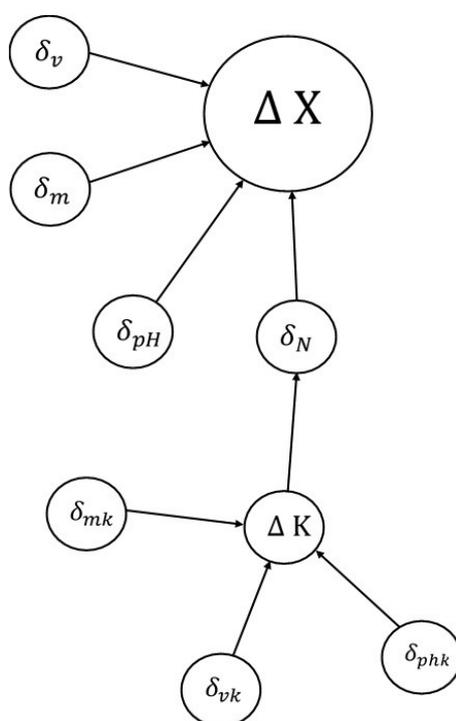


А.А. Бегунов

В.Л. Иванов

Е.А. Травина

ВЫБОР СРЕДСТВ И МЕТОДИК ИЗМЕРЕНИЙ



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
УНИВЕРСИТЕТ ИТМО

А.А. Бегунов

В.Л. Иванов

Е.А. Травина

ВЫБОР СРЕДСТВ И МЕТОДИК ИЗМЕРЕНИЙ

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

РЕКОМЕНДОВАНО К ИСПОЛЬЗОВАНИЮ В УНИВЕРСИТЕТЕ ИТМО

по направлению подготовки

**15.04.04 Автоматизация технологических процессов и производств,
в качестве учебного пособия для реализации основных профессиональных образова-
тельных программ высшего образования магистратуры**

Санкт-Петербург

2019

А.А.Бегунов, В.Л. Иванов, Е.А. Травина, Выбор средств и методик измерений.
– СПб: Университет ИТМО, 2019. – 25 с.

Рецензент: Волкова Ольга Владимировна, д.т.н., профессор НОЦ химического инжиниринга и биотехнологий, декан ФПБИ

Настоящее учебное пособие составлено в соответствии с ФГОС ВО и ОС Университета ИТМО по направлению подготовки 15.04.04 «Автоматизация технологических процессов и производств». В учебном пособии рассмотрены дополнительные вопросы метрологического обеспечения автоматизированных технологических процессов и производств, в том числе биотехнологических производств. Особое внимание уделено недостаточно изложенному в литературе вопросу – детальному выбору средств и методик измерений. Рассмотрены назначение и области применения средств измерения, погрешности измерений при проведении аналитических измерений.

Ключевые слова: измерения, методики, погрешности, аналитические измерения, средства измерений



Университет ИТМО – ведущий вуз России в области информационных и фотонных технологий, один из немногих российских вузов, получивших в 2009 году статус национального исследовательского университета. С 2013 года Университет ИТМО – участник программы повышения конкурентоспособности российских университетов среди ведущих мировых научно-образовательных центров, известной как проект «5 в 100». Цель Университета ИТМО – становление исследовательского университета мирового уровня, предпринимательского по типу, ориентированного на интернационализацию всех направлений деятельности.

© Университет ИТМО, 2019

©А.А.Бегунов, В.Л.Иванов, Е.А.Травина, 2019

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	4
1. Общие положения	4
2. Этапы работ по выбору методик и средств измерений	6
3. Выбор методик и средств измерений по назначению и области применения	7
4. Выбор диапазона измерений	9
5. Принцип выбора методик и средств измерений по точности	10
6. Принцип выбора методик и средств измерений по быстродействию	14
7. Учет условий проведения измерений	15
8. Оценка общей погрешности МИ	16
Приложение 1 (обязательное)	18
Приложение 2 (обязательное)	20
Приложение 3 (справочное)	22
Список рекомендуемой литературы	25

ВВЕДЕНИЕ

Пособие предназначено для магистрантов, обучающихся по направлению подготовки 15.04.04 «Автоматизация технологических процессов и производств» (пищевая промышленность) в рамках дисциплин «Методы исследования систем управления», «Монтаж, наладка, эксплуатация автоматизированных систем управления», «Правила и методики обследования предприятий».

В соответствии с требованиями профессионального стандарта 40.057 специалист по автоматизированным системам управления производством (уровень магистратуры) должен уметь произвести выбор методов и средств измерения эксплуатационных характеристик оборудования, средств и систем автоматизации, контроля, диагностики. Также знания современных принципов выбора средств и методик измерений необходимы при разработке методик, рабочих планов и программ проведения научных исследований в области автоматизации технологических процессов и производств. Учитывая различную базовую подготовку магистрантов, обучающихся по направлению подготовки 15.04.04, представляется крайне полезным изложить современные подходы к выбору средств и методик измерений.

