

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
Высшего образования
«Санкт-Петербургский политехнический университет имени Петра Великого»
Институт компьютерных наук и технологий
Кафедра «Измерительные информационные технологии»

Работа допущена к защите
Зав. кафедрой
_____ Г.Ф.Малыхина
« ____ » _____ 2015 г.

ВЫПУСКНАЯ РАБОТА БАКАЛАВРА

Оценка климатических параметров и содержания углекислого газа в помещениях

Направление: 12.03.01 – Приборостроение

Выполнила студентка гр. 43505/21

А.О. Обухова

Руководитель: доц., к.т.н.

М.Н. Мешалкина

Санкт-Петербург
2015 г.

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
Высшего образования
«Санкт-Петербургский политехнический университет имени Петра Великого»
Институт компьютерных наук и технологий
Кафедра «Измерительные информационные технологии»

УТВЕРЖДАЮ

«_____» _____ 2015 г.

Зав кафедрой Г.Ф. Малыгина

ЗАДАНИЕ

на выпускную работу бакалавра

студентке Обуховой Анастасии Олеговне группы 43505/21

1. Тема работы

Оценка климатических параметров и содержания углекислого газа в помещениях

2. Срок сдачи студентом законченной работы

июнь 2015

3. Исходные данные к работе

Гигрометр диапазон измерения температуры от 0 до 25°C, влажности от 0 до 90 %

ПКУ-4-Н диапазон измерения углекислого газа от 0 до 1 % об.

Основная абсолютная погрешность измерения концентрации углекислого газа, % об.:

$\pm(0,01+0,05 \cdot C_{\text{вх}})$

Ультразвуковой дальномер EM-56 точность измерения до 0,05%

4. Содержание расчетно-пояснительной записки (перечень подлежащих разработке вопросов)

1) Влияние повышенной концентрации углекислого газа и климатических параметров на здоровье людей

2) Методы измерения углекислого газа

3) Основные метрологические характеристики газоанализатора ПКУ-4-Н и характеристики оборудования для измерения климатических параметров

4) Поверка газоанализатора ПКУ-4-Н

5) Проведение экспериментов

6) Рекомендации по улучшению качества воздуха

5. Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)

1) Функциональная схема поверки газоанализатора ПКУ-4-Н

2) Графики с результатами измерений

6. Консультанты по проекту (с указанием относящихся к ним разделов работы)

7. Дата выдачи задания

1.03.2015

Руководитель _____

Задание принял к исполнению 3.03.2015

(дата)

(подпись студента)

РЕФЕРАТ

с. 33, рис. 7, табл. 4, прилож. 3

Ключевые слова: углекислый газ, климатические параметры, учебные помещения, технические и метрологические характеристики, поверка, влияние углекислого газа на здоровье человека, сильное загрязнение атмосферы, токсичный газ, ацидоз, газоанализатор, санитарно-гигиенический норматив, ПДК рабочей зоны, Европейский норматив, классификация качества воздуха в помещениях.

В данной работе рассмотрены проблемы влияния климатических параметров и углекислого газа на здоровье человека.

Проанализированы существующие нормативы по содержанию углекислого газа в воздухе, выбраны средства измерений, проведена поверка газоанализатора, построен градуировочный график, проведены измерения в наружном воздухе и различных помещениях, проанализированы полученные результаты и выработаны рекомендации по улучшению качества воздуха в университете.

СОДЕРЖАНИЕ

Список использованных сокращений	4
Введение	5
1 Влияние повышенной концентрации углекислого газа и климатических параметров на здоровье людей	7
2 Методы измерения углекислого газа	12
3 Характеристики газоанализатора ПКУ-4-Н и оборудования для измерения климатических параметров	14
4 Основные метрологические характеристики газоанализатора ПКУ-4-Н и его поверка	17
5 Проведение экспериментов.....	23
5.1 Измерение углекислого газа в атмосферном воздухе.....	23
5.2 Измерение углекислого газа и климатических параметров в учебных помещениях университета и его анализ	23
5.3 Измерение углекислого газа в жилых помещениях	27
6 Рекомендации по улучшению качества воздуха в жилых помещениях	29
Заключение.....	30
Список использованных источников	31
Приложение А Внешний вид газоанализатора ПКУ-4-Н	34
Приложение Б Государственный первичный эталон единиц молярной доли и массовой концентрации компонентов в газовых средах.....	35
Приложение В Протокол поверки ПКУ-4-Н	36

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ СОКРАЩЕНИЙ

ГОСТ	– Государственный стандарт;
ИК	– Инфракрасный;
ПДК	– Предельно допустимая концентрация;
ВНИИМ	– Всероссийский научно – исследовательский институт метрологии;
СИ	– Средство измерения;
ГСО	– Государственный стандартный образец;
ПГС	– Поверочные газовые смеси;
ЕН	– Европейский норматив.

ВВЕДЕНИЕ

Углекислый газ является естественным компонентом атмосферы, его нормальное содержание в воздухе населенных мест обычно составляет 0,03-0,04% объемных (далее %). Содержание углекислого газа постепенно растет в воздухе атмосферы Земли, так как этот газ является продуктом горения, содержится в промышленных выбросах, выбросах автотранспорта, а так же является продуктом выдыхания живых организмов. В последнее столетие его содержание увеличилось примерно на 25% [1].

Углекислый газ является сильным парниковым газом, что приводит к изменению климата. Эта проблема в настоящее время является одной из ключевых в области охраны окружающей среды. Для уменьшения выбросов углекислого газа большинство стран мира подписали Киотский протокол, в котором ограничивается выброс парниковых газов, в том числе и углекислого газа. Однако его не подписали основные промышленные державы: США, Канада, Австралия, Китай [2]. Поэтому уменьшение концентрации углекислого газа в атмосфере Земли в ближайшее время ожидать не стоит. Современное глобальное ежемесячное значение углекислого газа отражено графически на рисунке 1 [3].

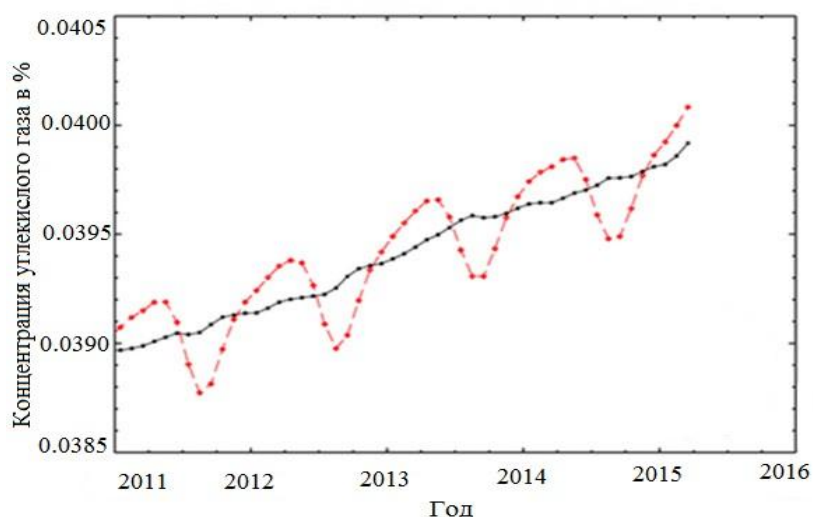


Рис. 1 Современное глобальное ежемесячное значение углекислого газа

Углекислый газ является продуктом жизнедеятельности человека и животных. В спокойном состоянии в выдыхаемом человеком воздухе содержится примерно 3-5% углекислого газа. Для него долгое время не вводились санитарно-гигиенические нормативы. Однако, появление публикаций о том, что повышенная концентрация углекислого газа приводит к ухудшению здоровья [3], способствовало тому, что в 2006 году был введен новый гигиенический норматив, в котором была введена ПДК рабочей зоны для углекислого газа, которая составляет величину 27000 мг/м³ (максимально-разовая) и 9000 мг/м³ (среднесменная) [4]. К примеру, 9000 мг/м³ - это 0,49% , т.е. примерно на порядок больше чем в атмосферном воздухе.

