

ЛАБОРАТОРНЫЙ СТЕНД ФИЗИЧЕСКОГО ПОДОБИЯ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ДВИЖЕНИЯ ЖИДКОСТИ И ГАЗА В ТРУБОПРОВОДАХ

Филипас А.А.¹, Павленко П.В.², Макаров Д.С.³, Уфимцев А.В.⁴

¹ТПУ, ИШИТР, Заведующий кафедрой - руководитель отделения на правах кафедры, к.т.н.,
доцент, e-mail: filipas@tpu.ru

²ТПУ, ИШИТР, группа 8Т12, e-mail: pvp19@tpu.ru

³ТПУ, ИШИТР, группа 8Т11, e-mail: dms36@tpu.ru

⁴ТПУ, ИШИТР, группа 8Т11, e-mail: avu34@tpu.ru

Аннотация

В работе рассматривается разработка лабораторного стенда физического подобия для исследования гидродинамических процессов в трубопроводах. Основное внимание уделено созданию автоматизированного стенда, предназначенного для проведения лабораторных исследований в учебных аудиториях. Представлены этапы проектирования, включая определение функционала стенда, создание электрических схем, проектирование и сборку трехмерной модели, а также сборка реального стенда.

Ключевые слова: стенд физического подобия, автоматизация, гидравлика, пневматика, трубопровод.

Введение

Эффективность подготовки будущих специалистов во многом зависит от качества образования, а именно: лекционные занятия, демонстрационные эксперименты, лабораторные практикумы с применением учебно-лабораторного оборудования, мультимедийные средства обучения. Как показывает педагогическая практика, достичь высокого качества образования невозможно без использования учебной техники и стендового оборудования. Не последнюю роль в этом процессе играет использование качественного лабораторного оборудования, включая лабораторные стенды.

Одним из лучших способов обучения, несомненно, является применение специальных учебных лабораторных стендов. С их помощью проведение практических и лабораторных занятий становится увлекательным и позволяет более качественно изучить техническую базу, а также получить практические навыки работы с современными средствами автоматизации и программным обеспечением.

Учебные лабораторные стенды созданы с применением спецоборудования и программного обеспечения для организации полноценного обучения студентов и проведения исследовательских работ. С помощью учебных лабораторных стендов можно безопасно и максимально приближенно к реальности работать с виртуальными и реальными объектами управления. А в связи с тем, что нефтегазовая отрасль не теряет своей актуальности, то создание лабораторного стенда для этого направления позволит будущим специалистам получить не только теоретические, но и практические навыки работы в нефтегазовом деле.

Стенд для лабораторных работ, являющийся темой данного доклада, основан на взаимосвязях между гидравлической и пневматической систем. Данная установка позволит проводить множество лабораторных работ по изучению гидродинамических процессов, в частности определение места утечки на трубопроводе, основанного на методе определения утечки по изменению профиля давления вдоль трубопровода [1].

Постановка задачи

Для создания такого стенда особо важными задачами являются: анализ требований, предъявляемых к функционалу стенда, из которых следует подбор компонентов, необходимых для сборки стенда, создание чертежей, а также масштабного виртуального макета стенда для оценки габаритов и компоновки.

Принимая во внимание всё вышеописанное, а также то, что данный стенд предназначен для изучения системы движения по трубопроводам двух разных веществ, в том числе для имитирования трёх точек нефтепровода, а также должен использоваться как лабораторный стенд в учебных аудиториях, он должен удовлетворять следующим требованиям:

1. Имитирование трёх точек трубопровода – начальной (в качестве неё выступает перекачивающая станция, откуда жидкость поступает в конец трубопровода), промежуточной (предназначена для имитирования места утечки) и конечной (выступает в роли принимающей станции). Каждая точка включает в себя системы управления регулирования потока и создания возмущающего воздействия, что в целом образуют каскад.

2. Управление гидравлической частью – циркулирование жидкости в системе, управление потоком этой жидкости в каждой точке трубопровода, а также обеспечение в них как противодействия, так и возмущающего воздействия в гидравлической части, которым можно управлять.

3. Управление пневматической частью – обеспечение возмущающего воздействия на каждую из трёх точек имитируемого трубопровода и управление этим возмущением. Кроме того, наличие пневматической части в стенде позволяет создать возмущения на повышенных относительно гидросистемы частотах. Это даёт возможность моделирования повреждения в трубопроводе.