В пособии рассмотрены вопросы выбора методик и средств измерений. В пособии рассмотрены также некоторые дополнительные вопросы, недостаточно изложенные в имеющейся общедоступной учебной литературе по метрологии. Пособие будет также полезно студентам, обучающимся по направлениям подготовки 15.03.04, 19.03.01 и может быть использовано инженерно-техническими работниками исследовательских и эксплуатационных подразделений автоматизированных производств.

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. Выбор методик измерений (МИ) и средств измерений (СИ) заключается в установлении конкретных требований к МИ и СИ, в подборе определенных МИ и выборе типов СИ, отвечающих этим требованиям, и в разработке или уточнении алгоритма измерения согласно решаемой измерительной задаче.

1.2. Всегда следует отдавать предпочтение прямым измерениям перед косвенными. При прямых измерениях обычно используют одно СИ для измерения нужной физической величины, а при косвенных — несколько СИ, вещества и материалы для измерения нескольких различных физических величин. Поэтому при прямых измерениях основой разработки МИ является выбор СИ. Разработка или выбор МИ для косвенных измерений требует определения их обобщенных метрологических характеристик с учетом влияния всех участвующих в измерении (анализе) СИ, вспомогательного оборудования, веществ и материалов, особенностей метода измерений и обработки его результатов.

Выбирать или разрабатывать МИ следует только тогда, когда СИ для прямых измерений не удовлетворяет каким-либо из требований п.1.3.

Пример: Измерение влажности сырья можно произвести прямым измерением при помощи влагомера (относительная погрешность измерения 5%) или косвенным термогравиметрическим методом (относительная погрешность измерения 1,5%). Если необходимо быстрое получение результата и при этом не

требуется высокая точность, то предпочтение следует отдать влагомеру. Если необходима более высокая точность, а время строго не лимитировано, то можно применить термогравиметрический метод.

1.3. Требования к МИ и СИ носят физический, технологический, конструкторский, метрологический, экономический, экологический и социальный характер и включают:

назначение, объект (измеряемое свойство) и область применения;

диапазон измерения;

предел допустимых погрешностей (норма точности измерения);

условия измерения (параметры окружающей среды и объекта измерения, не измеряемые данными МИ или СИ, но влияющие на результат измерения);

быстродействие СИ;

вид информации (местные показания, дистанционные показания, автоматическая регистрация, интегрирование, сигнализация и др.);

необходимость и возможность использования информации в системах автоматического управления;

требования к помещению для анализов и измерений и (или) условия установки СИ (щитовая, на оборудовании, на конструкции по месту);

условия поставки СИ (серийный или единичный выпуск, дефицитность или доступность, по импорту);

стоимость и экономическая эффективность от использования; требования к персоналу, осуществляющему монтаж и техническое обслуживание СИ и оборудования;

обеспеченность поверкой и техническим обслуживанием;

масса и габариты СИ.

Примечание: Приведенное разделение характеристик измерений носит методический характер, поскольку в реальных условиях каждая оказывает влияние на остальные, поэтому их важность следует учитывать в совокупности. Степень важности каждого из указанных требований определяется в конкретных условиях.

1.4. Задачи, для решения которых выбирают МИ и СИ, определяются целью работы.

1.4.1. При разработке новых видов продукции и технологических процессов МИ и СИ выбирают для определения количества и показателей качества или значений физических величин, характеризующих сырье, материалы, полупродукты и готовую продукцию и их взаимосвязь.

1.4.2. При проектировании производств в целом (предприятий, цехов), а также отдельных технологических процессов и оборудования для производства и реализации продукции МИ и СИ выбирают для контроля качества, проведения учетных операций, управления оборудованием и технологическими процессами.

1.4.3. При проведении работ по обеспечению безопасности труда, промышленной санитарии и защите окружающей среды от загрязнения МИ и СИ выбирают для контроля и (или) оценки уровня различных вредных воздействий.

1.4.4. При проведении метрологических работ МИ и СИ выбирают для разработки и аттестации других (менее точных) МИ и СИ, стандартных образцов, справочных данных, поверки и градуировки СИ, при разработке поверочных схем и схем контроля технологических процессов.

1.5. МИ следует выбирать из стандартизированных или аттестованных, а СИ – из включенных в Госреестр или аттестованных.

2. ЭТАПЫ РАБОТ ПО ВЫБОРУ МЕТОДИК И СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ

2.1. Выбор СИ и МИ в полном объеме осуществляется в три этапа.

2.2. Первый этап состоит в анализе объекта измерений для выявления измеряемого свойства и отображающей его физической величины (параметра), подлежащего измерению или контролю.

На этом этапе изучают нормативно-техническую и технологическую документацию на соответствующий вид продукции; анализируют показатели качества и количества продукции; диапазон изменений показателей и распределение их значений внутри диапазона по частоте появления; параметры технологического оборудования и процесса; условия протекания технологического процесса; возможные виды измерения и контроля параметров технологического процесса и показателей качества продукции.

По результатам первого этапа составляют перечень контролируемых показателей продукции и параметров технологического оборудования и процесса по форме, приведенной в табл.1.

