для контроля перемещения.
6. Инструкционная карта.
7. Рабочая тетрадь студента.
8. Калькулятор.

3. МЕРЫ БЕЗОПАСНОСТИ

Выполняются те же требования, что и в лабораторной работе № 1.

Дополнительные требования:

- Не превышать давление выше 10 МПа.
- При установке грузов на шток гидроцилиндра соблюдать осторожность — падение груза может привести к травме.
- Не находиться под поднятым грузом.
- Сброс давления производить только после полной остановки штока.

4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

4.1. Определение давления в поршневой полости при различных нагрузках

Без нагрузки (холостой ход):

1. Установите рукоятку распределителя в позицию выдвижения штока (Ц-2).
2. Включите электродвигатель кнопкой «Пуск».
3. Зафиксируйте показания манометра в поршневой полости (МН2) при свободном выдвижении штока (без нагрузки).
4. Результат занесите в таблицу 1: $P_{\text{хол}} = \text{_____}$ МПа.

С нагрузкой:

1. Наденьте на шток гидроцилиндра платформу для установки грузов.
2. Установите груз массой 5 кг.
3. Включите стенд, выдвигайте шток, фиксируйте давление в поршневой полости.
4. Повторите измерения для грузов массой 10, 20, 30, 40, 50 кг.
5. Результаты занесите в таблицу 1.

Таблица 1 — Зависимость давления от нагрузки

Масса груза m , кг	Сила тяжести $G=m \cdot g$, Н	Давление P , МПа	Усилие $F=P \cdot A$, Н	Примечание
0	0			Холостой ход
5	49,1			
10	98,1			
20	196,2			
30	294,3			
40	392,4			
50	490,5			

Примечание: $g=9,81 \text{ м/с}^2$ — ускорение свободного падения.

4.2. Определение усилия на штоке расчётным и экспериментальными методами

Расчёт усилия по измеренному давлению:

Для каждого значения давления P из таблицы 1 вычислите усилие на штоке:

$$F_{\text{расч}} = P \cdot A_1 = P \cdot 0,001256$$

Экспериментальное определение усилия:

Усилие, развиваемое на штоке, уравнивается силой тяжести груза:

$$F_{\text{эксп}} = m \cdot g$$

Результаты занесите в таблицу 2.

Таблица 2 — Сравнение расчётного и экспериментального усилия

№ п/п	m , кг	P , МПа	$F_{\text{расч}}$, Н	$F_{\text{эксп}}$, Н	Погрешность δ , %
1	5			49,1	
2	10			98,1	
3	20			196,2	
4	30			294,3	
5	40			392,4	
6	50			490,5	

Погрешность вычисляется по формуле:

$$\delta = \frac{F_{\text{расч}} - F_{\text{эксп}}}{F_{\text{расч}}} \cdot 100\%$$

4.3. Определение максимального усилия при рабочем давлении

При достижении стендом рабочего давления $P_{\text{раб}}=6 \text{ МПа}$ теоретическое максимальное усилие на штоке:

$$F_{\text{max}} = 6 \cdot 10^6 \cdot 0,001256 = 7536 \text{ Н}$$

1. Установите на шток гидроцилиндра платформу для грузов.

2. Постепенно включая стенд и добавляя нагрузку, определите максимальную массу груза, которую гидроцилиндр способен поднять при рабочем давлении 6 МПа.

3. Результат: $m_{\max} = \underline{\hspace{2cm}}$ кг.

Расчёт: $F_{\max} = m_{\max} \cdot g$, откуда $F_{\max} = 9,817536 \approx 768$ кг.

Примечание: По условиям безопасности фактическая нагрузка не должна превышать 50 кг (ограничение стенда), поэтому максимальное усилие рассчитывается теоретически.

4.4. Построение графика зависимости $F=f(P)$

1. Используя данные таблицы 1, постройте график зависимости усилия на штоке F от давления P .

2. По оси абсцисс (X) отложите давление P в МПа.

3. По оси ординат (Y) отложите усилие F в Н.

4. Нанесите экспериментальные точки и проведите прямую линию через них.

5. Сравните полученный график с теоретической прямой $F=P \cdot A_1$.

5. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ

1. Для каждого опыта вычислите расчётное усилие по формуле $F=P \cdot A_1$.

2. Вычислите относительную погрешность измерений.

3. Проанализируйте возможные причины расхождений между расчётным и экспериментальным значениями (потери давления в гидролиниях, трение в уплотнениях, погрешность манометра, точность измерения массы груза и т.д.).

4. Сделайте вывод о характере зависимости усилия от давления.

6. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какая зависимость существует между давлением рабочей жидкости и усилием на штоке гидроцилиндра?

2. По какой формуле определяется усилие на штоке гидроцилиндра?

3. Почему усилие при вытягивании штока меньше, чем при выдвигании (при одном и том же давлении)?

4. От каких факторов зависит погрешность при экспериментальном определении усилия?

5. Какое максимальное усилие может развивать гидроцилиндр на разработанном стенде при рабочем давлении 6 МПа?

6. Как изменяется давление в поршневой полости при увеличении нагрузки на штоке?

7. Какую роль играют уплотнения гидроцилиндра? Как они влияют на реальное усилие?

8. Для каких практических задач необходимо знать усилие, развиваемое гидроцилиндром?

7. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЁТА

1. Название и цель работы.

2. Краткие теоретические сведения (с формулами).

3. Схема гидравлической системы стенда (с указанием точек измерения давления).

4. Заполненные таблицы 1 и 2.

5. График зависимости $F=f(P)$.

6. Пример расчёта (один из опытов с подробными вычислениями).

7. Анализ погрешностей.

8. Ответы на контрольные вопросы.

9. Вывод по работе.

8. ВЫВОДЫ

В ходе выполнения лабораторной работы студент должен:

- Экспериментально убедиться в линейной зависимости между давлением рабочей жидкости и усилием на штоке гидроцилиндра ($F=P \cdot A$).
- Научиться производить расчёты силовых параметров гидропривода.
- Освоить методику измерения давления с помощью манометров.

– Понять физическую сущность преобразования гидравлической энергии в механическую.

– Оценить влияние потерь давления на эффективность работы гидросистемы.

Рекомендуемая литература:

1. Лепешкин А.В. Гидравлика и гидропневмопривод. — М.: МГИУ, 2008.

2. Васильев Б.С. Ремонт дорожных машин, автомобилей и тракторов. — М.: Академия, 2008.

3. ГОСТ 2.781-2016. ЕСКД. Обозначения условные графические. Аппаратура гидравлическая.