

## ЛАБОРАТОРНЫЙ СТЕНД СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ДАВЛЕНИЯ НА БАЗЕ ПРОМЫШЛЕННОГО КОНТРОЛЛЕРА КРОСС-500

*Трубников Г.К.<sup>1</sup>, Скороспешкин М.В.<sup>2</sup>*

*Научный руководитель: Скороспешкин М.В.<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup>ТПУ, ИШИТР, 8Т11, e-mail: gkt2@tpu.ru*

*<sup>2</sup>ТПУ, ИШИТР, к.т.н., доцент (ОАР, ИШИТР), e-mail: smax@tpu.ru*

### **Аннотация**

Разработан лабораторный стенд для получения студентами практических навыков работы с современными промышленными техническими средствами автоматизации и программными пакетами на примере системы контроля давления, реализованной на базе датчика Метран 100 и контроллера КРОСС-500. Описаны аппаратная структура, программное обеспечение, разработанное в соответствующих среде программирования и SCADA платформе, а также приводятся функциональные возможности стенда.

**Ключевые слова:** лабораторный стенд, система контроля давления, ПЛК, SCADA.

### **Введение**

Современные системы автоматизации требуют от выпускников технических вузов не только теоретических знаний, но и практических навыков работы с техническим и программным обеспечением АСУТП. Однако, как показывает анализ литературы, в настоящее время отсутствуют коммерческие предложения по учебным лабораторным стендам, которые бы совмещали в себе аппаратные и программные компоненты современных промышленных систем автоматизации. Большинство предлагаемых стендов либо узкоспециализированы, либо имеют высокую стоимость, что делает их недоступными для многих образовательных учреждений.

Проблема заключается в том, что студенты, обучающиеся по специальности 15.03.04 «Автоматизация технологических процессов и производств», не имеют возможности работы на многофункциональных лабораторных стендах, которые позволили бы им приобрести практические навыки работы с промышленным оборудованием и программными продуктами, используемыми при разработке автоматизированных систем управления. Это ограничивает их возможности для полноценного освоения современных технологий автоматизации.

Целью данной работы является разработка многофункционального лабораторного стенда для изучения системы автоматического контроля давления, который обеспечит студентам возможность получения практических навыков работы с современными промышленными средствами автоматизации, включая контроллер КРОСС-500, датчик давления Метран 100, ОРС-сервер, а также освоение широко используемых в России и за рубежом среды программирования и SCADA платформы.

### **Основная часть**

Разработанный лабораторный стенд, предназначенный для изучения и практического освоения технического и программного обеспечения систем автоматизации технологических процессов, представляет собой сложное устройство, выполненное на промышленном контроллере КРОСС-500 и промышленном датчике давления. Структурная схема стенда представлена на рисунке 1 и включает в себя средства, обеспечивающие контроль и сигнализацию давления.

Основой стенда являются персональный компьютер (ПК) и промышленный контроллер КРОСС-500. Компьютер используется для программирования ПЛК, визуализации данных и регистрации давления. Связь между компьютером и ПЛК осуществляется посредством сети Ethernet, обеспечивающей обмен данными в режиме реального времени. Для организации локальной сети между компьютером и ПЛК применяется сетевой концентратор (HUB).

