**Гордеев, Дмитрий Александрович. Генератор относительной влажности газов на принципе смешения потоков : диссертация ... кандидата технических наук : 05.11.13.- Санкт-Петербург, 2000.- 122 с.: ил. РГБ ОД, 61 00-5/2803-5**

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ (ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)**

**На правах рукописи**



ГОРДЕЕВ ДМИТРИЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ

**ГЕНЕРАТОР ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ВЛАЖНОСТИ ГАЗОВ НА ПРИНЦИПЕ СМЕШЕНИЯ ПОТОКОВ**

**Специальность 05.11.13 - Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий.**

**Диссертация**

на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель - доктор технических наук, профессор Катушкин В.П.

Научный консультант - доктор технических наук, зав. отделом метрологии - главный метролог ВНИИЖ

Бегунов А.А.

Санкт-Петербург

2000

**Оглавление**

[**Введение 4**](#bookmark1)

1. [**Аналитический обзор 7**](#bookmark2)
   1. [**Определение понятия «влажность газов» 7**](#bookmark3)
   2. [**Характеристики влажности газов 7**](#bookmark4)
   3. [**Анализ состояния парка приборов влажности газов 10**](#bookmark5)
   4. [**Анализ системы метрологического обеспечения измерений влажности газов 12**](#bookmark6)
   5. [**Методы и средства градуировки и поверки гигрометров 14**](#bookmark7)
      1. [*Метод насыщенных растворов**15*](#bookmark8)
      2. [*Метод двух давлений**20*](#bookmark9)
      3. [*Метод двух температур**24*](#bookmark11)
      4. [*Метод смешения потоков**30*](#bookmark13)
      5. [*Гравиметрический метод**32*](#bookmark15)
   6. [**Обоснование выбранного направления 33**](#bookmark16)
   7. [**Выводы 35**](#bookmark17)
2. **Теоретическое обоснование и исследование выбранного метода 36**
   1. [**Определение относительной влажности как физической величины 36**](#bookmark19)
   2. **Теоретический анализ процессов тепло - массообмена в условиях смешения потоков39**
   3. [**Методика расчета и расчет основных узлов генератора 46**](#bookmark22)
      1. [*Методика расчета и расчет узла адсорбционной осушки воздуха**46*](#bookmark24)
      2. [*Методика расчета и расчет насытителя**49*](#bookmark26)
      3. [*Методика расчета и расчет теплообменника**52*](#bookmark27)
      4. [*Выбор конструктивных параметров смесителя**53*](#bookmark29)
      5. [*Выбор конструкции измерительной камеры**55*](#bookmark30)
   4. [**Теоретический анализ источников погрешности и оценка погрешности задания влажности 56**](#bookmark31)
      1. [*Вывод уравнения для расчета погрешности задания влажности**56*](#bookmark32)
      2. [*Анализ источников погрешности**57*](#bookmark37)
      3. [*Расчет систематической и случайной погрешности**62*](#bookmark38)
   5. [**Выводы 65**](#bookmark40)
3. [**Конструктивные особенности генератора 66**](#bookmark41)
   1. [**Функциональная схема генератора 66**](#bookmark42)
   2. [**Генератор влажного газа 69**](#bookmark43)
   3. [**Термостат 72**](#bookmark44)
   4. [**Термогигрометр 74**](#bookmark45)
      1. [*Чувствительный элемент термогигрометра**74*](#bookmark46)
      2. [*Схема включения чувствительного элемента* **77**](#bookmark47)
      3. [*Градуировочная характеристика термогигрометра*77](#bookmark48)
   5. [**Выводы 80**](#bookmark50)
4. [**Экспериментальные исследования метода и генератора 81**](#bookmark51)
   1. [**Задачи экспериментальных исследований 81**](#bookmark53)
   2. [**Аппаратура и техника экспериментов 81**](#bookmark54)
      1. [*Методика работы на генераторе**83*](#bookmark55)
      2. [*Контрольно-измерительная аппаратура**84*](#bookmark56)