Для углекислого газа только в 2006 году появились нормативы. Величина концентрации углекислого газа довольно высокая и составляет величину 0,5%. Исследования проведенные учеными и гигиенистами рекомендуют, что для хорошего самочувствия концентрация углекислого газа не должна превышать 0,1%. Углекислый газ является продуктом жизнедеятельности человека, образующийся в процессе дыхания [5].

Задачей данной работы является оценка климатических параметров и содержания углекислого газа в учебных помещениях университета во время проведения занятий и после, а также при различных условиях вентиляции, в жилых помещениях.

1 Влияние повышенной концентрации углекислого газа и климатических параметров на здоровье людей

До сих пор в РФ не введены гигиенические нормативы для жилых помещений. Существуют санитарные нормативы по предельно допустимой концентрации (ПДК) загрязняющих веществ для атмосферного воздуха: максимально разовые и среднесуточные [6], а также для воздуха рабочей зоны [4]. Причем для воздуха рабочей зоны концентрации в несколько раз превышают концентрацию загрязняющих веществ для атмосферного воздуха. Предполагается, что в рабочих помещениях будут находиться взрослые здоровые люди в течение рабочего времени. Поэтому гигиенисты рекомендуют соблюдать в жилых помещениях для вредных веществ ПДК не выше максимально-разовых для атмосферного воздуха. В жилых помещениях находятся дети, беременные женщины, больные и пожилые люди, особенно чувствительные к загрязненному воздуху. Также важно качество воздуха в детских садах, школах, колледжах и университетах. От качества воздуха в образовательных помещениях зависит не только здоровье молодого поколения, но также и их способность к обучению.

Последние исследования показали, что увеличивающийся уровень углекислого газа, помимо его влияния на климат, будет иметь определенное токсическое воздействие на здоровье человека. При сравнительно низких концентрациях, выше 0,1 %, углекислый газ в помещении является токсичным газом, поскольку под его воздействием происходят биохимические изменения в крови человека, такие, как ацидоз, который ведет к нарушению в работе всего человеческого организма. Так, повышенная концентрация углекислого газа влияет на здоровье из-за снижения рН крови, что вызывает затруднение дыхания, учащение пульса, головную боль, ухудшение слуха, слабость и усталость. Более того, установлено, что увеличение концентрации углекислого газа в атмосфере может вызывать эмбриональные ненормальности плода [7,8].

Проанализировав европейский норматив для воздуха [9], авторы работы [10] предложили следующую классификацию качества воздуха,

представленную в таблице 1.1. по материалам [10]. Углекислый газ является хорошим индикатором биологических выделений от человека. Классификация по концентрации углекислого газа широко применяется для помещений, в которых находятся люди, и загрязнения являются, в основном, следствием метаболизма человека. На основе этого европейского норматива разработан российский стандарт [11].

Таблица 1.1 – Классификация качества воздуха по содержанию углекислого газа

Уровень углекислого газа, % об.	Физиологическое проявление
0,038-0,04	Идеальный для здоровья и хорошего самочувствия
0,04-0,06	Нормальное количество воздуха. Рекомендовано для детских комнат, спален, офисных помещений, школ и детских садов.
0,06-0,10	Появляются жалобы на качество воздуха. У людей, страдающих астмой, могут учащаться приступы.
выше 0,10	Общий дискомфорт, слабость, головная боль, концентрация внимания падает на треть. Может привести к негативным изменениям в крови, также могут появиться проблемы с дыхательной и кровеносной системой.
выше 0,20	Количество ошибок в работе сильно возрастает, 70 % сотрудников не могут сосредоточиться на работе.

В сравнении с Российским гигиеническим нормативом, где максимально разовая концентрация указана 0,49%, это значение является высоким. Учебные

помещения по российской классификации являются рабочими помещениям. В рабочих помещениях работают взрослые люди в течение смены. А в учебных помещениях образовательных учреждений, в том числе в детских садах, школах, колледжах, университетах, находятся как совершеннолетние, так и несовершеннолетние дети. Для них нужны другие гигиенические нормативы. Поэтому в дальнейшей работе будем считать качество воздуха удовлетворительным по содержанию углекислого газа при концентрации не выше 0,1%. Классификация воздуха в помещениях по углекислому газу представлена в таблице 1.2 по материалам [11].

Таблица 1.2 – Классификация воздуха в помещениях по содержанию углекислого газа

Класс	Характеристика	Содержание углекислого газа в воздухе помещений, %
1	Высокое качество воздуха	0,04-0,06
2	Среднее качество воздуха	0,06-0,08
3	Приемлемое качество воздуха	0,08-0,1
4	Низкое качество воздуха	выше 0,1

Физические свойства воздуха включают температуру, влажность, подвижность воздуха, атмосферное давление, электрическое состояние, солнечную радиацию. Каждый из этих факторов имеет самостоятельное значение, однако на организм они оказывают комплексное влияние.

При характеристике гигиенических показателей воздуха особое значение придают комплексу физических факторов, определяемых как климат. К ним

относят температуру, относительную влажность и подвижность воздуха. Они играют решающую роль в регуляции теплообмена человека.

При гигиенической оценке воздуха закрытых помещений физические факторы, характеризующие климат, объединяют понятием микроклимат помещений.

Температура воздуха является постоянно действующим фактором, определяющим тепловое состояние внешней среды и организма человека, т.е. теплообмен.

Влажность воздуха – содержание в воздухе водяных паров. В комплексе с температурой и подвижностью воздуха определяет теплообмен организма.

Абсолютная влажность воздуха – содержание водяного пара (ρ) в 1 м^3 воздуха. При одинаковой абсолютной влажности насыщение воздуха будет различным при разной температуре. Чем ниже температура, тем меньше водяных паров необходимо для максимального насыщения и, наоборот.

В гигиенической практике, как правило, учитывают относительную влажность воздуха и дефицит насыщения.

Относительная влажность воздуха – степень насыщения воздуха водяными парами в момент наблюдения (%). Определяется отношением абсолютной влажности к влажности, насыщающей воздух при данной температуре [12].

При температуре воздуха от 20°C до 26°C испарение играет незначительную роль в регулировании температуры тела человека. В связи с этим при значениях относительной влажности от 30 % до 70 % нарушений условий теплового комфорта, как правило, не возникает.

Нижний предел относительной влажности 30% задается для предотвращения сухости в глазах и раздражения слизистых оболочек. В суровых климатических условиях допускается меньшая влажность в течение ограниченного периода времени. Дискомфорт от слишком сухого воздуха часто обуславливается наличием пыли или других загрязнений. Низкое значение относительной влажности часто является следствием высокой температуры в

помещении и (или) слишком большого расхода наружного воздуха. Эти факторы следует учитывать при применении увлажнения [11].

Подвижность воздуха характеризуется скоростью движения. Скорость движения воздуха – число метров, проходимых воздухом в секунду.

Подвижность воздуха способствует вентиляции зданий, помещений, приводит к самоочищению воздуха от загрязнений. Наиболее благоприятная скорость движения атмосферного воздуха – 1-5 м/сек, в помещениях – 0,1-0,3 м/сек [12].

Таким образом, содержание углекислого газа выше 0,1% оказывает неблагоприятное воздействие на здоровье людей. Для определения качества помещений в университете необходимо провести исследования при различных условиях вентиляции с помощью высокоточной газоаналитической аппаратуры и проверить, правда ли, что дискомфорт связан не только с увеличением содержания углекислого газа свыше 0,1 %, но и с изменением физических свойств воздуха при скоплении людей в помещении.

2 Методы измерения углекислого газа

Для измерения углекислого газа в воздухе используют различные датчики, среди которых можно выделить две основные группы сенсоров – электрохимические и инфракрасные.

Электрохимические датчики позволяют определять концентрацию газа в смеси по значению электрической проводимости раствора, поглотившего этот газ. Чувствительным элементом датчика является электрохимический сенсор, помещенный в сосуд с электролитом. Недостаток электрохимических датчиков – низкая селективность, необходимость периодически менять электролит.