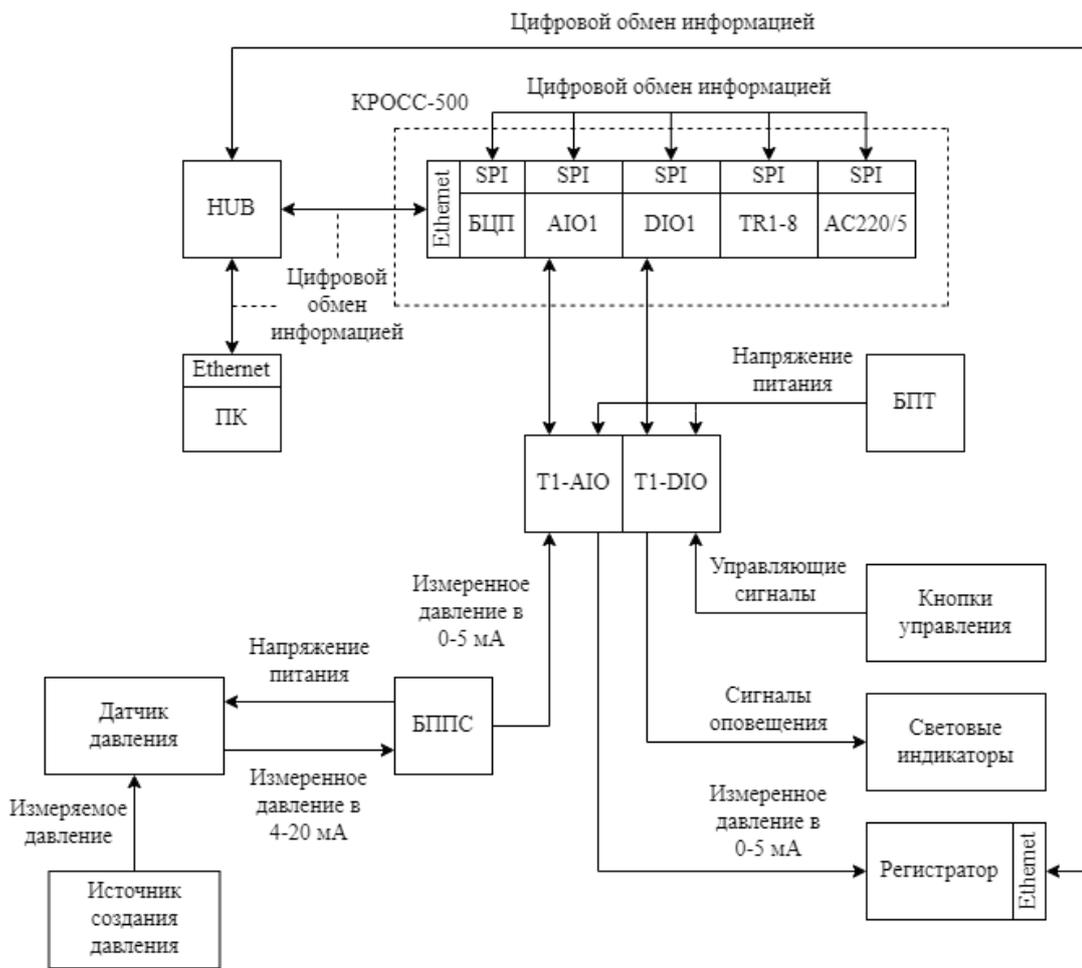


Рис. 1. Структурная схема лабораторного стенда

Центральным блоком ПЛК является блок центрального процессора (БЦП), выполняющий функции обработки данных и выполнения программы. Для взаимодействия с внешними устройствами, такими как датчик давления, световые индикаторы и кнопки, используются модули ввода/вывода аналоговых и дискретных сигналов. Модуль аналогового ввода/вывода (АЮ1) предназначен для приема и передачи аналоговых сигналов. Терминальный блок модуля ввода/вывода аналоговых сигналов (Т1-АЮ) обеспечивает подключение аналоговых датчиков и исполнительных устройств к модулю АЮ1.

Для работы с дискретными сигналами, поступающими от кнопок управления и сигналами управления световыми индикаторами, предусмотрен модуль дискретного ввода/вывода (DIO1). Подключение дискретных устройств к этому модулю обеспечивается терминальным блоком модуля ввода/вывода дискретных сигналов (Т1-DIO). Специальный модуль ввода сигналов термопреобразователей сопротивления (TR1-8) служит для подключения термопреобразователей температуры.

Питание ПЛК осуществляется от блока питания (AC220/5), преобразующего напряжения 220V в 5V, а питания модулей ПЛК происходит через интерфейс связи SPI. Питание терминальных блоков (Т1-АЮ и Т1-DIO) обеспечивается отдельным блоком питания (БПТ). Преобразование сигнала, поступающего от датчика давления, в диапазон, необходимый для обработки контроллером, выполняется блоком питания и преобразования сигнала датчика давления (БППС).

Давление в системе создается вручную с помощью ручного пневматического насоса Н-2,5, а его измерение производится с использованием датчика давления Метран 100, передающего сигнал на модуль АЮ1.

После разработки структурной схемы выполнена компоновка и монтаж элементов на каркасе стенда. Проверена работоспособность стенда и удобство его использования.

Программирование контроллера КРОСС-500 осуществляется с помощью программного пакета среды программирования. На рисунке 2 представлена программа, реализованная на языке FBD и обеспечивающая ввод сигнала от датчика давления, фильтрацию сигнала, проверку достоверности информации по скорости изменения сигнала и возможным верхним и нижним значениям измеряемого давления. А также сравнение текущего значения давления с нижними и верхними порогами сигнализации и вывода дискретных сигналов на световые индикаторы.

