

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра материаловедения, технологии
и управления качеством

**РОЛЬ ДАТЧИКОВ ДАВЛЕНИЯ ГАЗА ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ
МАТЕРИАЛОВ И СХЕМЫ ПОВЕРКИ МАНОМЕТРОВ**

АВТОРЕФЕРАТ МАГИСТЕРСКОЙ РАБОТЫ

студентки магистратуры 2 курса 2292 группы
направления 22.04.01 «Материаловедение и технологии материалов»,
профиль «Менеджмент высокотехнологичного инновационного производства и
бизнеса»
института физики

Оплевой Дарьи Юрьевны

Научный руководитель,
доцент, к.ф.-м.н., доцент

должность, уч. степень, уч. звание

подпись, дата

С.В. Стецюра

инициалы, фамилия

Зав. кафедрой,
д.ф.-м.н., профессор

должность, уч. степень, уч. звание

подпись, дата

С.Б. Вениг

инициалы, фамилия

Саратов 2024

Введение. Давление является одной из основных величин, связанных с описанием жидких и газообразных сред. Большое разнообразие систем, в том числе и датчиковой аппаратуры, для измерения давлений объясняется тем, что понятие давление охватывает протяженную область значений – от сверхвысокого вакуума до сверхвысоких избыточных давлений [1].

Давление является одним из важнейших физических параметров, и его измерение необходимо как в расчетных целях, например, для определения расхода, количества и тепловой энергии среды, так и в технологических целях, например:

1. в технологии создания материалов – в технологических установках для контроля давления газа в камере или поддержания вакуума. Без вакуумных технологий невозможна реализация технологических режимов для создания полупроводниковых пленок и многослойных структур;

2. в системах автоматизированного контроля и управления, например, для контроля и прогнозирования безопасных и эффективных гидравлических режимов напорных трубопроводов, используемых на предприятиях.

В современных условиях все большую актуальность приобретают системы автоматизированного контроля и управления. Данные системы невозможно представить без разнообразных средств сбора информации, в частности датчиков физических величин. Одним из важнейших видов таких датчиков являются полупроводниковые датчики давления, преобразующие внешнее распределенное механическое давление (давление жидкости и газа) в электрические сигнал. Преобразователи давления можно использовать при любых измерения статического и динамического давления в газах и жидкостях (при необходимости и агрессивных) [2].

Целью выпускной квалификационной работы является анализ применения датчиков давления при производстве материалов, который включает подробное рассмотрение применения как вакууметров, так и датчиков избыточного давления при производстве различных материалов и

структур на их основе. Проведение процесса калибровки манометра и датчиков давления с последующим сравнением их метрологических характеристик.

На основе поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

– выделить различные области применения измерителей давления при производстве материалов, как непосредственно в технологическом процессе их получения, так и в системах обеспечения технологического процесса (трубопроводы, баллоны со сжиженным газом и пр.);

– классифицировать измерители давления по диапазону измеряемого давления, области применения, а также по принципу действия;

– описать особенности поверки вакуумметров по сравнению с датчиками избыточного давления;

– проведение процесса калибровки датчиков давления с дальнейшим расчетом погрешностей;

– расчет неопределенностей измерения датчиков давления;

– проведение процесса калибровки манометра.

Выпускная квалификационная работа занимает 59 страницы, имеет 7 рисунков и 25 таблиц.

Обзор составлен по 31 информационным источникам.

Основное содержание работы

В основной части работы представлен как обзор и анализ литературы по теме работы, так и практическая часть, в которой представлены результаты выполнения поставленных задач.

В первом разделе содержится обзор источников на тему «Датчики давления газа». Датчики дают возможность собирать, фиксировать, предавать, обрабатывать и распределять информацию о состояниях физических систем. Они широко используются в различных средах промышленной автоматизации, включая гидроэнергетику, железнодорожный транспорт, интеллектуальные здания, автоматизацию производства, аэрокосмическую, военную, нефтехимическую, нефтяные скважины, энергетику, корабли, станкостроение, трубопроводы, производство полупроводниковых пластин, полупроводниковых

и металлических покрытий. Датчики давления используются для измерения давления в режиме реального времени на различных этапах производства материалов. В соответствии с различными структурами и принципами действия датчики давления можно разделить на тензометрические, пьезорезистивные, емкостные, пьезоэлектрические датчики давления, датчики частоты вибрации и т. д. В данной работе использовались датчики с пьезорезистивным и тензометрическим чувствительными элементами.