4. Управление технологическими процессами как в ручном, так и в автоматическом режиме.

5. Возможность проведения нескольких лабораторных работ на данном стенде.

6. Возможность модернизации отдельных частей стенда и стенда в целом в пределах технического задания.

7. Соответствие требованиям габаритных ограничений для размещения в аудитории и возможности переноса стенда без необходимости его разбора по частям.

8. Соответствие требованиям эргономики по способу и форме предоставления информации о протекании процессов в системе [2].

9. Соответствие требованиям надёжности и безопасности [3].

Исходя из этого, в компонентную базу стенда должны входить различные управляемые и считывающие компоненты, которые позволят:

Во-первых, снимать статические и динамические характеристики, такие как величина давления в начальной точке имитируемого трубопровода, в его промежуточной и конечной точке; величину расхода жидкости на участках трубопровода, предусмотренных по плану; состояние каждого из двух насосов.

Во-вторых, собирать информацию о протекании процесса в нескольких точках.

В-третьих, управлять всеми датчиками и преобразователями как дистанционно, так и с помощью оборудования, которое может располагаться непосредственно на стенде и включать в себя программируемые логические устройства (программируемые реле, ПЛК), различные показывающие устройства (индикаторы, экраны), а также устройства для ручного управления процессом (кнопки, переключатели).

За счёт большого количества автоматических регуляторов и элементов, управляемых дистанционно, разрабатываемый стенд имеет высокую степень автоматизации, поэтому этим стендом можно будет управлять удаленно, что также даёт возможность создания SCADA для обеспечения работы в реальном времени систем сбора, обработки, отображения и архивирования информации об объекте и управления им.

Помимо всего вышеописанного, стоит также отметить, что каскады могут сообщаться друг с другом в различных комбинациях, которые достигаются благодаря трёхходовым клапанам, принимающим одно из трёх положений (0° , 90° , 180°). На рисунке 1 показаны варианты параллельного, последовательного и комбинированного подключения каскадов стенда.