Таблица 1

Наименование ступени технологического процесса или продукта	Наименование параметра	Границы возможных измерений параметров	Возможный вид контроля параметра	Особые характеристики процесса
Тесто из пшеничной муки высшего сорта	Конечная кислотность	3-3,5 градуса кислотности по ГОСТ	Титрование едким натром	-----

При необходимости на этом этапе должно быть дано определение измеряемой физической величины и выбрана единица для ее измерения в соответствии с РДМУ 18—9—81.

2.3. Второй этап выбора МИ состоит в сравнительном анализе применяемых и предлагаемой методик и средств измерений с целью выяснения, насколько хорошо они отражают контролируемый параметр, дадут ли измерения по новой методике увеличение количества полезной информации, уменьшение затрат и времени на проведение измерений и требуемую экономическую эффективность производства.

На этом этапе решают выбрать прямые или косвенные измерения, оценивают возможные погрешности измерений различными методами и средствами и выбирают предпочтительные варианты СИ и МИ, исходя из требований, перечисленных в разделе I; определяют места отбора проб или установки СИ, методы и периодичность снятия показаний, порядок взятия и количество проб, устанавливают алгоритм обработки результатов измерений и порядок использования их результатов.

По результатам второго этапа составляют схему контроля технологического процесса (схему проведения измерений), содержание и построение которой должно соответствовать требованиям ГОСТ 18—3— 63.

Методика выполнения работ по этому этапу изложена в разделах 3—7.

2.4. Третий этап работы состоит в экспериментальной проверке (исследовательских испытаниях) предлагаемой МИ для выяснения ее действительных качеств.

При сложных физико-химических и аналитических измерениях все три этапа выполняют в форме научно-исследовательской и опытно-конструкторской работы (НИОКР), в процессе которой сначала разрабатывают требования к измерениям и методику их выполнения, а затем (на третьем этапе) уточняют требования и вносят изменения в МИ.

2.5. При выборе МИ и СИ иногда могут быть заранее известны параметры объекта измерения или часть требований по пп.1.3, 2.2—2.4. Тогда следует произвести только необходимую часть работ, из предусмотренных в пп.2.2—2.4.

2.6. По результатам выбора МИ и СИ должны быть заполнены графы табл.1 и разработана схема контроля технологического процесса или его элемента.

3. ВЫБОР МЕТОДИК И СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ ПО НАЗНАЧЕНИЮ И ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ

3.1. Выбор МИ и СИ по назначению и области применения осуществляется в процессе разработки новых технологических процессов, новых видов продукции, а также технологических инструкций, регламентов и инструкций по контролю технологических процессов на основе данных о параметрах продукта ила технологического процесса.

3.2. Для этого в первую очередь должны быть изучены особенности применения вида измерений и сформулированы требования к принципам измерений, применяемым в выбранной МИ. Следует сравнить возможные различные принципы для рассматриваемого параметра (физической величины). Одну и ту же физическую величину можно измерить на основе различных принципов в зависимости от требуемого диапазона, точности и свойств объекта измерений.

Примеры.

I. Температура может быть измерена при помощи СИ, построенных на гидромеханическом, электрическом и оптическом принципах. Это жидкостные термометры, термометры сопротивления и термоэлектрические термометры, оптические пирометры и др.

2. Расход жидкости может измеряться по перепаду давления или расходомерами различного принципа действия (поршневые, поплавковые, турбинные, электромагнитные).

3. Плотность жидкости измеряют при помощи капиллярных, ротационных, с падающим шариком, вибрационных СИ.

Сравнение возможных и выбор предпочтительных методов измерения осуществляется по литературным и справочным данным.

3.3. Далее необходимо проанализировать стандартизованные МИ и выбрать из них те, в которых применены принципы, обоснованные по п.3.2, которые могут быть использованы непосредственно для проведения измерений или положены в основу разрабатываемой МИ. Для этого следует воспользоваться стандартами технических условий и методов испытаний пищевых и вкусовых продуктов из смежных отраслей пищевых производств из раздела «Н» указателей и отраслевых стандартов.

Пример. Для измерения параметров продукции кондитерской промышленности могут подойти методы, используемые в хлебопекарной промышленности и, наоборот, в хлебопекарной промышленности могут быть применены методы кондитерской промышленности, установленные следующими стандартами:

ГОСТ 5670—51. Хлебобулочные изделия. Методы определения кислотности.

ГСЮТ 5698—51. Хлебобулочные изделия. Метод определения поваренной соли.

ГОСТ 5896—51. Кондитерские изделия. Методы определения содержания спирта.

Следует также проверить стандарты, содержащие методы анализов в химических отраслях из разделов “Л” указателей государственных и отраслевых стандартов.

Если удалось подобрать стандартизованную МИ, то ее следует проверить на соответствие требованиям разделов 4—7 и внести необходимые изменения.