Инфракрасные датчики работают по принципу поглощения ИК излучения (рис. 2.1). Инфракрасные датчики позволяют определять тип газа по длине волны. В средней ИК области спектра (длина волны 3-6 мкм) лежат фундаментальные полосы поглощения многих промышленных и природных газов. Для углекислого газа – это 4,2-4,4 мкм [13].

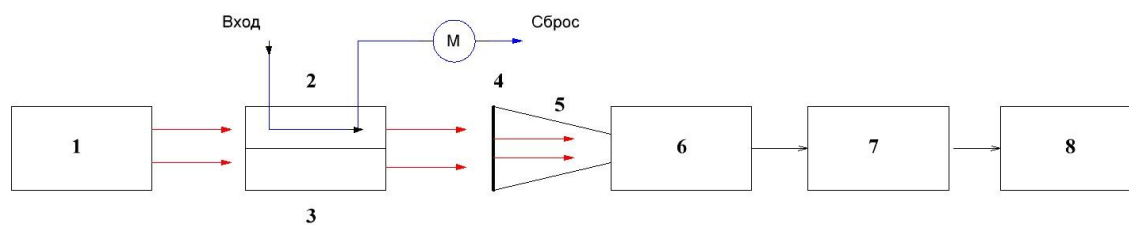


Рис. 2.1 Схема газоанализатора с инфракрасным датчиком

ИК излучение от источника 1, поступает в две расположенные рядом параллельно друг другу кюветы 2 и 3. Через кювету 2 прокачивается анализируемый газ, а кювета 3 содержит воздух свободный от углекислого газа, и образует канал сравнения. Затем оптическое излучение проходит через интерференционный светофильтр 4 имеющий максимальное пропускание 4,2 мкм при ширине полосы пропускания на половине высоты 0,1 мкм. В эту полосу попадает линия поглощения углекислого газа. Далее оба пучка при

помощи концентратора 5 направляются на фотоприемник 6. В фотоприемнике осуществляются преобразование интенсивности падающего света в пропорциональной ей по величине переменный электрический сигнал, и происходит его предварительное усиление. Затем сигнал усиливается в основном усилителе 7 и разделяется на составляющие, соответствующие потокам излучения кюветы 2 и 3 в микропроцессоре 8, с помощью которого определяется искомая концентрация [14].

Таким образом, были исследованы методы измерения углекислого газа в воздухе и выявлено, что инфракрасные датчики по целому комплексу параметров превосходят применяемые в промышленности электрохимические датчики: по стабильному положению нуля и стабильной чувствительности к контролируемому газу, по широкому диапазону измерений, по селективности, по быстродействию [15].

3 Характеристики газоанализатора ПКУ-4-Н и оборудования для измерения климатических параметров

Для измерения концентрации углекислого газа был выбран газоанализатор ПКУ-4-Н с инфракрасным датчиком, преимуществами которого являются быстрое действие, точность, малые габариты, а также простота использования [15]. Внешний вид ПКУ-4-Н приведен в приложении А.

Газоанализатор углекислого газа ПКУ-4-Н предназначен для измерения объемной доли углекислого газа в неагрессивных газовых смесях. Область применения – невзрывоопасные зоны производственных помещений и наружных установок, а также административных и жилых помещений. Газоанализатор углекислого газа ПКУ-4-Н (далее - газоанализатор) представляет собой малогабаритный автоматический прибор непрерывного действия. Газоанализатор обеспечивает звуковую и световую сигнализацию о превышении объемной доли диоксида углерода по двум настраиваемым порогам срабатывания [16].

Газоанализатор был изготовлен в соответствии с ГОСТ 13320-81 [17].

Условия эксплуатации газоанализатора:

- 1) диапазон температуры окружающей и анализируемой сред, °С от минус 20 до плюс 50;
- 2) диапазон атмосферного давления, кПа от 84 до 106,7;
- 3) относительная влажность при температуре 25°С, % от 2 до 98.

Газоанализатор диоксида углерода представляет собой малогабаритный автоматический прибор непрерывного действия.

Газоанализатор имеет выходные сигналы:

- показания цифрового дисплея (жидкокристаллического или светодиодного);
- цифровой выход, интерфейс RS-232C;
- аналоговый выход по току 4...20 мА.

Основные метрологические характеристики

Диапазоны измерений объемной доли диоксида углерода и пределы допускаемой основной абсолютной погрешности приведены ниже:

- 1 диапазон измерений объемной доли диоксида углерода - от 0 до 1%;
- 2 пределы допускаемой основной абсолютной погрешности, объемная доля диоксида углерода $\pm (0,01 + 0,05 \cdot C_{\text{вх}})$, % об.;
- 3 пределы допускаемой вариации выходного сигнала газоанализатора, в долях от пределов допускаемой основной абсолютной погрешности 0,5 [18].

Для измерения температуры в помещениях и относительной влажности воздуха в работе использовался гигрометр ВИТ-1.

Описание: на пластмассовом основании закреплены два термометра, температурная шкала, психрометрическая таблица и стеклянный писатель.

Основные параметры гигрометра представлены в таблице 3.1 по материалам [19].

Таблица 3.1 – Основные параметры гигрометра

Наименование	Диапазон измерения °t сухого термометра, °C	Цена дел. шкалы, °C	Диапазон измерения относительной влажности в зависимости от температур		Габаритные размеры, мм
			Влажность, %	Температура, °C	
ВИТ-1	0...+25	0,2	от 0 до 90	+5...+25	290x120x50

Порядок работы: в питатель гигрометра заливают дистиллированную воду. Измерение относительной влажности воздуха основано на разнице показаний «сухого» и увлажненного термометров. После снятия показаний термометров по психрометрической таблице определяют относительную влажность воздуха [19].

Таким образом, газоанализатор ПКУ-4-Н является подходящим средством измерения для проведения исследований. Для получения достоверных результатов газоанализатор необходимо поверить. Результаты исследования его метрологических характеристик приведены в следующей главе. Гигрометр ВИТ-1 также подходит для исследований, у него нужный для наших измерений диапазон температуры и влажности.

4 Основные метрологические характеристики газоанализатора ПКУ-4-Н и его поверка

К основным метрологическим характеристикам газоанализатора относят: диапазон измерения и погрешность измерения.

В качестве проверки метрологических характеристик применяют поверку средства измерений. Поверка газоанализатора была проведена в отделе государственных эталонов в области физико-химических измерений во ВНИИМ им. Д.И. Менделеева на эталоне 1-го разряда – комплекс ГПП-1.

Рабочий эталон 1-го разряда – комплекс ГПП-1, является рабочим эталоном 1-го разряда в соответствии с поверочной схемой по [20].

Метрологические характеристики [21]:

1. Максимальное значение относительной погрешности измерения расхода комплекса ГПП-1 составило +1,3%, что не превышает пределов, равных $\pm 1,5\%$.

2. Максимальное значение относительной погрешности поддержания расхода комплекса ГПП-1 составило +0,5%, что не превышает $\pm 0,8\%$.

3. Максимальное значение относительной погрешности измерения давления составило - 0,8%, что не превышает пределов, равных $\pm 0,1\%$.

4. Максимальное значение относительной погрешности поддержания давления составило + 0,1%, что не превышает пределов $\pm 0,5\%$.

5. Максимальное значение абсолютной погрешности измерения температуры целевого компонента составило +0,12 °С, что не превышает пределов, равных $\pm 0,20$ °С.

6. Максимальное значение относительной погрешности объемной доли целевого компонента на выходе рабочего эталона составило +4,7%, что не превышает пределов, равных $\pm(5-10)\%$ (в зависимости от режима работы).

Комплекс ГПП-1 входит в поверочную схему Государственного первичного эталона единиц молярной доли и массовой концентрации компонентов в газовых средах ГЭТ 154-2011 в соответствии [20] (Приложение Б). В этой схеме прослеживаемость измерений проходит по следующему пути:

от Государственного первичного эталона ГЭТ 154-2011 к рабочему эталону 1-го разряда комплексу ГПП-1, а от ГПП-1 к рабочему средству измерения газоанализатору ПКУ-4-Н.