з

* + 1. [*Градуировка устройств контроля расхода**85*](#bookmark57)
  1. [**Методика и результаты экспериментальных исследований 88**](#bookmark58)
     1. [*Исследование стабильности термогигрометра**88*](#bookmark59)
     2. [*Исследование динамических характеристик термогигрометра**89*](#bookmark60)
     3. [*Исследование температурного поля в рабочей камере термостата**91*](#bookmark61)
     4. [*Исследование выхода генератора на температурный режим**92*](#bookmark63)
     5. [*Исследование динамических характеристик генератора**96*](#bookmark64)
     6. [*Градуировка генератора относительной влажности газов**98*](#bookmark65)
     7. [*Исследование режима смешения двух потоков**101*](#bookmark66)
     8. *Исследование стабильности температурно-влажностного режима генератора**102*
     9. [*Исследование влияния начальной температуры и влажности газа**103*](#bookmark69)
     10. [*Исследование воспроизводимости значений относительной влажности**104*](#bookmark71)
     11. *Исследование неравномерности температуры и влажности по объему измерительной камеры**106*
  2. [**Выводы 108**](#bookmark74)

1. [**Применение генератора 109**](#bookmark75)

**115**

[**Выводы 113**](#bookmark77)

**Литература**

**Введение**

Влажность - это один из важнейших параметров газа, измерение которого имеет большое значение и широко применяется в хозяйственной, производственной и научной деятельности. Например, для изучения и прогнозирования погоды необходима информация о влажности слоев атмосферы и о вертикальном распределении водяного пара. Осушка и контроль влажности природного газа предохраняет магистральные газопроводы и технологическое оборудование от серьезных аварий и простоев. Также, важен контроль влажности при применении защитных атмосфер для термической обработки деталей.

Влажность является одним из основных технологических параметров, определяющих качество исходного сырья и конечной продукции. При сушке керамических и огнеупорных изделий перед обжигом, влажность омывающих эти изделия газов необходимо поддерживать на заданном уровне, оптимальном для каждого периода процесса сушки.

В жилых, производственных помещениях и в общественных зданиях влажность воздуха - это один из факторов, определяющих самочувствие и условия комфорта человека.

Задача измерения и регулирования влажности воздуха актуальна в складских и производственных помещениях, связанных с гигроскопическим сырьем, полуфабрикатами и готовыми изделиями и на некоторых машино- и приборостроительных предприятиях для предотвращения коррозии изделий, создания необходимых условий сборки и испытания приборов.

Аналогичные задачи возникают и в сельском хозяйстве при выращивании растений в закрытом грунте (теплицы, оранжереи), в животноводстве и птицеводстве (в инкубаторах и помещениях для содержания скота), продуктивность которого зависит от влажности

окружающего воздуха, в зернохранилищах и помещениях для хранения и дозревания овощей и фруктов.

Регулирование влажности воздуха, наряду с другими параметрами, необходимо в библиотеках и музеях для создания оптимальных условий хранения книг и экспонатов.

В настоящее время существует большой парк приборов (гигрометров) для измерения влажности газов и постоянно разрабатываются новые. Обес­печение единства и точности измерения влажности газов и оценка метроло­гических характеристик разрабатываемых приборов невозможны без разви­тия и совершенствования системы метрологического обеспечения. Отсюда вытекает актуальность разработки новых средств системы метрологического обеспечения приборов для измерения влажности газов.

Целью работы является разработка генератора для создания поверочных паровоздушных смесей с заданной относительной влажностью в соответст­вии с поверочной схемой ГОСТ 8.547-86 «Государственный первичный эталон и государственная поверочная схема для средств измерений относительной влажности газов». Для достижения поставленной цели пред­полагается решение следующих задач:

* проведение аналитического обзора существующих методов и средств создания парогазовых смесей;
* выбор наиболее подходящего или разработка нового метода, поло­женного в основу генератора;
* проведение теоретических исследований выбранного метода и ана­лиз значимости источников погрешности;
* разработка методики расчета основных узлов и выполнение расчета;
* создание генератора для поверки и градуировки гигрометров относи­тельной влажности на базе проведенных теоретических исследова­ний;
* проведение экспериментальных исследований с целью проверки тео­ретических положений, расчетов, определение метрологических ха­рактеристик генератора;
* проведение теоретической оценки погрешности генератора и его градуировка.