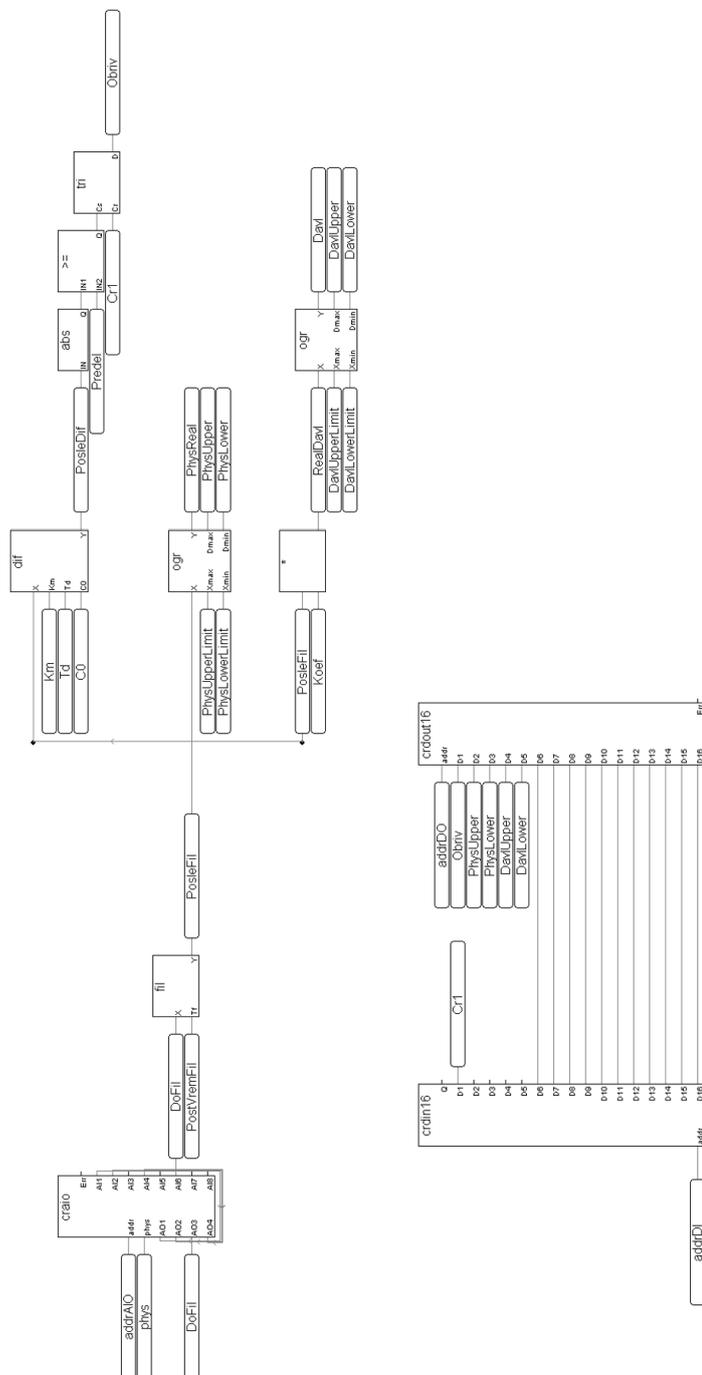


Рис. 2. Общий вид программы

Описанная выше программа разработана с применением следующих конструкций и функциональных блоков.

### 1. Аналоговый ввод-вывод сигналов

Для работы с аналоговыми модулями используется функциональный блок алгоритма аналогового ввода-вывода (crAIO). Его назначение состоит в вводе сигнала, поступающего от датчика давления, и преобразования в физические единицы. Входными параметрами являются адрес модуля (addr) и признак преобразования в физическую величину (phys). Выходными параметрами являются аналоговые входы (AI), код ошибки (Err) и значения аналоговых выходов (AO).

### 2. Фильтрация сигналов

После ввода сигнала он поступает на фильтр нижних частот первого порядка (fil), который устраняет высокочастотные помехи. Передаточная функция фильтра соответствует апериодическому звену первого порядка. Настройка фильтра осуществляется заданием постоянной времени (Tf).

### 3. Проверка достоверности информации по скорости изменения давления

Для обнаружения скорости изменений давления используется дифференциальное звено (dif). Выходной сигнал с данного звена через блок абсолютного значения (abs) подается на логический блок, где сравнивается с пороговым значением. При превышении порогового значения срабатывает триггер (tri), фиксирующий сигнал об обрыве линии.