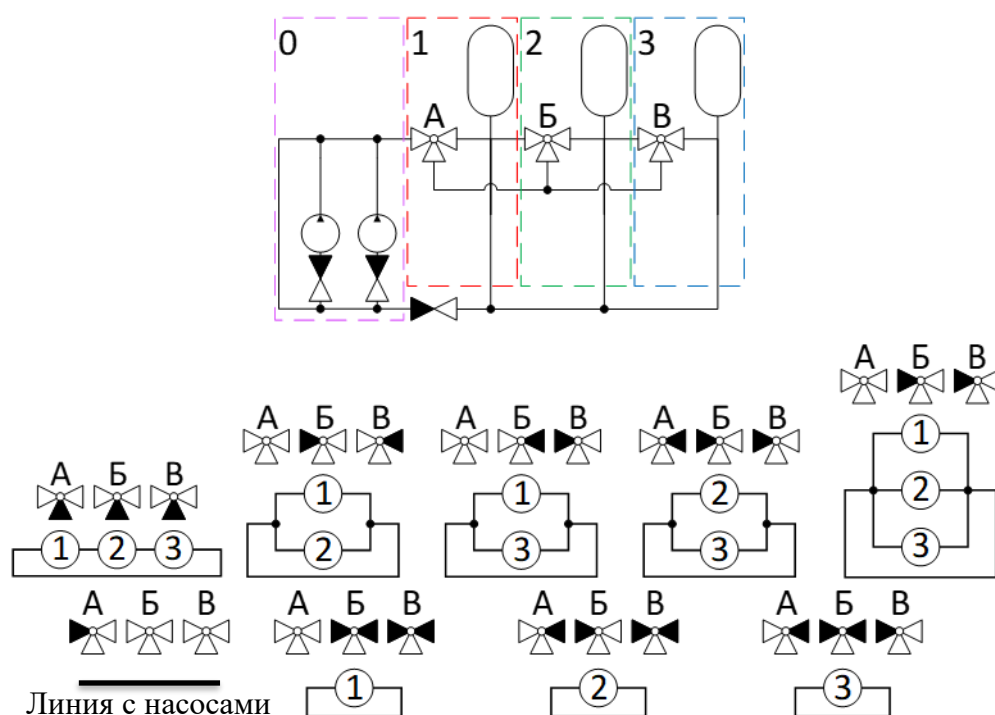


Рис. 1. Упрощённая гидравлическая схема вариативности подключения каскадов

Предварительные работы

В первую очередь была создана трёхмерная модель станда, включающая все используемые компоненты и их взаимные связи. Для этого были разработаны точные 3D-модели электронасосов, регулирующих клапанов, датчиков давления и расхода, компрессора, электромагнитных клапанов и других элементов, входящих в состав станда. Особое внимание уделялось точному соблюдению размеров, форм и точек крепления компонентов, что позволило создать модель с высокой степенью детализации и достоверностью. Все элементы были объединены в общую компоновку, размещённую на специально спроектированном столе, чертёж которого был разработан отдельно. Проектирование стола осуществлялось с учётом требований по габаритам, стиля уже имеющихся лабораторных столов в аудиториях, эргономике и удобству размещения в учебной аудитории, чтобы обеспечить возможность беспрепятственного доступа к основным компонентам станда. На основе трёхмерной модели было разработано несколько возможных вариантов компоновки станда, из которых был выбран оптимальный по критериям компактности и удобства эксплуатации. Созданная трёхмерная модель позволила не только оценить удобство расположения оборудования, но и предварительно выявить возможные коллизии в компоновке. Это упростило дальнейшую сборку станда и обеспечило высокую степень соответствия реального объекта проектной модели. Внешний вид трёхмерной модели показан на рисунке 2.



Рис. 2. Трёхмерная модель разрабатываемого стенда

После завершения разработки трёхмерной модели стенда были созданы электрические схемы для подключения всех устройств управления, что включало проработку логических и физических связей между различными элементами системы. Электрические схемы охватывают соединение ПЛК, модулей ввода-вывода и всех используемых устройств – датчиков давления, расхода, а также исполнительных механизмов, таких как клапаны, насосы и регуляторы. Для каждого устройства были определены параметры сигналов, типы подключения и используемые интерфейсы, что позволило обеспечить совместимость всех элементов. Разработанные схемы служат основой для дальнейшего монтажа, настройки и тестирования системы, а также являются важным инструментом при выявлении и устранении возможных ошибок на этапе подключения. На рисунке 3 представлен один из нескольких листов схем подключения.