3.4. При выборе СИ следует руководствоваться номенклатурными перечнями, каталогами, справочниками по общепромышленным СИ, а также документами и материалами о специальных СИ других отраслей, используемых для аналогичных или близких целей (смотри приложение 3, пп. 4,5,9-21). Следует проверить возможность применения СИ для предполагаемых измерений и, при необходимости, внести изменения в их схему, конструкцию или методику применения. После этого СИ должны быть аттестованы по ГОСТ 18—359—80.

Пример. Влагомер зерна ПВЗ—10Д, предназначенный для измерения влажности зерна, после проверки в производственных условиях и метрологической аттестации успешно используют для измерения влажности семян ряда масличных культур и продуктов их переработки.

3.5. При выборе СИ необходимо учитывать, что в ряде случаев для измерения одноименных физических величин в одном и том же диапазоне необходимо использовать разные СИ или вспомогательное оборудование, учитывающее дополнительные свойства (неинформативные параметры) объекта измерений, которые могут быть различными для различных объектов измерений.

Пример. Измерять давление агрессивных и кристаллизующихся вязких жидкостей можно только через разделительные сосуды, часть которых стандартизованы по ГОСТ 14320—73.

3.6. Если подобрать средство для прямых измерений не удастся, то следует использовать косвенные измерения или поставить вопрос о разработке нового СИ.

4. ВЫБОР ДИАПАЗОНА ИЗМЕРЕНИЙ

4.1. Диапазон измерений применяемых МИ и СИ должен на 10—50 % превышать диапазон возможных изменений измеряемого параметра и быть ближайшим (из ряда возможных) к границам изменений этого параметра.

Если одна граница диапазона — ноль, то превышение касается только верхней границы диапазона.

Пример. Пусть температура на объекте изменяется в интервале от 50 до 70 °С. Для ее измерения выбран манометрический самопишущий термометр. По каталогу ЦНИИТЭИ приборостроения (том 2) приборы этого типа имеют следующие пределы измерения, близкие к требуемому диапазону температур, °С: 50—150, 0—100, 0—150. Следует выбрать термометр с диапазоном 0—100 °С, т.к. в первом случае нет запаса по нижней границе, а в третьем — верхний предел показаний термометра имеет излишний запас.

4.2. Требование п.4.1 не относится к СИ, в которых результаты измерений выражаются в процентах (%) и верхняя граница диапазона измерений равна 100 %.

Для СИ, показания которых выражены в процентах, диапазон показаний должен на 5—10 % превышать 100 % и калибровка предельного значения 100% должна производиться по контрольной мере.

4.3. Следует иметь в виду, что погрешность измерения при помощи любого СИ и МИ изменяется по диапазону, поэтому выбор диапазона должен осуществляться так, чтобы максимальная погрешность измерения, выбранная в соответствии с требованиями раздела 5, не превышала установленного предела.

4.4. Если диапазон изменений измеряемого параметра настолько велик, что обеспечить необходимую точность измерений и ее малое изменение по диапазону не представляется возможным, то следует разбить диапазон на части, выделив отрезки с наибольшей частотой появления значений параметра. На этих отрезках следует использовать СИ с наилучшими характеристиками.

4.5. Для СИ, у которых нормируется предел допускаемой приведенной погрешности и одна из границ диапазона — ноль, возможные значения измеряемой величины должны укладываться в верхние 2/3 шкалы прибора, но не достигать верхней границы на значение, указанное в п.4.1. Это требование связано с тем, что, по мере уменьшения измеренных значений (показаний), у таких измерительных приборов сильно возрастает относительная погрешность.

Такой способ нормирования погрешностей применяют, например, для аналоговых электроизмерительных приборов (амперметров, вольтметров, ваттметров) и деформационных манометров и вакуумметров. Так, для деформационного манометра с верхним пределом измерений 0,5 (5 кгс/см²) класса точности

1,0 предел допускаемой основной относительной погрешности равен 1 только в верхней точке диапазона. При измерении давления 0,2 МПа (2 кгс/см²) он уже равен 2,5 %.

4.6. При использовании СИ, у которых нормирована абсолютная погрешность (Δ_A) и нижним пределом измерений является ноль, в тех случаях, когда погрешность результата измерений выражают в виде относительной погрешности (в процентах), нижний предел диапазона измерений ограничен значением измеряемой величины (X_{\min}), для которого относительная погрешность измерений Δ_0 не превышает предела $\Delta_{\text{ОМАХ}}$ установленного соответствующим НД на продукцию или технологический процесс:

$$x_{\text{MIN}} \geq \frac{\Delta_A}{\Delta_{\text{ОМАХ}}}$$

Пример. Продукт массой 1 г взвешивают на лабораторных весах ВЛР—20 г — П. При этом относительная погрешность взвешивания равна 0,05 %, а на весах ВЛР—200 г—П погрешность будет 0,5 %.

5. ПРИНЦИП ВЫБОРА МЕТОДИК И СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ ПО ТОЧНОСТИ

5.1. От правильного выбора МИ и СИ по точности, в конечном счете, зависит соответствие качества и количества выпускаемого продукта и качества проведения работ нормам, установленным стандартами и другими НД, а также затраты на измерения.