В основном поверку различных измерителей давления регламентируют: ГОСТ 8.092-73 [3], ГОСТ 34348-2017 [4], МИ 2124-90 [5], ГОСТ 2405-88 [6], ГОСТ 22520-85 [7].

При сравнении методик поверки вакуумметра и ЭЛЕМЕР-АИР-30М, то можно прийти к выводу о том, что у них есть схожие этапы поверки, на которых выполняются примерно одинаковые для обоих устройств действия, которыми являются: внешний осмотр, опробование, обработка результатов измерений, оформление результатов поверки. Различия заключаются в том, что на заключительных этапах поверки у вакуумметра ведется расчет основной относительной погрешности, а у ЭЛЕМЕР-АИР-30М рассчитывается основная приведенная погрешность. Также имеются отличия в процессе и оборудовании, используемом при поверке устройств.

Во втором разделе представлены схемы поверки и калибровка датчиков давления. Преобразователи давления измерительные ЭЛЕМЕР-АИР-30М предназначены для измерений и непрерывного преобразования значений абсолютного давления, избыточного давления, разности давлений (расхода) и гидростатического давления (уровня) жидких и газообразных, а также избыточного давления-разрежения газообразных, в том числе агрессивных сред, включая жидкий и газообразный хлор и хлоросодержащие продукты, газообразный кислород и кислородосодержащие газовые смеси в унифицированный выходной сигнал постоянного тока или напряжения и (или) цифровой сигнал HART-протокола. Принцип действия датчика основан на использовании зависимости между измеряемым давлением и упругой

деформацией мембраны тензорезистивного первичного преобразователя. Средство измерения Honeywell ST 3000 содержит пьезорезисторный чувствительный элемент, фактически содержащий три датчика в одном. Он состоит из датчика перепада давления, датчика температуры и датчика статического давления.

Лабораторная установка (рисунок 1) представляет собой грузопоршневой манометр МП-250, на котором установлены образцовый манометр с пределом измерения 10 кгс/см^2 и преобразователь давления. С помощью разъемов к преобразователю подключается мультиметр, позволяющий измерять значение унифицированного выходного сигнала 4-20 мА, и блок питания, преобразующий первичные значения равные 220 В во вторичные 24 В. Давление создается поршневым манометром МП-250.

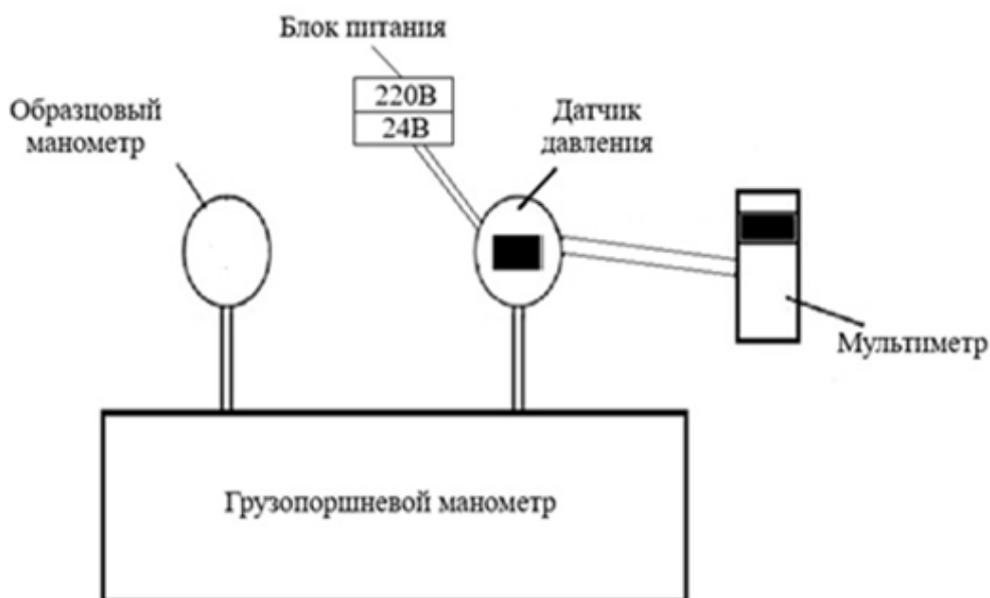


Рисунок 1 – Схема установки при проведении калибровочных работ

Когда приборы подготовлены к работе, на рабочем эталоне манометра вращением штурвала последовательно устанавливают значения давления от 0 до 4 кгс/см^2 для датчиков Элемер-АИР-30М и Honeywell. При каждом значении снимают показания по преобразователю и мультиметру. На рисунке 2 изображена электрическая схема подключения датчиков.