Государственный первичный эталон ГЭТ 154-2011 содержит комплекс Б5, аппаратура которого является основой для передачи размера единицы концентрации углекислого газа к рабочему эталону 1-го разряда комплексу ГПП-1.

Б5- комплекс динамического масштабного преобразования молярной доли компонентов в газовых смесях, получаемых на основе генераторов газовых смесей.

При передаче единиц молярной доли и массовой концентрации компонентов используются газовые смеси, приготовленные динамическим методом. Этот метод подразумевает наличие генераторов газовых смесей различных типов, позволяющих получить на выходе струю газа с известным содержанием целевого компонента. Принцип действия генераторов газовых смесей разбавительного типа основан на смешении потоков исходных газов, каждый из которых измеряется и регулируется [20, 22].

Поверка газоанализатора проводилась на рабочем эталоне 1-го разряда, который поверяется с применением эталона ГЭТ 154-2011 в соответствии со схемой поверки, изображенной на рисунке 4.1. Основные этапы проверки правильности показаний газоанализатора проводились в соответствии с методикой поверки [18].

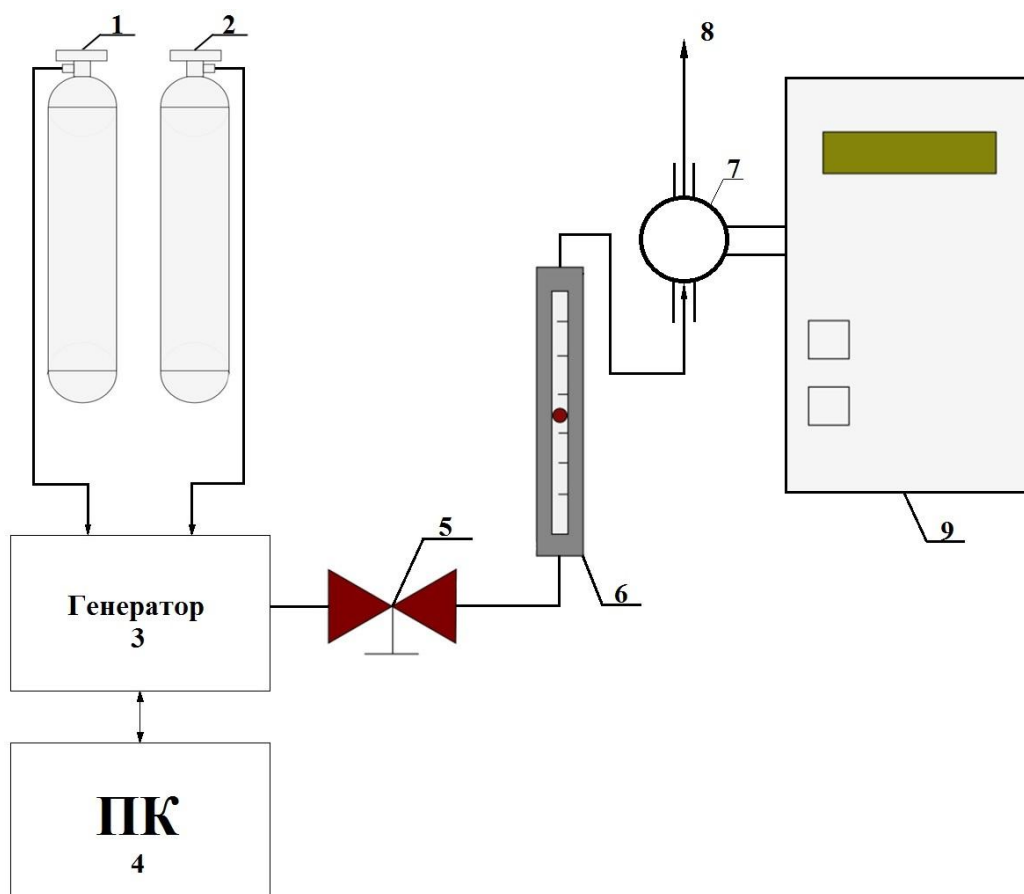


Рис. 4.1 Схема подачи ГСО-ПГС на газоанализатор ПКУ-4-Н

- 1 – баллон с азотом нулевая газовая смесь;
- 2 – баллон с CO₂ с концентрацией 4,55 %;
- 3 - генератор;
- 4 – ПК;
- 5 – вентиль тонкой регулировки;
- 6 – ротаметр;
- 7 – газовый вход и выход;
- 8 – вытяжка;
- 9 – газоанализатор.

При проверке правильности показаний газоанализатора были выполнены все основные операции поверки:

1 Внешний осмотр

При внешнем осмотре было установлено:

- отсутствие механических повреждений (царапин, вмятин и др.), влияющих на работоспособность газоанализатора;

- наличие маркировки газоанализатора;

- исправность органов управления.

Газоанализатор выдержал внешний осмотр удовлетворительно, т.к. он соответствует перечисленным требованиям.

2 Опробование

2.1 Проверка функционирования газоанализатора

Проверку функционирования газоанализатора проводили в следующем порядке:

- включили газоанализатор в соответствии с руководством по эксплуатации газоанализатора, после чего включился дисплей;

- на дисплее отобразился режим тестирования, после которого прибор перешел к непосредственному измерению концентрации углекислого газа.

2.2 Проверка установленных значений порогов срабатывания сигнализации

Результат проверки по этому пункту положительный.

3 Определение метрологических характеристик

Определение основной погрешности газоанализатора было произведено по определенной методике поверки:

а) была собрана газовая схема;

б) на вход эталона 1-го разряда подавались исходные газовые смеси чистого азота и диоксида углерода в азоте с концентрацией 4,55%. Генератор смешивал эти смеси в соответствии с заданной программой на ПК. В соответствии с методикой поверки на вход газоанализатора подавались газовые смеси с концентрациями диоксида углерода в азоте следующего состава:

0; 0,25; 0,5; 0,7 и 0,9 %.

На дисплее газоанализатора были отображены измеренные концентрации, значение которых приведено в протоколе поверки ниже в приложении В.

в) оценка основной абсолютной погрешности газоанализатора была рассчитана по формуле

$$\Delta C = C_i - C_a, \quad (4.1)$$

где C_i – установившиеся показания газоанализатора при подаче i -й ПГС, объемная доля диоксида углерода, %;

C_a – объемная доля диоксида углерода, указанная в паспорте i -й ПГС, %.

Абсолютная погрешность не должна превышать значение

$$\pm(0,01 + 0,05 * C_{вх}). \quad (4.2)$$

Нормативные и технические документы, использованные для проведения поверки, приведены в [18, 21, 24, 25].

4 Представление результатов поверки и заполнение протокола

Результаты представлены в протоколе поверки в приложение В, который был подписан поверителем. Поверка проводилась под его руководством.

Результаты поверки приведены в таблице 4.1, в которой приведены следующие концентрации углекислого газа в % об.:

$C_{вход.}$ – концентрация, подаваемая с эталонного генератора;

$C_{изм.}$ – концентрация, измеренная нашим газоанализатором;

$C_{погр.+}$ и $C_{погр.-}$ – рассчитанные границы погрешности по формуле 4.2.

$$C_{погр.} = \pm(0,01 + 0,05 * 0,25) = 0,0225 \% \text{ об.} \leq 0,025 \% \text{ об.}$$

Был построен градуировочный график погрешности газоанализатора, приведенный на рисунке 4.2.