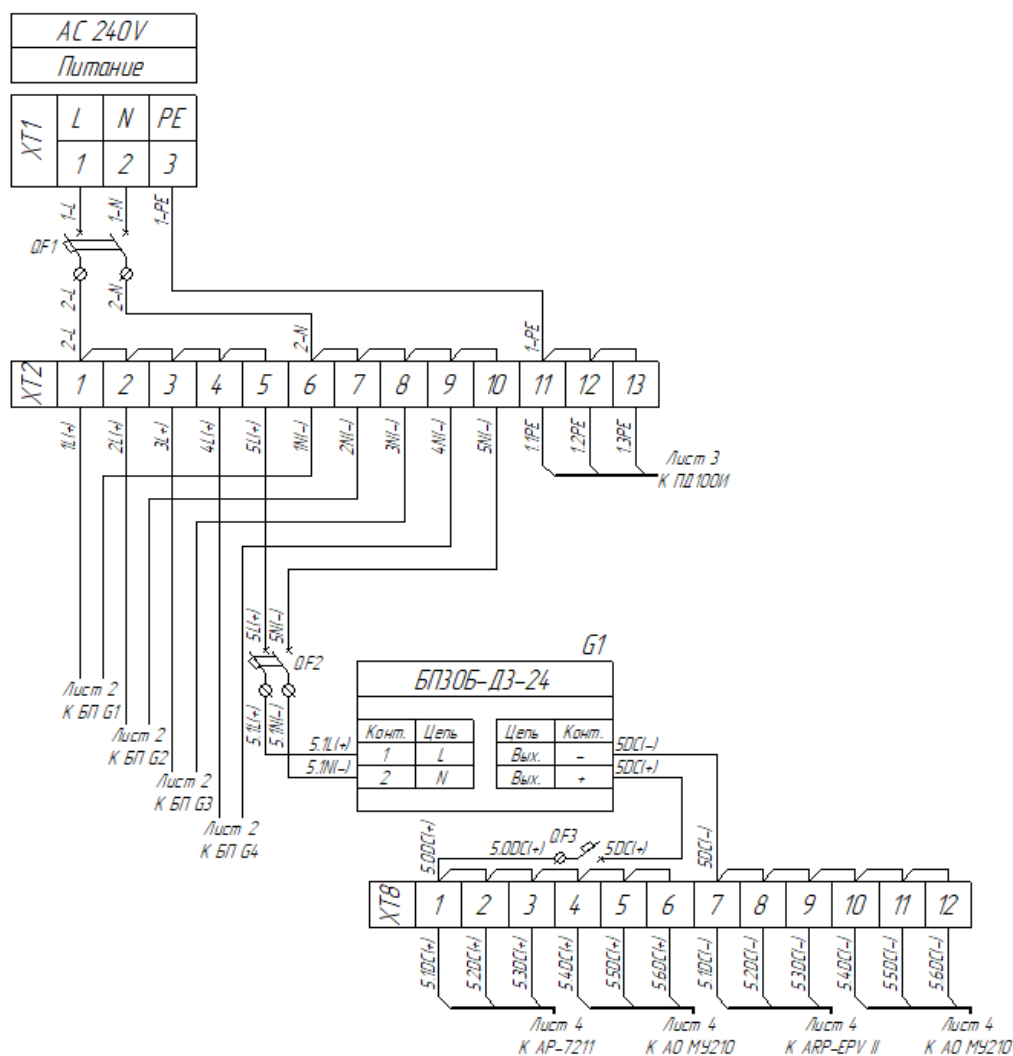


Рис. 3. Часть схем подключения электрической части стенда

Результаты

Заключительным этапом стала сборка реального стенда на основе разработанной трёхмерной модели (рисунок 4). Компоненты были размещены на подготовленном столе в строгом соответствии с компоновкой, предусмотренной виртуальной моделью. Была выполнена установка насосов, клапанов, датчиков, регуляторов давления и других элементов, которые обеспечивают функционирование системы. Компоненты соединялись механически с использованием подходящих крепёжных элементов, что обеспечило их надёжную фиксацию на рабочем столе. Сборка реального стенда проходила с постоянным сравнением результатов с разработанной трёхмерной моделью. Это позволило оперативно вносить коррективы в компоновку и крепление компонентов при необходимости. Помимо этого, стоит отметить, что дополнительно проводилась проверка герметичности соединений и устойчивости конструкции к механическим нагрузкам, а также проверка доступности компонентов для проведения их подключения и дальнейшего обслуживания, что подтвердило корректность выбранного подхода к проектированию. Полученный физический стенд идентичен созданной трёхмерной модели и готов к дальнейшему этапу подключения электрических цепей. На данный момент базовая механическая часть стенда полностью собрана, однако электрические соединения и системы управления ещё не подключены. Следующим шагом станет монтаж проводки, подключение ПЛК и устройств, а также настройка автоматических и ручных режимов управления, что позволит провести полноценные испытания и оценку работоспособности стенда.



Рис. 4. Сборка стенда

Заключение

В ходе выполнения данной работы была успешно разработана и частично собрана лабораторная установка для исследования гидродинамических процессов в трубопроводах. Были реализованы основные этапы проектирования, включая определение функционала, создание трёхмерной модели, разработку электрических схем и сборку стенда. Процесс создания модели позволил детально проработать компоновку элементов, обеспечить их совместимость и оптимизировать размещение оборудования в соответствии с требованиями эргономики и безопасности. Проектируемый стенд позволяет моделировать различные гидродинамические процессы, включая циркуляцию жидкости, регулирование потоков и создание возмущающих воздействий. Установка также обеспечивает возможность гибкой настройки и модернизации системы для проведения широкого спектра лабораторных исследований. Следующим этапом проекта станет подключение электрической части стенда, настройка системы управления и проведение испытаний в различных режимах работы. Ожидается, что данный стенд станет эффективным инструментом для обучения студентов, а также для проведения научных исследований в области гидравлики и пневматики.

Список использованных источников

1. Степанченко Т.Е., Шкляр В.Н. Разработка и исследование алгоритмов обнаружения утечек в магистральных трубопроводах на основе их гидродинамических моделей // Известия Томского политехнического университета. – 2006. – Т. 309 – №7. С. 70-73.
2. ГОСТ Р ИСО 9241-303-2012. Эргономика взаимодействия человек-система. Часть 303. Требования к электронным видеодисплеям: издание официальное: дата введения 29.11.2012. – Москва : Стандартинформ, 2014. – 36 с.
3. ГОСТ ИЕС 61010-1-2014. Безопасность электрических контрольно-измерительных приборов и лабораторного оборудования. Часть 1. Общие требования: издание официальное: дата введения 01.09.2015. – Москва : Стандартинформ, 2015. 131 с.