5.2. Устанавливаемые в НД нормы точности должны быть записаны по ГОСТ 1.5-68 предельными или допустимыми отклонениями того или иного параметра от установленных значений, например; (16 ± 1) либо указаны в виде максимального и минимального значений параметра, например: от 5 до 17 кг. Количественные показатели результатов измерений и способы их выражения следует выбирать из установленных по ГОСТ 8.011—72 и ГОСТ 8.207—76. Совокупности нормируемых метрологических характеристик СИ, включаемых в МИ, должны быть составлены с учетом характеристик, предусмотренных ГОСТ 8.009—72. Способы нормирования и формы выражения метрологических характеристик СИ должны также соответствовать требованиям ГОСТ 8.401—80.

5.3. Следует различать три принципиально различных случая выбора СИ и два случая выбора МИ по точности.

5.3.1. МИ и СИ применяют для контроля основных и (или) критических параметров технологического процесса, показателей качества и количества продукции. Критическим считается параметр или показатель, отклонение значения которого от заданного может привести к тяжелым последствиям, например, к взрыву, порче продукта, появлению опасных для здоровья людей свойств.

Основными считаются показатели качества продукции или параметры технологического процесса, используемые для комплексной оценки качества по обобщенному показателю. Например, к основным показателям качества следу-

ет отнести содержание основного компонента. Правила выбора МИ и СИ для этого случая изложены в пп.5.4—5.9.

5.3.2. СИ применяют для контроля второстепенных параметров продукции, технологического процесса или режимов оборудования. Правила выбора СИ для этого случая изложены в п.5.10

5.3.3. МВ и СИ применяют для измерения значения важных параметров продукта или технологического процесса и при их исследовании или разработке. Правила выбора МИ и СИ для этого случая приведены в п.5.11.

5.4. Задачей МИ и СИ, используемых для контроля, является отделение годных объектов контроля, сырья, материалов, готовой продукции), параметры которых находятся в пределах установленных норм, от негодных объектов, т.е. таких, параметры которых не укладываются в установленные нормы. Первые сдаются заказчику или используются в производстве, а вторые направляются в повторную переработку или отбраковываются.

МИ и СИ обладают погрешностями, о которых обычно известно лишь то, что они находятся в пределах допусков. Наличие погрешностей у МИ и СИ вызывает так называемые ошибки контроля. Последние приводят к тому, что фактически годная продукция может быть ошибочно забракована или фактически негодная продукция может быть ошибочно принята за годную.

5.5. Возникновение ошибок контроля объясняется следующим образом. Пусть поле допуска какого—то параметра контролируемой продукции равно $2\Delta_0$. Номинальное значение этого параметра равно A . Тогда пределы допускаемых отклонений параметра от номинала будут $A + \Delta_0$, $A - \Delta_0$. действительное значение параметра X будет отклонено от номинала A на величину $|\Delta|$, которая не должна превышать $|\Delta_0|$ (см. рис.1 приложения 1).

При контроле качества продукции необходимо установить, что $|\Delta| < |\Delta_0|$ или что $A - \Delta_0 \leq X \leq A + \Delta_0$.

Тогда объект контроля годен.

Если же $|\Delta| > |\Delta_0|$ или $X < A - \Delta_0$, $X > A + \Delta_0$, то объект контроля не годен.

МИ и СИ обладают собственной погрешностью $\pm \delta$. Поэтому в результате измерения находят не отклонения измеряемого параметра от номинала $\pm \Delta$, а сумму $\pm \Delta \pm (\pm \delta)$

При этом может оказаться четыре случайных результата контроля:

1. $|\Delta + \delta| < |\Delta_0|$ и $|\Delta - \delta| < \Delta_0$ при $|\Delta| < |\Delta_0|$

В этом случае фактически годную продукцию (событие Г) в результате контроля правильно признают годной (событие Г). Вероятность этого случайного события равна $P(\Gamma\Gamma)$.

2. $|\Delta + \delta| > |\Delta_0|$ и $|\Delta - \delta| > \Delta_0$ при $|\Delta| > |\Delta_0|$

В этом случае фактически негодную продукцию (событие В) правильно забраковывают (событие Б). Вероятность этого случайного события равна $P(\text{ББ})$.

$$3. |\Delta + \delta| > |\Delta_0|, \text{ но } |\Delta - \delta| < \Delta_0 \text{ при } |\Delta| < |\Delta_0|$$

В этом случае фактически годную продукцию (событие Г) ошибочно забраковывают (событие Б). Вероятность этого события равна Р(ГБ).

$$4. |\Delta - \delta| < |\Delta_0|, \text{ но } |\Delta + \delta_0| > |\Delta_0| \text{ при } |\Delta| > |\Delta_0|$$

В этом случае фактически негодная продукция (событие Б) будет ошибочно признана годной (событие Г). Вероятность этого события равна Р(БГ).