Таблица 4.1 – Результаты поверки ПКУ-4-Н

$C_{вх.}, \% \text{ об.}$	$C_{изм.}, \% \text{ об.}$	$C_{погр.+}, \% \text{ об.}$	$C_{погр.-}, \% \text{ об.}$
0,00	0,00	0,01	-0,01
0,25	0,27	0,02	-0,02
0,50	0,52	0,04	-0,04
0,70	0,72	0,05	-0,05
0,90	0,92	0,06	-0,06

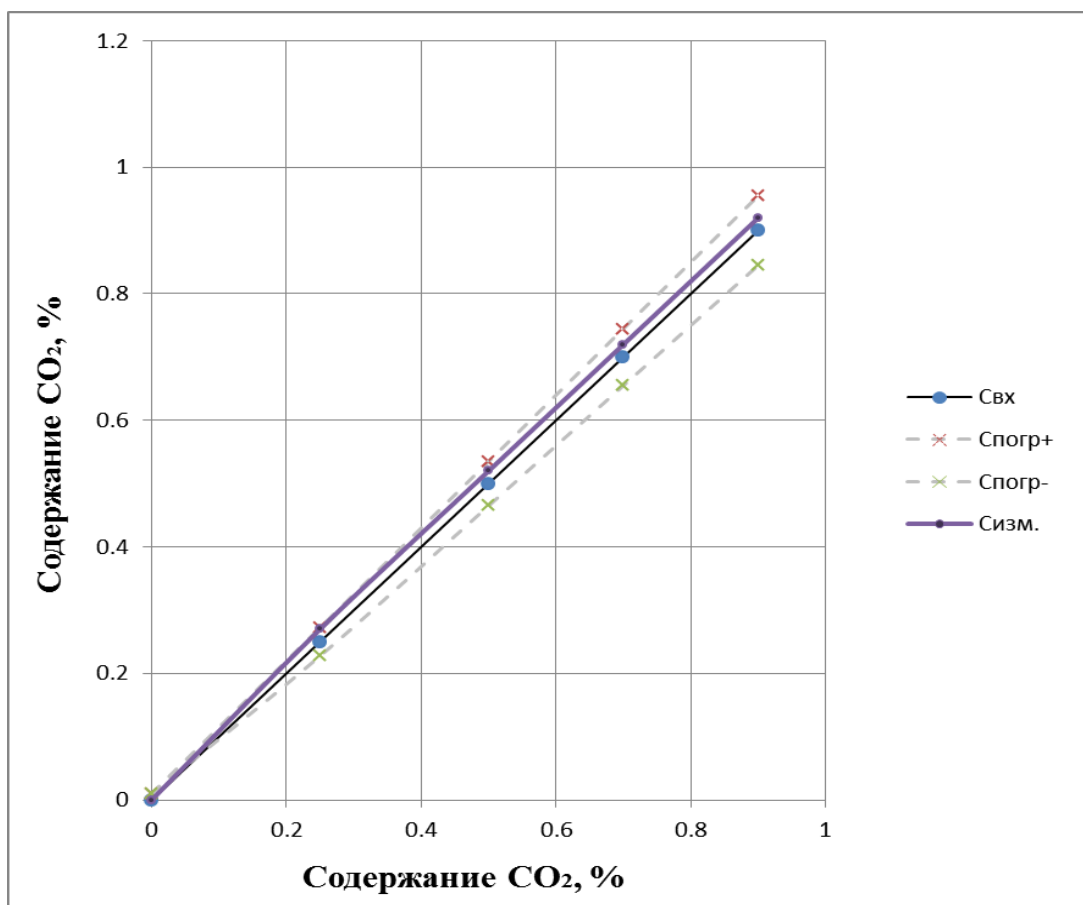


Рис. 4.2 Градуировочный график с рассчитанными границами погрешности газоанализатора

В соответствие с ГОСТ 8.578-2008 газоанализатор ПКУ-4-Н является СИ высокой точности.

Таким образом, в ходе поверки газоанализатора ПКУ-4-Н максимальная погрешность не вышла за допустимые пределы, его измерительный диапазон от 0 до 1 % об. является подходящим для измерения углекислого газа в атмосферном воздухе. Газоанализатор является высокоточным средством измерения. Диапазон измерений, климатические условия, в которых может работать газоанализатор и точностные характеристики позволили прибор признать годным к проведению исследований.

5 Проведение экспериментов

Перед началом измерений была разработана программа и стратегия исследований. Вначале надо измерить углекислый газ в атмосферном воздухе, в городской черте, за городом, в жилых помещениях, а потом в учебных помещениях университета со студентами, без студентов при различных условиях вентиляции.

5.1 Измерение углекислого газа в атмосферном воздухе

Вначале были проведены измерения углекислого газа в атмосферном воздухе в различных зонах города, так как этот же газ поступает в помещения. В загрязненной зоне в центре города и вблизи автомагистралей концентрация углекислого газа составила 0,04-0,05%. При этом фиксировалось резкое увеличение концентрации углекислого газа сразу после прохождения автомобиля, но затем она стремительно снижалась до исходной 0,04%. В чистой зоне в парке политехнического университета и в заповеднике «Комаровский берег» концентрация углекислого газа составила 0,04%.

5.2 Измерение углекислого газа и климатических параметров в учебных помещениях университета и его анализ

Измерение концентрации углекислого газа проводились в нескольких помещениях: в учебной аудитории университета, где проходят потоковые лекции с естественной вентиляцией; в учебной лаборатории университета с приточно-вытяжной вентиляцией, в рабочей лаборатории ВНИИ метрологии им. Д.И. Менделеева с приточно-вытяжной вентиляцией.

Самые низкие концентрации были измерены в рабочей лаборатории ВНИИ метрологии им. Д.И. Менделеева. Концентрация углекислого газа составила величину 0,04%, т.е. как в атмосферном воздухе в центре города. И это притом, что персонал осуществляет поверку и калибровку газоанализаторов углекислого газа до предельных концентраций 100%. В просторном помещении с приточно-вытяжной вентиляцией работает всего 4

человека. Качество воздуха в рабочем помещении можно охарактеризовать как среднее.

Следующий объект для исследования - **учебная аудитория, в которой проходят потоковые лекции.** Объем помещения – 300,7 м³, окна с деревянными рамами и есть 6 вентиляционных решеток. Кроме концентрации углекислого газа еще измерялись температура и влажность. Перед началом занятий концентрация углекислого газа в учебной аудитории составила 0,05%, температура 21⁰С, относительная влажность 46%. Вначале занятий качество воздуха можно охарактеризовать как высокое. Так как на улице было холодно, то во время лекции окна были закрыты. На лекции присутствовало 26 человек. Во время перерыва на 10 минут все студенты вышли и были открыты все окна. Во время лекции концентрация углекислого газа плавно возрастала, и к концу второго часа составила величину 0,22% (рис.5.1), что характеризует качество воздуха как низкое. Температура во время лекции повысилась до 24⁰С, влажность до 48%. Замеры движения воздуха возле вентиляционных решеток с помощью анемометра показали значение ноль, т.е. вентиляционная система засорена. Замеры углекислого газа проводились и после окончания лекции, в этой же аудитории. Постепенно, через 2 часа в пустом помещении концентрация углекислого газа снизилась до значения 0,07%.