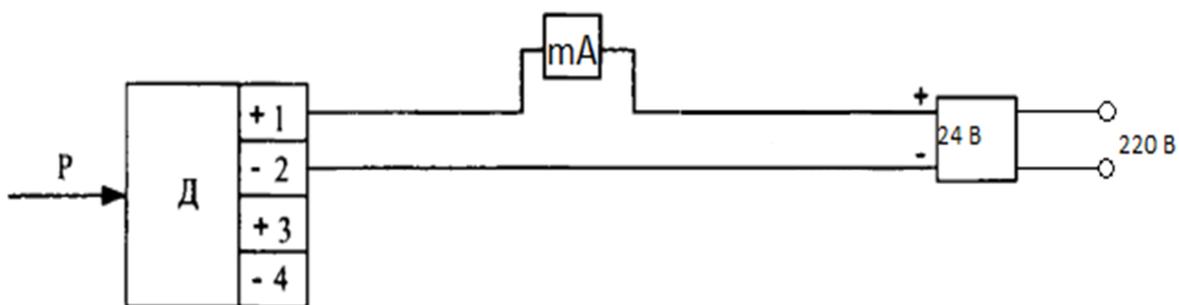


Рисунок 2 – Электрическая схема подключения датчиков: P – входная измеряемая величина; Д – калибруемый датчик; 24 В – преобразователь переменного тока; 220 В – источник питания переменного тока; mA – мультиметр

Для прямого и обратного хода показания снимались по 5 раз, усреднялись и средние значения записывались в таблицы 1-2 для датчиков давления Элемер-АИР-30М и Honeywell, соответственно.

Таблица 1 – Результаты эксперимента Элемер-АИР-30М

Показания эталонного манометра, кгс/см ²	Показания мультиметра I, mA		Вариация, выходного сигнала, %	Значения, приведенные к среднему показателю \bar{x} , mA
	Прямой ход	Обратный ход		
0	4	4,02	0,03	4,01
1	7,92	7,95	0,04	7,935
2	11,85	11,9	0,03	11,875
3	15,83	15,84	0,06	15,835
4	19,72	19,72	0,05	19,72

Из описания датчиков следует, что допускаемые значения основной приведенной погрешности $\gamma_{\text{доп}} = 0,2\%$. При повышении и понижении давления максимальное значение основной приведенной погрешности составило 0,2% при допускаемом значении 0,2%. Следовательно, датчик давления Элемер-АИР-30М признается годным к эксплуатации.

Таблица 2 – Результаты эксперимента Honeywell

Показания эталонного манометра, кгс/см ²	Показания мультиметра I, мА		Вариация, выходного сигнала, %	Значения, приведенные к среднему показателю \bar{x} , мА
	Прямой ход	Обратный ход		
0	4,03	4,05	0,02	4,04
1	7,96	7,92	0,04	7,94
2	11,97	11,93	0,04	11,95
3	15,83	15,81	0,02	15,82
4	19,74	19,74	0	19,74

Допускаемые значения основной приведенной погрешности $\gamma_{\text{доп}} = 0,15\%$.

При повышении и понижении давления максимальное значение основной приведенной погрешности составило 0,15% при допускаемом значении 0,15%.

Следовательно, датчик давления Honeywell признается годным к эксплуатации.

Из научной исследовательской работы за 2022 год, были взяты результаты калибровки датчика Метран-100. Допускаемые значения основной приведенной погрешности $\gamma_{\text{доп}} = 0,25\%$. При повышении и понижении давления максимальное значение основной приведенной погрешности составило 0,25% при допускаемом значении 0,25%. Следовательно, датчик давления Метран-100 признается годным к эксплуатации.

Согласно стандарту, ГОСТ ISO/IEC 17025-2019 [8] обязательной частью калибровки средств измерений является оценка неопределенности измерений.

В таблице 3 показан итог рассчитанных неопределенностей всех датчиков давления и сравнение метрологических характеристик с показаниями эталонного манометра равному 0 кгс/см².

Таблица 3 – Сравнение метрологических характеристик датчиков давления Метран-100, Элемер-АИР-30М, Honeywell.