Перечисленные четыре случая составляют полную группу событий при контроле. Поэтому

$$P(\Gamma\Gamma) + P(\text{ББ}) + P(\Gamma\text{Б}) + P(\text{БГ}) = 1.$$

Пусть предел допустимых погрешностей МИ или СИ равен δ_0 . Тогда около границ поля допуска на продукцию $A + \Delta_0$ и $A - \Delta_0$ можно построить зоны неопределенности, показанные в Приложении 1 (рис.1). При попадании фактического значения результата измерения параметра продукции в эти зоны могут возникнуть ошибки контроля.

Вероятность ошибок контроля равна $P_{ок} = P(\Gamma\text{Б}) + P(\text{БГ})$. Естественно, что чем меньше δ_0 по сравнению с Δ_0 , тем уже зоны неопределенности и меньше вероятность ошибок контроля.

За счет ошибок контроля вероятность, что в обращение может поступить некондиционное изделие или сырье, или же хорошее изделие и сырье будут отбракованы. Это вызовет экономические потери, стоимость которых можно рассчитать. Стоимость контроля должна быть существенно меньше стоимости потерь. Поэтому ценные, дефицитные изделия и сырье, а также опасные факторы нужно контролировать более точными методами, а дешевые продукты и второстепенные параметры — простейшими. Этот принцип является основой выбора МИ и СИ для контроля.

Для обоснованного выбора МИ и СИ для контроля следует оценить зависимость стоимости контроля от его точности и стоимость потерь продукции при разной точности контроля. На этой основе выбирают Р(ГБ) или Р(БГ). Для опасных факторов в основу выбора точности измерений ставится Р(БГ).

5.6. Знание вероятностей ошибок контроля для определения отношения «С» пределов допускаемых погрешностей МИ и СИ δ_0 и объект контроля Δ_0

$$c = \frac{\delta_0}{\Delta_0} . \tag{5.1}$$

Для этого необходимо знать еще параметр технологического рассеивания

$$t_0 = \frac{\Delta_0}{S} , \tag{5.2}$$

где S — оценка среднего квадратического отклонения технологического рассеивания контролируемого параметра продукции по множеству проб, взятых в разное время или в разных местах при одних и тех же нормированных условиях.

Значение t_0 определяют следующим образом.

Из НД на продукцию или в результате анализа параметров качества продукции или технологического процесса, осуществленного по п.2.1, определяют значение Δ_0 .

Из журналов лабораторных анализов или по результатам измерений при испытаниях набирают от 15 до 20 текущих значений X_i исследуемого показателя или его отклонений от номинального значения ($x_i - x_0$).

Вычисляют среднее значение показателя

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \cdot \sum X_i \text{ или } \overline{(X_i - X_0)} = \frac{1}{n} \cdot \sum (X_i - X_0), \quad (5.3)$$

где $n=15 \div 20$.

Вычисляют оценку среднего квадратического отклонения

$$S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum (X_i - X_0)^2} \quad (5.4)$$

Примечание: вместо x_i и \bar{X} можно взять $\overline{(X_i - X_0)}$ и $(X_i - X_0)$ соответственно.

Вычисление t_0 производится по формуле (5.2).

Обычно t_0 оказывается в пределах от 2,0 до 2,5. При $t_0=2$ возможная доля продукции, показатель которой выходит за допуск, т.е. полный брак

$$P_B = P(\text{ББ}) + P(\text{ГБ}), \text{ равна } P_B \approx 5 \% \text{ при } t_0=2,5 \text{ соответственно } P_B=1 \%.$$

5.7. Для выбора значения C следует воспользоваться таблицей приложения 2. Выбрав из этой таблицы необходимое значение C и зная Δ_0 , вычисляют значение C по формуле (5.1).

Далее необходимо убедиться, что среди указанных в НД и литературе МИ и СИ имеются такие, которые в рабочих условиях технологического процесса могут обеспечить погрешность измерения (δ), не превышающую (δ_0).

5.8. Окончательный выбор МИ и СИ для контроля следует осуществлять на основании данных, полученных от предприятий, производящих рассматриваемую или аналогичную продукцию, по результатам предварительных лабораторных исследований или по журналам производственных лабораторий и с учетом установленных в НД допустимых отклонений показателей качества продукции.

5.9. В общем случае предельные значения допускаемых погрешностей МИ или СИ не должны превышать половины (0,5) от допуска на контролируемый объект. Изложенную в пп.5.4—5.7 методику выбора МИ и СИ по точности

следует применять, если ожидаемое соотношение точностей C находится в границах $1 > C > 1/5$ (Приложение 2).

Если существуют методы контроля, обеспечивающие $C \leq 1/5$ (0,2) то их можно применять без проверки соотношения точностей C по пп.5.4—5.7.

5.10. При выборе СИ и МИ для контроля и измерения вспомогательных, некритичных для качества продукции параметров следует принимать $C = \frac{1}{3}; \frac{1}{5}$ не прибегая к приведенным выше расчетам вероятностей ошибок контроля. Расчеты следует провести, если выбранные МИ и СИ не обеспечивают $C \leq \frac{1}{3}$.