**Выводы**

1. Проведен метрологический анализ состояния рабочих средств измерения и технических характеристик известных моделей генераторов, на основании которого обоснована целесообразность создания новых технических средств для градуировки и поверки гигрометров в диапазоне по влажности (5-гЮО) %, по температуре (Юч-60) °С.
2. Выбран метод смешения потоков как способ приготовления прецизионных парогазовых смесей. Теоретически и экспериментально доказана возможность его использования как абсолютного метода воспроизведения относительной влажности в пределах погрешности, определяемой рабочими средствами измерения.
3. Проведен теоретический анализ выбранного метода и оценена значимость источников погрешности генератора, на основе которого получены уравнения и рекомендации, используемые при проектировании. Разработана методика и выполнен расчет основных узлов генератора. Установлены аналитические зависимости, с помощью которых дана теоретическая оценка абсолютной погрешности генератора, составляющая ±1,4%.
4. Создан генератор, основанный на принципе смешения потоков, с рабочим диапазоном по относительной влажности от 5 до 100 %; по температуре от 10 до 60 °С, который состоит из термостата, генератора влажного газа и термогигрометра.
5. Проведены экспериментальные исследования созданного генератора, в результате которых установлено время выхода генератора на температурный режим, составляющее 1 час и время изменения режима по влажности, равное 30 с, что позволяет использовать генератор в целях определения динамических характеристик гигрометров.
6. Выполнена градуировка генератора. Оценка результатов градуировки позволила сделать вывод, что генератор может использоваться для поверки и градуировки гигрометров в диапазоне относительной влажности от 5 до 100 % при температуре от +10 до +60 °С с основной абсолютной погрешностью по относительной влажности +2 %. Этот вывод совпадает с заключением лаборатории государственных эталонов в области аналитических измерений ГУП ВНИИМ им. Д.И. Менделеева.
7. Аттестация паровоздушной смеси в генераторе по процедуре приготовления позволила установить длительность межповерочного интервала не менее 5 лет, а в промежутках довольствоваться поверкой ротаметров и термометра.
8. Термогигрометры, отградуированные с помощью созданного генератора, в течение длительного периода эксплуатации на хлебозаводе «Каравай» и Василеостровком хлебозаводе, демонстрируют стабильность работы и соответствие техническим требованиям.

**Литература**

1. Берлинер М.А. Измерение влажности. М.: Энергия, - 1973. - 400с.
2. Бегунов А.А. Теоретические основы и технические средства гигрометрии: Метрологические аспекты. М.: Из-во стандартов, - 1988. - 350с.
3. Соков И.А. Метрологическое обеспечение гигрометрии. Обзорная информация. М.: ВНИИКИ, - 1987. - вып.1,- 32с.
4. Лыжникова С.А. Приборы для измерения влажности газов и их поверка: Конспект лекций / Гос.ком. СССР по стандатам. М.: Из-во стандартов, - 1988.- 53с.
5. ГОСТ 8.221-76 Влагометрия и гигрометрия (Основные понятия). М:. Из-во стандартов, - 1976. - 4с.
6. Зайцев В.А., Ледохович А.А. Влажность воздуха и ее измерения. Л.: Гидрометеоиздат, - 1974. - с. 17.
7. Харисон Л.П. Основные понятия и определения, относящиеся к влажности. Л.: Гидрометеоиздат, - 1969 - В кн.: Влажность - т.З-с.9.
8. Sonntag D. Hygrometrie. Berlin: Akadimie - Verlag, - 1968. - p.1086.
9. Берлинер М.А. Задачи и тенденции развития гигрометрии. // Измерительная техника. - 1982. - №9,- с.44.

Ю.Соков И. А. Основные понятия и термины в гигрометрии. // Измерительная техника. - 1986. - №2.- с.60.

П.Эмдер Э.А. Анализ употребляемых характеристик влажности. В кн.: Влажность. Л.: Гидрометеоиздат, - 1969 - т.3-с.403.

1. Психрометрические таблицы. М.: Гидрометеоиздат, - 1981. - 125с.
2. Соков И. А. Метрологическое обеспечение гигрометрии. Обзорная информация. М.: ВНИИКИ, - 1982. - вып.5.- 35с.
3. Спенсер-Грегори К., Роурке Е. Гигрометрия. М:. Металлургиздат, - 1963. - 204 с.
4. Холод В.П. Современное состояние и тенденции развития влагометрии твердых и газообразных веществ. М:. ЦНИИТЭИ приборостроения, - 1979. - вып.5 - 53с.
5. Бегунов А.А., Шустова В.П. Метрологический анализ современного состояния отечественной гигрометрии // Приборы и системы управления. - 1975. -№3.- с.ЗО.
6. Мандрохлебов В.Ф., Арутюков Ю.В. Состояние и перспективы разработки и производства гигрометров и средств их метрологического обеспечения. // Измерительная техника. - 1982. - №9.- с.46.
7. Дрянов А.Н. Гигрометр «Волна-5». // ПТЭ. 1986. - №2.- с.235.