Метрологический параметр		Метран-100	Элемер-АИР-30М	Honeywell
Абсолютная погрешность прибора, кгс/см ²	При повышении давления	0,02	0	0,03
	При понижении давления	0,05	0,02	0,05
Относительная погрешность прибора, %	При повышении давления	0,50	0	0,74
	При понижении давления	1,27	0,50	1,23
Основная приведенная погрешность прибора, %	При повышении давления	0,125	0	0,108
	При понижении давления	0,25	0,2	0,15
Допускаемые значения основной приведенной погрешности, %		0,25	0,20	0,15
Расширенная неопределенность для 0		3,965+0,01937	4,01+0,019	4,04+0,01913

Из анализа расчетов можно сделать вывод что датчик Метран-100 несмотря на то, что не выходит за пределы допускаемой погрешности, оказался наихудшим из всех трех представленных датчиков давления. Это обусловлено тем, что данный датчик уже снят с производства и технологически устарел, поэтому производитель рекомендует заменять Метран-100 на обновленную модель Метран-150.

При сравнении показателей допускаемых значений основной приведенной погрешности у датчика Honeywell равной 0,15% и у датчика Элемер-АИР-30М равной 0,2%, можно сделать вывод что в теории датчик Honeywell должен быть точнее, но на практике он оказался хуже датчика Элемер-АИР-30М. Датчик Honeywell имеет пьезорезистивный чувствительный элемент, являющийся более точным, в отличие от двух других датчиков, в которых встроен тензометрический чувствительный элемент, пьезометрические чувствительные элементы обладают рядом недостатков. Это связано с тем, что пьезорезистивный датчик Honeywell подходит только для динамического измерения давления, чувствителен к шуму и вибрации, а также на показания датчика могут влиять условия окружающей среды, а именно колебания температуры окружающего воздуха. Именно эти причины и могли послужить ухудшению показаний датчика Honeywell.

Практически по всем показателям датчик Элемер-АИР-30М показал себя более стабильным и устойчивым к внешним воздействиям, что видно из расчетов погрешностей и в расчетах неопределенностей, где он обладает самыми высокими показателями.

Процессу калибровки будет подвергаться манометр МП4-УУ2 с классом точности 1,5 и с максимальным измеряемым давлением 100 кгс/см² (рисунок 3).

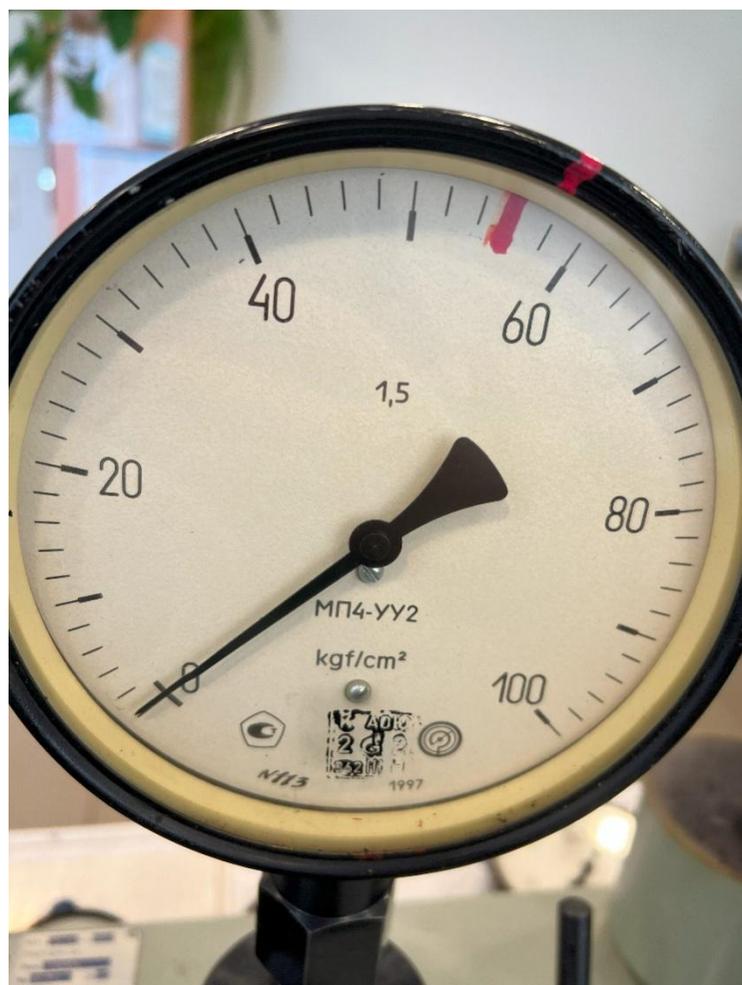


Рисунок 3 – Калибруемый манометр МП4-УУ2

Манометр, МП4-УУ2 устанавливается в манометрическое гнездо грузопоршневого манометра МП-250. С другой стороны, устанавливается эталонный манометр. Далее плотно закрывается клапан и гидропрессом создается необходимое давление в системе грузопоршневого манометра. В качестве рабочей жидкости используется трансформаторное масло. Показания манометра МП4-УУ2 при повышении и понижении давления сравниваются с показаниями эталонного манометра.