5.11. СИ и МИ для проведения научно—исследовательских работ выбирают так, чтобы $C \leq \frac{1}{5}$. В этом случае расчеты по пп.5.4—5.7 производят, если фактическое $C > 1/10$. При фактическом $C \leq 1/10$ расчеты вероятностей ошибок не производят.

Если СИ и МИ с заданным запасом по точности подобрать не удастся, то можно применить менее точные МИ или СИ, но при выполнении одного из следующих приемов.

5.11.1. Исключить систематические погрешности, а случайные — уменьшить, применив многократные измерения.

Тогда $C_{\text{многокр.}} = \frac{C_{\text{исх.}}}{\sqrt{n}}$, где $C_{\text{исх.}} \leq \frac{1}{3}$; n — число измерений.

5.11.2. Проводить параллельные измерения при помощи двух или трех (N) однотипных приборов и за результат принимать генеральное среднее арифметическое.

Тогда $C_{\text{общ.}} = \frac{C_{\text{исх.}}}{\sqrt{N}}$

6. ПРИНЦИП ВЫБОРА МЕТОДИК И СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ ПО БЫСТРОДЕЙСТВИЮ

6.1. В процессе измерений параметр объекта может изменяться во времени. Вследствие того, что результаты измерений $X_H(t)$ не успевают точно следовать изменениям измеряемой величины $X(t)$, возникают динамические погрешности Δ_D (см. рис.2 приложения 1).

При малой скорости изменений значения измеряемой величины по сравнению с инерционностью применяемых СИ этими погрешностями можно пренебречь.

В ряде случаев на получение результатов измерений тратится значительное время, и может оказаться, что значения показателя пробы, полученные в результате измерения, будут отличаться от значений тех же показателей, которые были у продукта в момент взятия пробы, так как продукт или проба за время измерения изменились. Тогда погрешность Δ_D может оказаться столь большой, что результат измерений окажется неприемлемым. Поэтому МИ и СИ мо-

гут быть применены для измерения параметра продукта без специального учета динамической погрешности, если изменения измеряемой величины за время измерения T_{II} не превышают 1/3 предела допускаемых погрешностей МИ и СИ, установленной в НД на эти МИ и СИ.

6.2. Большинство процессов обработки пищевых продуктов занимают достаточно длительное время. В процессе обработки периодически могут возникать случайные возмущения (скачки). Если кратковременные выбросы значений параметра не изменяют качества продукта, то можно ограничиться периодическим его измерением. Если же кратковременные выбросы способны испортить продукт, то необходимо непрерывное измерение параметра процесса, а также сигнализация о приближении критического режима или автоматическое ограничение критического значения параметра.

Необходимое СИ выбирают с учетом времени установления его показаний T_{II} . Эта характеристика СИ представляет собой отрезок времени с момента скачкообразного изменения измеряемой величины X до момента, когда показания средства измерений достигнут полосы допуска на погрешность измерения и останутся в ней. T_{II} не должно превосходить 1/3— 1/5 периода времени, в течение которого контролируемый параметр технологического процесса изменится на (20- 25) %. T_{II} приводят в технической документации на СИ. Определение T_{II} показано на рис.3 приложения 1.

При необходимости непрерывной записи значений измеряемого параметра T_{II} должно быть по крайней мере в два-три раза меньше средней длительности выбросов, а при необходимости достаточно четко отразить форму выбросов — в три раза меньше их длительности (см. рис. 3 приложения 1).

6.3. В ряде случаев измерения в пищевой промышленности можно представить в виде системы с чистым запаздыванием. Оно состоит в том, что выходная величина точно соответствует входной, но со сдвигом во времени на запаздывание T_3 . Для этого случая динамическая погрешность не определяется. Такое явление возникает при микробиологических анализах сбраживаемых растворов, результаты которых могут быть получены только через 5 суток, а за это время весь технологический процесс уже пройдет.

7. УЧЕТ УСЛОВИЙ ПРОВЕДЕНИЯ ИЗМЕРЕНИЙ

7.1. Условия применения выбранных МИ и СИ должны соответствовать установленным для них в соответствующих НД.

7.2. При использовании МИ и СИ в условиях, отличных от нормальных, но в пределах рабочих условий, при расчетах δ_0 и C (по разделу 5) необходимо принять во внимание дополнительные погрешности.

7.3. Применение МИ и СИ в условиях, отличных от рабочих, допускается только после проведения их метрологической аттестации на новые условия по ГОСТ 8.326—78 и ГОСТ 18—359—80.

7.4. В процессе разработки МИ должны соблюдаться такие условия монтажа измерительного оборудования, чтобы за счет отборных и других вспомогательных устройств не возникали слишком большие дополнительные погрешности. Возникшие же погрешности должны быть оценены и учтены в общей погрешности измерения (анализа).

Примеры. Для расходомеров с сужающими устройствами необходимо учесть погрешности от этих устройств и иметь в виду, что перед сужающими устройствами и после них необходимы прямые участки трубопроводов, соответствующие действующим требованиям по РД—50— 213-81.