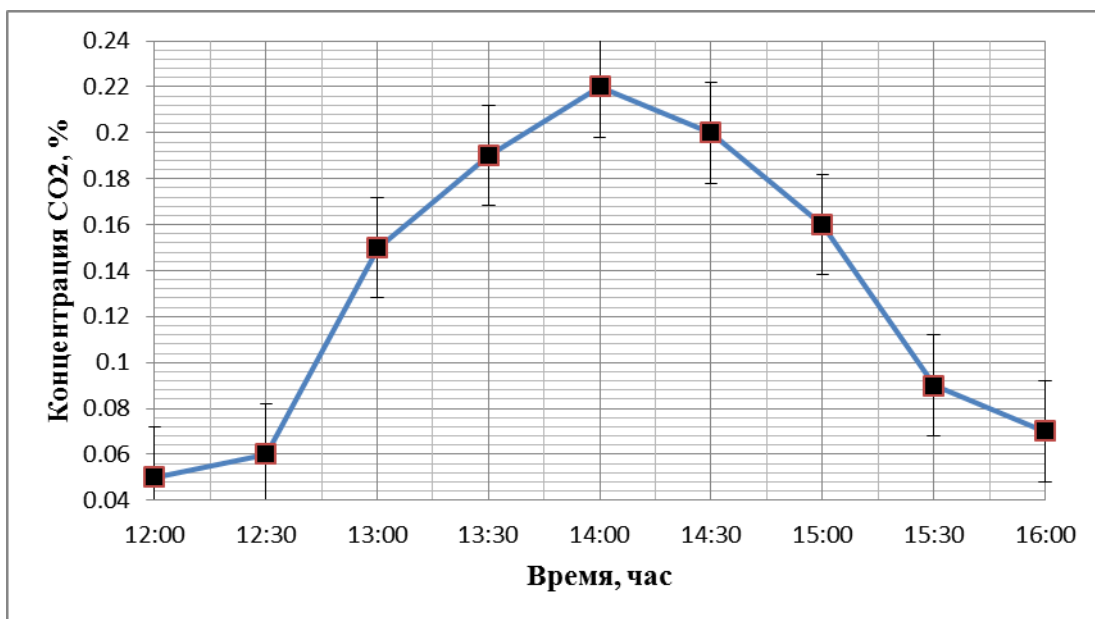


Рис. 5.1 Измерение концентрации углекислого газа в учебной аудитории во время лекции (до 13.45) и после занятий (с 13.45 до 16 часов)

Анализ проведенных исследований. За время прохождения лекции концентрация углекислого газа возросла на величину

$$\Delta C_1 = 0,22 - 0,05 = 0,17 \text{ (\% об.)}$$

При переводе объемной концентрации в массовую получили, что в процессе выдоха студентов, концентрация углекислого газа в данной аудитории увеличилась на 935 г. Один человек в среднем во время нетяжелой работы выделяет примерно 25 г/час углекислого газа. За 2 часа 26 человек выдохнет примерно 1300 г чистого углекислого газа. Итак, разница между измеренным и расчетным значением составила 365 г. Следует учесть, что во время 10-минутного перерыва все студенты вышли в коридор, и были открыты окна. К тому же свежий воздух поступал через щели в деревянных рамах окон.

Аналогичные измерения были проведены **в учебной лаборатории с работающей приточно-вытяжной вентиляцией**. Объем помещения - 165,2 м³. Количество студентов составило 16 человек. Данные измерений представлены на рисунке 5.2.

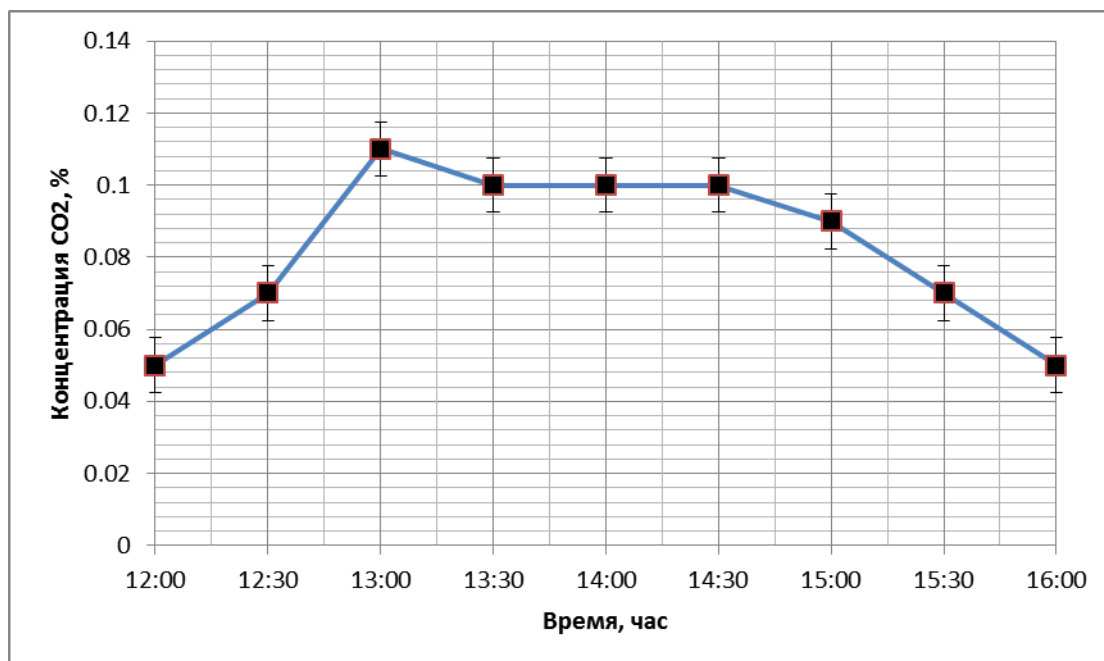


Рис. 5.2 Измерение концентрации углекислого газа в учебной лаборатории во время занятий (до 13.45) и после занятий (с 13.45 до 16 часов)

За время прохождения занятий концентрация углекислого газа возросла на величину

$$\Delta C_2 = 0,10 - 0,05 = 0,05 \text{ (\% об.)}$$

При переводе объемной концентрации в массовую получили, что в процессе выдоха студентов концентрация углекислого газа в данной лаборатории увеличилась на 150 г. Примем величину выделения углекислого газа одним человеком - 25 г/час. За 2 часа 16 человек выдохнут примерно 800 г чистого углекислого газа. Здесь, разница между измеренным и расчетным значением составила 650 г. Почти в 2 раза больше, чем в предыдущем случае. Концентрация углекислого газа в помещении с работающей вентиляцией оказалась ниже, чем в помещении с естественной неотрегулированной вентиляцией. Принудительная приточно-естественная вентиляция создает более комфортные условия для учебы, однако все равно качество воздуха уже через час после начала занятий можно охарактеризовать как приемлемое.

Температура в начале учебных дней, когда проводились измерения составляла примерно 20-21 °С, а к концу дней поднималась до 25 °С, а влажность воздуха была примерно 45 %, а со временем увеличивалась до 50%.

Из этого видно, что температура и влажность у нас меняется не сильно, в отличие от концентрации углекислого газа. И по климатическим характеристикам качество воздуха в помещении является приемлемым.

5.3 Измерение углекислого газа в жилых помещениях

Кроме учебных помещений также были проведены измерения в жилых помещениях: в деревянном доме в сельской местности, в комнате площадью 16 м² в городском доме с пластиковыми окнами, в этой же комнате, когда в ней собралось 10 человек, на кухне в городском доме, на кухне при включенных всех газовых конфорках и выключенной вентиляции.

В комнате, где собралось 10 человек, оказалось самое высокое содержание углекислого газа, это видно из рисунка 5.3:

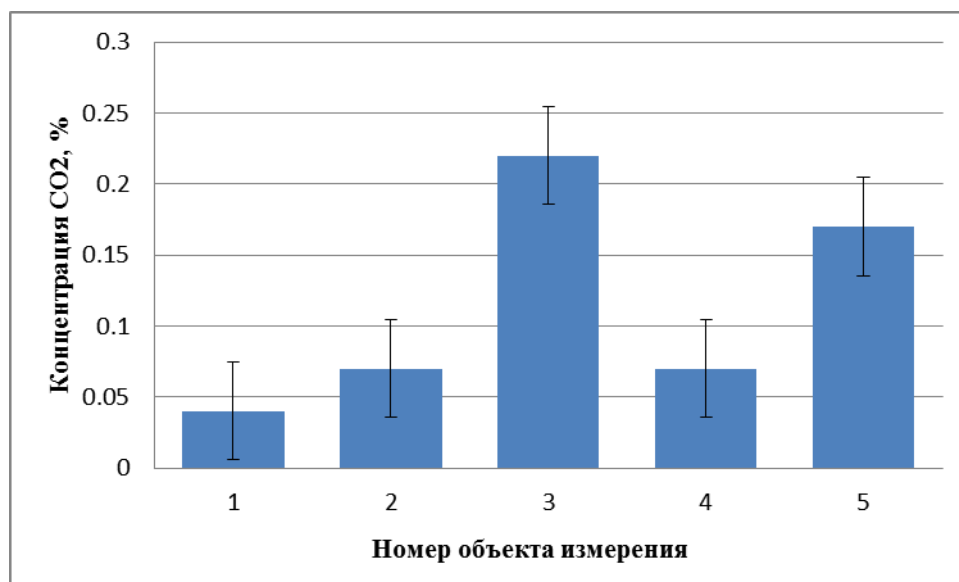


Рис. 5.3 Концентрация углекислого газа в воздухе жилых помещений
1 – воздух в деревянном доме в сельской местности; 2 – воздух в комнате площадью 16 м² в городском доме с пластиковыми окнами; 3 – воздух в этой же комнате, когда в ней собралось 10 человек; 4 – воздух на кухне в

городском доме; 5 – воздух на кухне при включенных всех газовых конфорках и выключенной вентиляции.