Поверку манометров классов точности 1,5 должна производиться не менее чем в пяти оцифрованных точках, равномерно распределённых по всей шкале.

Вывод о годности поверяемого технического манометра делают на основании сравнения максимальной абсолютной погрешности и вариации манометра с их основными допускаемыми значениями.

При понижении и повышении давления максимальное значение абсолютной погрешности составило 0,14 при допускаемом значении 1,5 кгс/см², а максимальная вариация составила 0,14 при допускаемом значении 1,5 кгс/см². Следовательно, манометр признается годным к эксплуатации.

Заключение. В ходе выполнения практики были получены следующие результаты:

– были выделены области применения измерителей давления при производстве материалов;

– классифицированы измерители давления по диапазону измеряемого давления, области применения, а также по принципу действия;

– описаны особенности поверки вакуумметров по сравнению с датчиками избыточного давления. При сравнении методик поверки датчика давления и вакуумметра выяснено, что у них есть схожие этапы поверки, на которых выполняются примерно одинаковые для обоих устройств действия, которыми являются: внешний осмотр, опробование, обработка результатов измерений, оформление результатов поверки. Различия заключаются в том, что на заключительных этапах поверки у вакуумметра ведется расчет основной относительной погрешности, а у датчика рассчитывается основная приведенная погрешность;

– проведён процесс калибровки манометра и датчиков давления с дальнейшим расчетом погрешностей и расчетом неопределенностей измерения. При сравнении показателей допускаемых значений основной приведенной погрешности можно сделать вывод, что в теории датчик Honeywell должен быть точнее, но на практике он оказался хуже датчика Элемер-АИР-30М. Датчик Honeywell имеет пьезорезистивный чувствительный элемент, являющийся более точным, в отличие от датчиков Элемер-АИР-30М и Метран-100, в которые встроен тензометрический чувствительный элемент, пьезометрические чувствительные элементы обладают рядом недостатков. Это связано с тем, что пьезорезистивный датчик Honeywell подходит только для динамического измерения давления, чувствителен к шуму и вибрации, а также на показания

датчика могут влиять условия окружающей среды, а именно колебания температуры окружающего воздуха. Именно эти причины и могли послужить ухудшению показаний датчика Honeywell. Практически по всем показателям датчик Элемер-АИР-30М показал себя более стабильным и устойчивым к внешним воздействиям, что видно из расчетов погрешностей и в расчетах неопределенностей, где он обладает самыми высокими показателями.

Список использованных источников

1 Датчики теплофизических и механических параметров : справочник. В 3 т. Т.1 / под общ. ред. Ю. Н. Коптева ; под ред. Е. Е. Багдатьяна, А. В. Гориша, Я. В. Малкова. – М. : ИПРЖР, 1998. – 548 с.

2 Волошиновский, К. И. Современные и стандартные датчики перепада давления, применяемые в промышленном учете природного газа-метана / К. И. Волошиновский // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2012. – № 4 – С. 174-177.

3 ГОСТ 8.092-73. Манометры, вакуумметры, мановакуумметры, тягомеры, напоромеры и тягонапоромеры с унифицированными электрическими (токовыми) выходными сигналами. Методы и средства поверки. – М. : Издательство стандартов, 1983. – 14 с.

4 ГОСТ 34348-2017. Вакуумная техника. Вакуумметры. Оценивание неопределенностей результатов калибровки при непосредственном сличении с эталоном. – М. : Стандартиформ, 2018. – 13 с.

5 МИ 2124-90. Манометры, вакуумметры, мановакуумметры, напоромеры, тягомеры и тягонапоромеры показывающие и самопишущие. Методика поверки. – М. : Государственный комитет СССР по управлению качеством продукции и стандартам ВНИИМС, 1990. – 24 с.

6 ГОСТ 2405-88. Манометры, вакуумметры, мановакуумметры, напоромеры, тягомеры и тягонапоромеры общие технические условия. – М. : Стандартиформ, 2008. – 32 с.

7 ГОСТ 22520-85. Датчики давления, разрежения и разности давлений с электрическими аналоговыми выходными сигналами ГСП. Общие технические условия. – М. : ИПК Издательство стандартов, 2003. – 23 с.

8 ГОСТ ISO/IEC 17025-2019. Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий. – М. : Стандартиформ, 2021. – 32 с.