### 4. Проверка достоверности информации по возможным пределам изменения давления

В этом случае контроль достоверности сигнала осуществляется с помощью блока ограничения (ogr), который проверяет входит ли текущее значение сигнала в диапазон значений между верхней и нижней границами. Если сигнал не выходит в этот диапазон то формируются соответствующие дискретные сигналы (Dmax, Dmin) указывающие на недостоверность информации.

### 5. Сигнализация отклонения давления от заданного

Сигнал, соответствующий текущему значению давления, поступает в блок ограничения (ogr), где происходит сравнение фактического давления с заданными порогами сигнализации. При выходе за допустимые пороги генерируются аварийные сигналы.

### 6. Дискретный ввод-вывод

Управление устройствами световой сигнализации осуществляется с использованием блоков дискретного ввода (crdin16) и дискретного вывода (crdout16).

Программа визуализации процесса контроля и сигнализации давления реализована на базе программного пакета SCADA платформы. На рисунке 3 представлено дерево системы и дерево проекта.

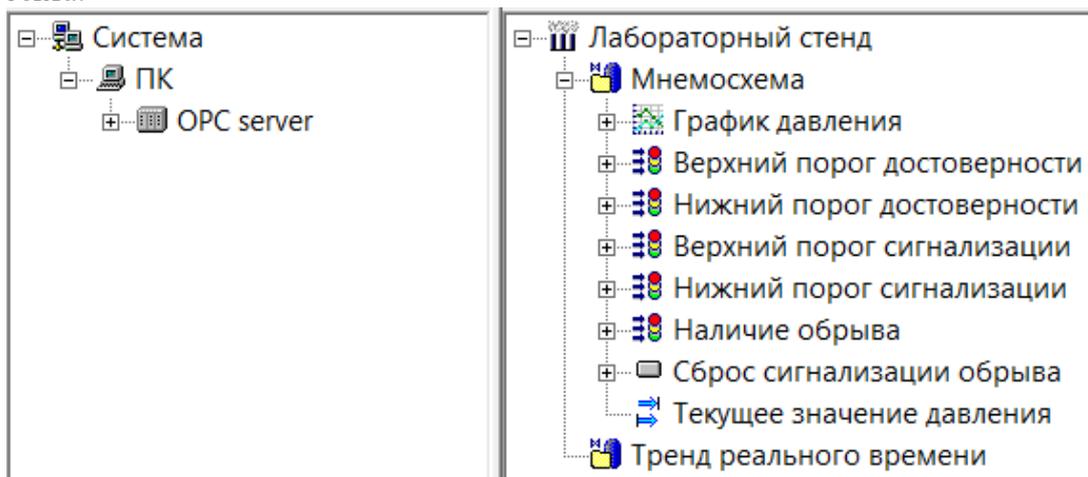


Рис. 3. Дерево проекта и дерево системы

Для визуализации процесса контроля и сигнализации используются следующие экранные формы.

### 1. График

График представляет собой визуальный функциональный блок, используемый для отображения значений переменных в мнемосхеме. Блок относится к категории «Датчик» и поддерживает настраиваемое количество входов, каждое из которых связано с параметром графика. На мнемосхеме с помощью графика отображаются реальное значение измеряемого давления.

### 2. Индикатор состояния

Индикатор состояния представляет собой визуальный элемент для отображения текущего состояния системы через цветовую индикацию. У него несколько логических входов, каждый связан с определённым цветом, который активируется при изменении состояния входа с «0» на «1», что позволяет оперативно отслеживать изменения в системе.

На мнемосхемах индикатор применяется для контроля двух условий: наличия ошибок при проверке достоверности информации по скорости изменения давления и выхода давления за допустимые границы. Зелёный цвет сигнализирует о нормальном состоянии, а красный о недостоверности информации по давлению, либо выход за установленные пределы.

### 3. Кнопка

Кнопка используется для управления дискретными переменными непосредственно из мнемосхемы.

На мнемосхеме кнопки выполняют два действия: переключение индикатора обрыва из аварийного режима в нормальный и переход на форму тренда.

### 4. Тренд

Тренд предназначен для отображения графиков изменения технологических данных во времени. В системе SCADA платформы предусмотрена возможность одновременного просмотра архивных данных (исторический тренд) и текущих данных (тренд реального времени) на одном графике.