В процессе исследований было установлено, что максимальная концентрация углекислого газа в помещениях с работающей вентиляцией оказалась ниже в 2 раза, чем в помещениях с естественной неотрегулированной вентиляцией.

В целом уже через час после начала занятий качество воздуха в помещениях с естественной неотрегулированной вентиляцией можно охарактеризовать как низкое, а с работающей вентиляцией как приемлемое.

Таким образом, достичь более комфортных условий для учебы можно: с помощью принудительной приточно-вытяжной вентиляции, освобождения учебных помещений от учащихся во время перерыва, прочистки вентиляционных каналов.

6 Рекомендации по улучшению качества воздуха в жилых помещениях

Таким образом, достичь приемлемых условий по качеству воздуха во время занятий можно, если:

1 Прочистить все вентиляционные отверстия;

2 В учебно-научных лабораториях при расчете системы вентиляций применять ГОСТ Р ЕН 13779 – 2007;

3 При проведении занятий в лекционных аудиториях во время перерыва отправлять всех студентов в коридор и открывать все окна и форточки;

4 Применять систему рециркуляции воздуха с сорбентами, поглощающими углекислый газ в воздухе.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения работы была проведена оценка климатических параметров и содержания углекислого газа в учебных помещениях университета во время проведения занятий и после, а также при различных условиях вентиляции с помощью газоанализатора.

В первой части работы были проанализированы нормативы и ГОСТы, касающиеся ПДК углекислого газа в помещениях, обоснован выбор газоанализатора, приведен его принцип действия и технические характеристики, а так же в процессе работы была приведена классификация уровней углекислого газа по влиянию на здоровье человека.

Во второй части работы определялись метрологические характеристики выбранного нами газоанализатора. По результатам поверки было установлено, что прибор годен и обладает высокой точностью.

Затем проводились исследования, по которым выяснялось, что уровень углекислого газа в учебной лаборатории с вентиляцией можно считать как приемлемый, а в учебной аудитории без вентиляции, как низкий.

В завершение работы были предложены меры по улучшению качества воздуха в учебных помещениях.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Пенг Дж., Дан Л. Моделирование воздействия концентрации CO₂ на изменения климата // Экологическое моделирование. Том 304, 2015, с. 69-83. (Peng, J., Dan, L. Impacts of CO₂ concentration and climate change on the terrestrial carbon flux using six global climate-carbon coupled models // Ecological Modelling Volume 304, June 04, 2015, pp. 69-83).
2. Киотский протокол [Электронный ресурс]: http://unfccc.int/kyoto_protocol/items/2830.php, режим доступа: свободный, дата обращения: 05.05.2015
3. Губернский Ю.Д., Шилькрот Е.О. Сколько воздуха нужно человеку для комфорта? // Журнал «Вентиляция, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика», 2008, № 4, с. 32-39.
4. ГН 2.2.5.2100-06 "Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны" (дополнение N 2 к ГН 2.2.5.1313-03 "Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны»).
5. Гурин И.И. Квашнин И. М К вопросу о нормировании воздухообмена по содержанию CO₂ в наружном и внутреннем воздухе. [Электронный ресурс]: http://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=4046, режим доступа: свободный, дата обращения: 05.05.2015.
6. Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест ГН 2.1.6.1338-03. Гигиенические нормативы.
7. Гурина И.В. Безопасный уровень углекислого газа требует ревизии // Экологический вестник России. 2008, №10, с. 54-59.
8. Робертсон Д.С. О том, как влияет растущий уровень CO₂ в атмосфере на организм человека // Сантехника, Отопление, Кондиционирование. 2008, №4, с. 32-39.

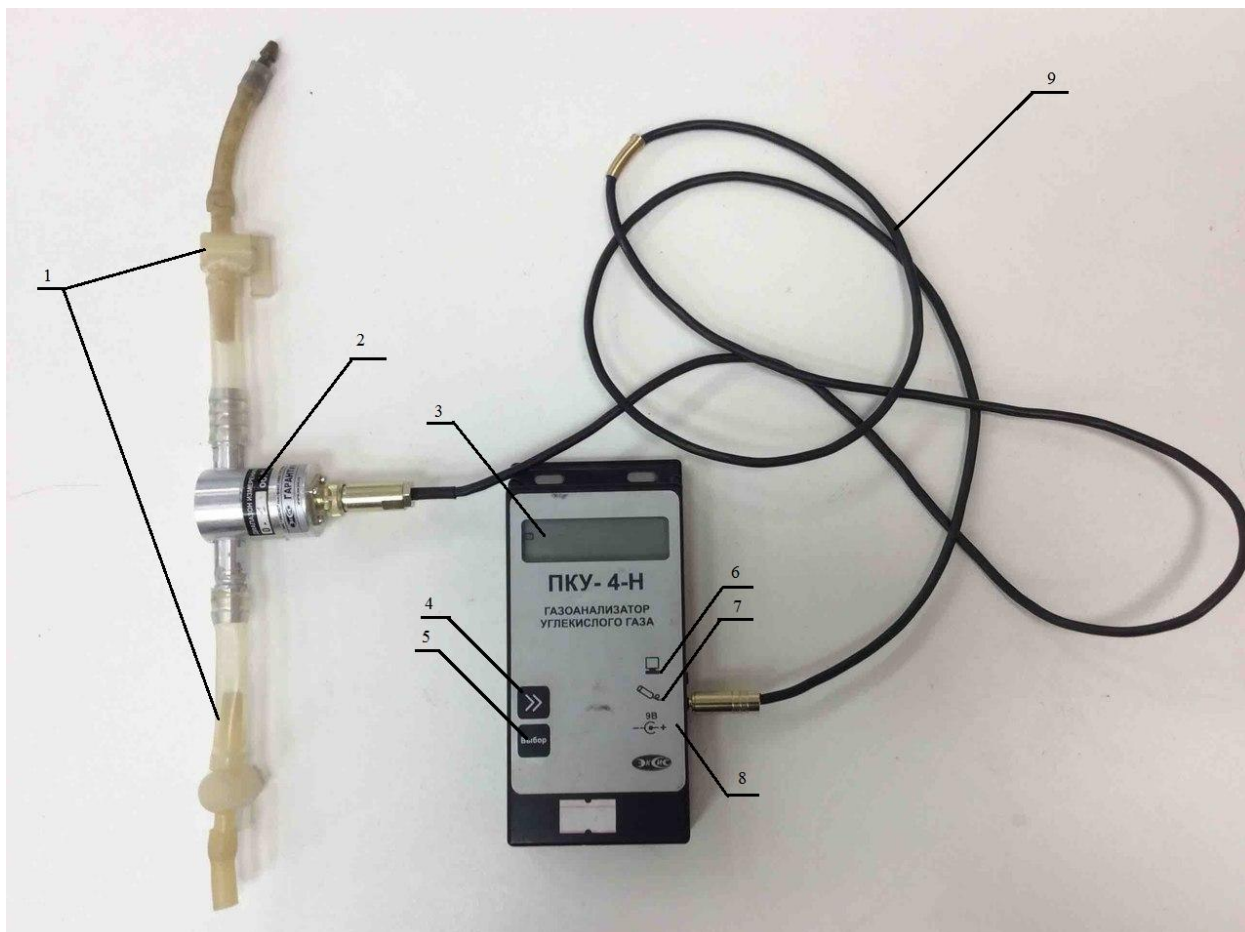
9. Европейский норматив. Вентиляция для нежилых зданий - Требования к рабочим характеристикам для систем вентиляции и кондиционирования (EN 13779:2005).
10. Гурин И.В. Кто ответит за духоту в помещении? [Электронный ресурс]: <http://www.ivik.ua/press/publikatsii/5792/kto-otvetit-za-dukhotu-v-pomeshchenii/>, режим доступа: свободный, дата обращения: 06.04.2015.
11. ГОСТ Р EN 13779-2007 «Вентиляция в нежилых зданиях. Технические требования к системам вентиляции и кондиционирования».
12. Т.М. Дроздова. Санитария и гигиена питания, 2005.
13. Жорж А.Ш. Датчики измерительных систем. 2010. с. 79-84.
14. Васильев В.Д. Аналитическая химия. Книга 2. Физико-химические методы анализа. – М. Изд-во Дрофа, 2009, с. 383.
15. Газоанализаторы промышленные, портативные и стационарные [Электронный ресурс]: <http://msrex.ru/?p=1935>, режим доступа: свободный, дата обращения: 4.04.2015.
16. Газоанализатор диоксида углерода ПКУ-4-Н. Руководство по эксплуатации и паспорт.
17. ГОСТ 13320-81 (статус: действующий) «Газоанализаторы промышленные автоматические. Общие технические условия».
18. Государственная система обеспечения единства измерений. Газоанализаторы диоксида углерода ПКУ-4. Методика поверки. МП - 242 - 0900 - 2009.
19. Гигрометры психрометрические ВИТ-1, ВИТ-2, ВИТ-3 [Электронный ресурс]: <http://www.pozitron-s.ru/catalog/93/146>, режим доступа: свободный, дата обращения: 6.04.2015.
20. ГОСТ 8.578-2008 (статус: действующий) Государственная поверочная схема для средств измерений содержания компонентов в газовых средах.