19.Sholz G. Metrologishe Probleme der Luftfeuchtemessung. // Wissenshaftliche Zeitschrift. 1980. - №26. - Helf 4. - p.23.

1. Бурдун Г.Д., Марков Б.Н. Основы метрологии. М:. Из-во стандартов, - 1975.-256с.
2. ГОСТ 8.547-86 Государственный первичный эталон и государственная поверочная схема для средств измерений относительной влажности газов. М:. Из-во стандартов, - 1986. - 4с.
3. Бегунов А.А. Принципиальные основы метрологического надзора за приборами для измерения влажности газов. // Метрология - 1975 - №5- с.16.
4. Соков И. А. Принцип построения метрологического обеспечения гигрометрии. //Измерительная техника. - 1986. - №3.- с.31.
5. Бегунов А.А. Поверочные схемы для гигрометров // Измерительная техника. - 1979. - №3,- с.50.
6. Lapinski М., Kostyrko К., Wlodarsky W. Modem Methods for the Control and Mesurement of Humidity and Moisture. Warszawa.: Arkady, - 1976. - p.272.
7. Кузнецов B.A. Ялунина Г.В. Основы метрологии. М.: Из-во стандартов, - 1995. -279с.
8. Веккер Б.Л. Относительная влажность над растворами. В сб.: Материалы Всесоюзного научно-технического совещания «Аналитическое приборостроение, методы и приборы для анализа жидких сред». Тбилиси. **- 1975. -т.11. -С.145.**
9. List R.Y., Smithsonian Meteorological Tables. Wachington: D.C. Smithosomian Institution, - 1958. - p.332
10. Мандрохлебов В.Ф. Исследование и разработка солевых генераторов влажного воздуха: Автореф. дис. ... канд. техн. наук: М., - 1974. - 15 с.
11. Гриднев А.С., Мандрахлебов В.Ф. Солевые генераторы влажного воздуха. // Измерительная техника. - 1982. - №9. - с.59.
12. Гриднев А.С., Мандрахлебов В.Ф. Солевые генераторы влажного воздуха для поверки гигрометров и снятия их статических и динамических характеристик. // Приборы и системы управления. - 1974. -№11.- с.22.
13. Гриднев А.С. Переходные процессы в установке для определения дина­мических характеристик гигрометров. В сб.: Материалы Всесоюзного научно-технического совещания «Аналитическое приборостроение, методы и приборы для анализа жидких сред». Тбилиси. - 1975. - т.2. - с.59.
14. Симонян Г.А., Шахбудагян-Шоу С.Э., Мандрахлебов В.Ф., Гриднев А.С. Стационарные и переносные гидростаты с использованием насыщенных растворов солей. // Приборы и системы управления. - 1970. - №2. - с.ЗЗ.
15. Гриднев А.С., Свиридова А.Я. Основные результаты разработки и испы­тания установки для определения динамических характеристик гигромет­ров. В сб.: Материалы Всесоюзного научно-технического совещания «Аналитическое приборостроение, методы и приборы для анализа жидких сред». Тбилиси. - 1975. - т.2. - с.47.
16. Белошицкий А.П., Симулик М.Д. Образцовый генератор влажности газов на принципе двух давлений. В сб.: Материалы Всесоюзного научно- технического совещания «Аналитическое приборостроение, методы и приборы для анализа жидких сред». Тбилиси. - 1975. - т.2. - с. 145.
17. Соков И.А., Жилинский А.А., Белошицкий А.П., Сатыр Т.А. Образцовый генератор влажного газа «Родник-2ВК». // Измерительная техника. - 1982. - №9. - с.63.
18. Вапняр Г.Д., Соков И.А. Комплекс средств поверки гигрометров КСПГ-
19. // Измерительная техника. - 1982 - №9 - с.62.

38.Instruments at NBS. // USA Trasacfions - 1968 - vol.7. - №4. - p.356.