На мнемосхеме тренды отображают изменение величины давления во времени. Сам тренд вынесен в отдельную вкладку, доступную по нажатию кнопки «Тренд».

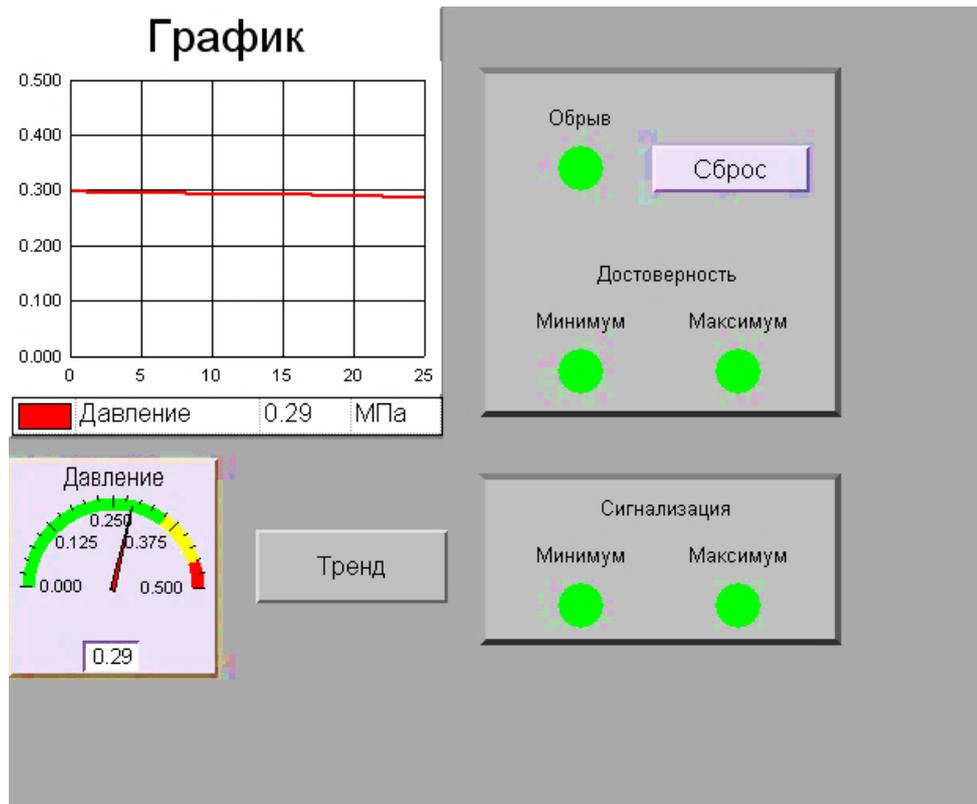
На рисунке 4 представлена мнемосхема системы контроля давления.

Экранные формы, приведенные на данной мнемосхеме, позволяют контролировать текущее значение давления, достоверность сигнала с датчика, а также сигнализировать превышения им заданной уставки. Наличие тренда реального времени обеспечивает реализацию функции архивирования информации.

Используемые в составе лабораторного стенда компьютер и контроллер находятся в составе локальной сети Ethernet лаборатории «Цифровые системы управления технологическими процессами». Для работы лабораторного стенда в режиме реального времени используется OPC-сервер.

## Результаты

Результатом работы являются многофункциональный лабораторный стенд, программное обеспечение и методические указания по выполнению лабораторных работ на данном стенде по курсу «Автоматизированные информационно-управляющие системы». Программа, составленная в ПП среды программирования, используется для программирования контроллера КРОСС-500, а программа разработанная в ПП SCADA платформы используется для визуализации и управления процессом. При выполнении лабораторных работ студентами предусмотрена также разработка собственного прикладного программного обеспечения контроллера и компьютера. Это программное обеспечение включает реализацию заданных функций контроля, настройку функциональных блоков, разработку собственных мнемосхем, настройку OPC-сервера для обмена данными и реализацию функций архивирования данных.



*Рис. 4. Мнемосхема в рабочем состоянии*

Функциональными возможностями стенда являются следующие.