21. Метрологические характеристики ГЭТ 154-2011 [Электронный ресурс]: <http://fhi.vniim.ru/struct/standards/get-154/>, режим доступа: свободный, дата обращения: 05.05.2015.
22. Метрология физико-химических измерений. Коллектив авторов/ Под ред. Л.А. Конопелько, М.С. Рожнова. – СПб, 2011. -580 с.: ил.
23. ГОСТ Р 52931-2008 (статус: действующий) Приборы контроля и регулирования технологических процессов. Общие технические условия.
24. Технические условия ТУ 4215-010-70203816-2008.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение А

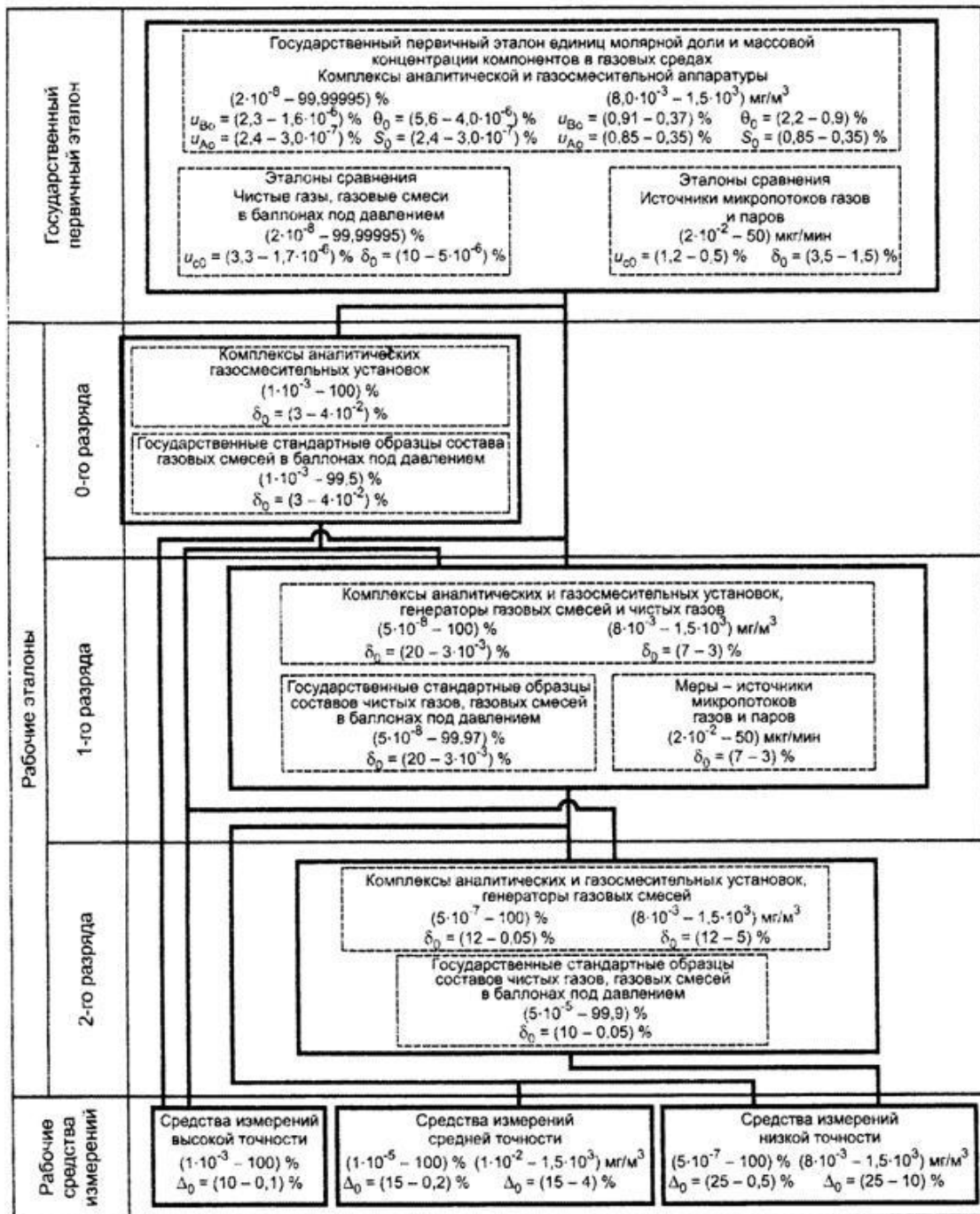
Внешний вид газоанализатора ПКУ-4-Н



- 1 – Газозаборные трубки;
- 2 – ИК датчик;
- 3 – Индикаторное табло
- 4 – Кнопка переключения пределов измерения;
- 5 – Кнопка включения/выключения прибора;
- 6 – Разъем для подключения прибора к ПК;
- 7 – Разъем для подключения газопровода;
- 8 – Разъем для подключения внешнего питания;
- 9 – Газопровод.

Приложение Б

Государственный первичный эталон единиц молярной доли и массовой концентрации компонентов в газовых средах



Приложение В

Протокол поверки ПКУ-4-Н

Протокол поверки № 1 Дата 20.03.2015
 Тип СИ Газоанализатор ПКУ-4-Н
 Зав. № 5921
 Принадлежит _____
 Температура окружающего воздуха 21,7 °С
 Относительная влажность 23 %
 Атмосферное давление 101 кПа 750 мм рт. ст.
 Определение метрологических характеристик:

Состав ПГС	Номинальное значение содержания определяемого компонента	Показания (состояние сигнализации)		Погрешность
		Дисплей	Аналоговый выход	
CO ₂ - N ₂	0,9%	0,92		
	0,7%	0,72		
	0,5%	0,52		
	0,25%	0,27		
	0	0		
		Диапазон измерения от 0 до 5,0 % CO ₂		
		$\Delta_0 = \pm (0,01 + 0,05 C_{\text{вх}})$		
Поверитель: <u>Соколов Т. В.</u>				

ФИО, подпись 