1. Дубовиков Н.И., Подмирная O.A., Соков И.А. Погрешность генератора влажного газа на методе двух давлений. // Измерительная техника. - 1985. - №7. - с.55.
2. Белоножко В.М., Гриднев А.С., Крепе И.Б., Мандрохлебов В.Ф. Образцовый генератор влажного воздуха для поверки высокотемпературных гигрометров. // Измерительная техника - 1982. - №9. - с.56.
3. Greensplan L. Low-frost-poent humidity generator. // J. Of Research NBS. - 1973 - №5 -c. 145.
4. Меркулов А.П., Колышев Н.Д., Соков И.А. Аттестация образцового динамического генератора влажного газа «Полюс-2». // Измерительная техника. - 1982. - №9. - с.65.
5. Мчелидзе Л.Д. Установка для контроля и создания влажности парогазовых смесей в диапазоне микроконцентраций: Дис. ... канд. техн. наук: Л. - 1984. - 130 с.
6. Гершкович Е.А., Мчелидзе Л.Д., Колышев Н.Д. Образцовая установка для поверки и градуировки гигрометров при отрицательных температурах. // Измерительная техника. - 1982. - №9. - с.67.
7. Дозорцев А.Р., Фридзон М.Ф., Балагуров А.М. Универсальный генератор влажного воздуха «Диполь». // Измерительная техника. - 1986. - №3. - с.35.
8. Дозорцев А.Р., Фридзон М.Ф., Балагуров А.М. Характеристика и метрологическая аттестация универсального генератора «Диполь». // Измерительная техника. - 1988. - №1. - с.45.
9. Фридзон М.Б. Образцовая установка для исследования атмосферных условий. // Метрология и Гидрология. - 1979. - №3. - с.97.
10. Инамацу Т., Такахаси Т. Изготовление прецизионного генератора влаж­ности. // Ое буцури. - 1984 - т.53 - №3 - с.249.
11. Бегунов А.А., Качкагишвили Л.Д., Матвеев JI.T. О давлении насыщенного водяного пара. // Метрология и гидрология. - 1978. - №2. - с.101.
12. Дубовиков Н.И., Дозорцев А.Р., Подмурная О.А., Фридзон М.Ф. Анализ погрешностей методов получения газа с заданной влажностью. // Измерительная техника. - 1986. - №3. - с.33.
13. Гершкович Е.А. Камеры для поверки и градуировки гигрометров. // Приборы и системы управления. - 1970. - №1. - с.39.
14. Гершкович Е.А., Мчелидзе Л.Д. Исследования и аттестация климатических камер. // Измерительная техника. - 1977. - №2. - с.83.
15. Гершкович Е.А., Мчедлидзе Л.Д. Результаты исследований климатиче­ской камеры «Фейтрон». // Холодильная техника. - 1975 - №2 - с.30.
16. Бенгард Ф. Установка для определения статических и динамических характеристик гигрометров. // Измерительная техника. - 1970. - №2,- с.30.
17. Бегунов А.А. Разработка и исследования поверочной установки для определения влагосодержания газов в диапазоне от 3000 до 600000 млн'1: Автореф. дис. ... канд. техн. наук: Л., - 1975. - 22 с.
18. Костырко К. Эталонный сорбционно-гравиметрический гигрометр. // Измерительная техника. - 1976 - №11 - с.30.
19. Теруко Иманауц. Современный уровень исследований эталонов влажно­сти в США. // Кейсокантри. - 1969 - т. 18 - №10 - с.23.
20. Воронец Д., Козич Д. Влажный воздух, термодинамические свойства и применение. М:. Энергоатомиздат. - 1984 - 124 с.
21. Кириллин В.А., Сычев В.В., Шейдлин А.Е., Техническая термодинамика. М.: Из-во Наука. - 1979 - 510с.
22. Радушкевич JI.Д. Курс термодинамики. М.: Просвещение. - 1971 - 288с.
23. Тер-Хаар Д., Вергеланд Г. Элементарная термодинамика. М.: Мир. - 1968 -250с.
24. Андрюшенко А.И. Основы технической термодинамики реальных процессов. М.: Высшая школа. - 1975. - 261с.
25. Харисон Л.П. Неидеальные газы. В кн.: Влажность JL: Гидрометеоиздат, - 1969.-Т.З.-С.128.