1. Измерение и контроль давления. Давление измеряется с помощью датчика Метран 100, давление создается вручную насосом Н-2,5.
  2. Фильтрация сигнала и проверка достоверности информации по давлению.
  3. Сигнализация отклонений давления от заданных порогов.
  4. Разработка информационно-управляющих систем на базе ПЛК КРОСС-500 на языках FBD, ST, LD, IL в среде программирования.
  5. Мониторинг давления на базе ПП в SCADA платформе.
  6. Архивирование необходимой информации.
  7. Обмен данными между ПК и контроллером в реальном времени через OPC-сервер.
- Студенты, работающие на данном лабораторном стенде, приобретают следующие знания и умения.
1. Знание архитектуры и принципов работы промышленных контроллеров (КРОСС-500).
  2. Умение программировать контроллеры на языке языках FBD, ST, LD, IL в среде программирования.
  2. Знание методов проверки достоверности сигналов.
  8. Навыки реализации функций первичной обработки информации обработки информации на базе библиотеки функциональных блоков контроллера КРОСС-500.
  9. Навыки разработки мнемосхем и визуализации данных в SCADA платформе.
  10. Умение работать с OPC-сервером для обмена данными.
  11. Навыки анализа данных в реальном времени и работы с трендами.

### **Заключение**

Разработанный лабораторный стенд на базе контроллера КРОСС-500 является эффективным инструментом для обучения студентов автоматизации технологических

процессов. Он объединяет аппаратные и программные компоненты современных систем автоматизации. Интеграция контроллера с OPC-сервером и SCADA-системой позволяет реализовывать реальные системы автоматизации, включая контроль давления, настройку уставок и анализ данных в реальном времени.

Функциональные возможности стенда охватывает фильтрацию сигналов, проверку их достоверности, визуализацию состояния системы и архивирование данных, что способствует освоению теории и практики автоматизации. Студенты приобретают навыки программирования контроллеров, разработки мнемосхем, настройки OPC-сервера, анализа трендов, а также понимание архитектуры контроллеров и работы с сигналами, формируя компетенции для решения задач автоматизации. Стенд сокращает дефицит учебных решений, совмещающих аппаратные и программные компоненты, и повышает качество подготовки специалистов.

### **Список использованной литературы**

1. Лабораторный стенд «Датчики давления» // ЭнергияЛаб [Электронный ресурс]. – URL: [vnlab.ru/catalog\\_item/laboratornyy-stend-datchiki-davleniya/](http://vnlab.ru/catalog_item/laboratornyy-stend-datchiki-davleniya/) (дата обращения: 20.03.2025).
2. Лабораторный стенд «Датчики давления» // ПромКонцерн [Электронный ресурс]. – URL: [promconcern.ru/catalog/izmerenie-davleniya-raskhoda-temperatury-i-urovnya/stend-datchiki-davleniya/?ysclid=m8ves1cg7x608720674](http://promconcern.ru/catalog/izmerenie-davleniya-raskhoda-temperatury-i-urovnya/stend-datchiki-davleniya/?ysclid=m8ves1cg7x608720674) (дата обращения: 20.03.2025).
3. Лабораторный стенд «Промышленные датчики давления», исполнение стендовое компьютерное (ПДД-СК) // ДЕНАР [Электронный ресурс]. – URL: [denar-prof.ru/products/941](http://denar-prof.ru/products/941) (дата обращения: 20.03.2025).
4. Промышленные датчики давления. ПДД-СК // ЛАБСИС [Электронный ресурс]. – URL: [labsys.ru/product/avtomatizatsiya/promyshlennye-datchiki/promyshlennye-datchiki-davleniya-pdd-sk/](http://labsys.ru/product/avtomatizatsiya/promyshlennye-datchiki/promyshlennye-datchiki-davleniya-pdd-sk/) (дата обращения: 20.03.2025).
5. Типовой комплект учебного оборудования «Промышленные датчики температуры», исполнение стендовое компьютерное, ПДТ-СК // Учтех-Профи [Электронный ресурс]. – URL: [labstand.ru/catalog/izmerenie-rashoda-davleniya-temperatury/tipovoj-komplekt-uchebnogo-oborudovaniya-promyshlennye-datchiki-temperatury-ispolnenie-stendovoe-kompyuternoe-pdt-sk-3](http://labstand.ru/catalog/izmerenie-rashoda-davleniya-temperatury/tipovoj-komplekt-uchebnogo-oborudovaniya-promyshlennye-datchiki-temperatury-ispolnenie-stendovoe-kompyuternoe-pdt-sk-3) (дата обращения: 20.03.2025).
6. Метрологические стенды с автоматизированным созданием давления // Альфаскаль [Электронный ресурс]. – URL: [alfapascal.ru/products/stands](http://alfapascal.ru/products/stands) (дата обращения: 20.03.2025).