26. Вукалович М.П. Таблицы теплофизических свойств воды и водяного пара. М.: Издательство стандартов. - 1969 - 377с.
27. Сидоров А.И., Шумяцкий Ю.И. Адсорбционная осушка газов. М.: Стройиздат, - 1972. - 140с.
28. Сыщиков В.И. Сорбционные осушители воздуха. JL: Стройиздат, - 1969. - 210с.
29. Шолахов А. Исследование некоторых вопросов применения селикагеля для осушки воздуха.: Автореф. дис.... канд. техн. наук: М., - 1971. - 14с.
30. Рамм В.М. Адсорбционные процессы в химической промышленности. - М.: Госхимиздат, - 1951. - 290 с.
31. Алабовский А.Н., Удыма П.Г. Аппараты погружного горения. М.: Из-во МЭИ - 1994-255с.
32. Успенский В.А., Киселев В.М. О скорости барбатирования газа в жидкости. // Журнал прикладной химии. - 1973. - T.XLV. - с.113.
33. Плановский А.Н., Николаев П.И. Процессы и аппараты химической и нефтехимической технологии. М.: Химия, - 1980. - 323с.
34. Домашнев А.Н. Процессы и аппараты химической и нефтехимической технологии. М.: Химия, - 1970. - 403с.
35. Мак-Адамс В.Х. Теплопередача. М.: Металлургиздат, - 1961. - 290с.
36. Михеев М.А. Основы теплопередачи. М.: Энергоиздат, - 1981. -417с.
37. Тадеуш Хоблер. Теплопередача и теплообменники. Jl.: Госхимиздат, - 1961. - с. 541.
38. Х. Хаузен. Теплопередача при противотоке, прямотоке и перекрестном токе. М: Энергоиздат, - 1981. - 381с.
39. Богданов В.В., Христофоров Е.И., Клоцунг Б.А. Эффективные малообъ­емные смесители. Л.: Химия, - 1989. - 223с.
40. Брагинский Л.Н., Бегачев В.И., Барабані В.М. Перемешивание в жидких средах: Физические основы и инженерные методы расчета. Л.: Химия, - 1984. - 336с.
41. Байдон Г.Г. Критический обзор таблиц и графиков, используемых в пси­хрометрии. В кн.: Влажность Л.: Гидрометеоиздат, - 1969. - т.1. - с.9.
42. Вукалович М.П. Таблицы термодинамических свойств воды и водяного пара. М.: Энергия, - 1963. - 383с.
43. Свойства влажного воздуха при давлениях 500-1000 мм.рт.ст (таблицы и диаграммы). М.: Госгортехиздат, - 1963. - 131с.
44. Левич В.Г. Физико-химическая гидродинамика. М.: Физматгиз, - 1959. - 699с.
45. Вулис Л.А. Термодинамика газовых потоков. М.: Госэнергоиздат, - 1950. - с.125
46. Гордов А.Н., Жагулло О.М., Иванова А.Г. Основы температурных изме­рений. М.: Энергоатомиздат, - 1992. - с.64.
47. Гордеев Д.А. Установка задания влажности // Научно-техническая конференция аспирантов СПбГТИ(ТУ), посвященная памяти Сычева М.М.: Тез.,докл. СПб: Изд. СПбГТИ(ТУ), - 1997 - С. 176.
48. Пыко С.М., Снурников В.А., Харазов В.Г., Утешев М.А., Гордеев Д.А. Цифровой регулятор температуры. // Измерительная техника. - 1996 - №11 - с.35.
49. Гордеев Д.А., Катушкин В.П., Шилин В.Л. Установка задания влажности. // Деп. в ВИНИТИ. - 1998. - №2141-В98.
50. Тартаковский Д.Ф., Ястребов А.С. Анализ и оценка погрешностей измерения в учебном процессе. СПб.: СПбГУТ, - 1997. - 62с.
51. Грановский В.А., Сирая Т.Н. Методы обработки экспериментальных дан­ных при измерениях. J1.: Энергоатомиздат, - 1990. - с. 188.
52. Долинский Е.Ф. Обработка результатов измерений. М.: Из-во стандартов, - 1973. - 190с.
53. МИ 2083-90 ГСИ. Измерение косвенные. Определение результатов изме­рения и оценивание их погрешностей. М:. Из-во стандартов, - 1991. - 9с.
54. Булатов М.И., Калинкин И.П. Практическое руководство по фотометрическим методам анализа. Л.: Химия, - 1986. - с.312.
55. Шилин B.JL, Катушкин В.П., Гордеев Д.А. Термогигрометр для высоких влажностей. // Деп. в ВИНИТИ. - 1998. - №2140-В98.