Если эти условия не выполнены, то такой расходомер использован быть не может из-за чрезмерной погрешности.

При использовании термометров и датчиков температуры возникают дополнительные погрешности от способа установки и специальных оправ или защитных чехлов.

8. ОЦЕНКА ОБЩЕЙ ПОГРЕШНОСТИ МИ

8.1. В ряде случаев в НД на методы контроля (анализа) не приведены погрешности описанных в них МИ. В этих случаях для сравнения между собой и выбора МИ необходимо оценить их погрешности.

Это проводится теоретико-экспериментальным методом. Теоретически оценивают систематическую составляющую экспериментально или по данным НД — случайную.

8.2. Оценка систематической составляющей погрешности.

8.2.1. Систематическая погрешность результата измерений возникает от множества различных причин (источников). Поэтому необходимо выявить возможные источники погрешности конкретных измерений (анализа). Такими источниками могут быть, например, средства измерений (измерительные приборы, реактивы), объект измерений, внешние условия, вспомогательное оборудование, работник (человек), проводящий измерение, способ отбора и подготовки проб, способ обработки результатов измерений. Эти источники задают физические величины, называемые влияющими величинами. Они не измеряются в данном анализе, но будут влиять на точность результата измерений.

8.2.2. Из нормативно-технической и технологической документации необходимо определить пределы возможных изменений у всех влияющих величин в условиях, при которых предполагается применить данную МИ.

8.2.3. Вычисляют коэффициенты влияния η_i каждой из влияющих величин Y_i на результат измерения Z . Коэффициент влияния равен

$$\eta_i = \frac{\partial Z_i}{\partial y_i} \text{ или приближенно } \eta_i = \frac{\Delta Z_i}{\Delta y_i} \quad (8.1)$$

8.2.4. Вычисляют составляющие погрешности измерений от различных источников.

$$Q_i = \eta_i \cdot \Delta y_i \quad (8.2)$$

8.2.5. В Соответствии с ГОСТ 8.207—76 систематическая погрешность результата измерений Q_ε по данной МВИ равна

$$Q_\varepsilon = 1,1 \sqrt{\sum Q_i^2} \quad (8.3)$$

где m — число составляющих погрешности.

Пример расчета систематической погрешности МИ приведен в приложении 3.

8.3. Оценка случайной составляющей погрешности.

8.3.1. Случайную составляющую погрешности выражают оценкой среднего квадратического отклонения S или размахом (наибольшим расхождением между n параллельными определениями).

8.3.2. Если в НД на продукцию приведено допускаемое расхождение между двумя параллельными определениями R_2 , то с вероятностью 0,95 оценка среднего квадратического отклонения для случайных погрешностей S не превысит значения:

$$S_{\text{макс}} = \frac{R_2}{2,8}, \quad (8.4)$$

а с вероятностью 0,9 не превысит

$$S_{\text{макс}} = \frac{R_2}{2,3}. \quad (8.5)$$

8.3.3. Если в НД на продукцию отсутствует характеристика случайных погрешностей, то ее следует оценить экспериментально. Для этого необходимо произвести n от 6 до 10 измерений (определений, анализов) одной и той же пробы и по их результатам X_i вычислить среднее арифметическое

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n X_i \quad (8.6)$$

и оценку СКО среднего арифметического S_X

$$S_X = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \cdot \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \quad (8.7)$$

8.4. Оценка суммарной погрешности измерений (анализа) вычисляется по формуле

$$\Delta X = 2 \sqrt{\frac{1}{3} Q_\varepsilon^2 + S_X^2} \quad (8.8)$$

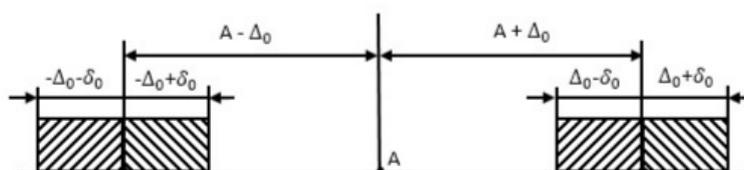


Рис.1. Зоны неопределенности при контроле

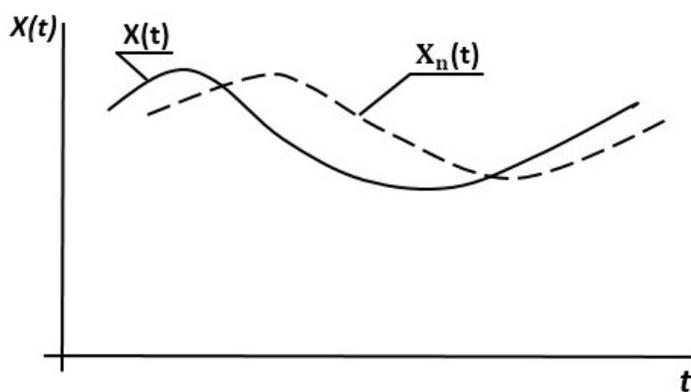


Рис.2. Процесс возникновения динамической погрешности

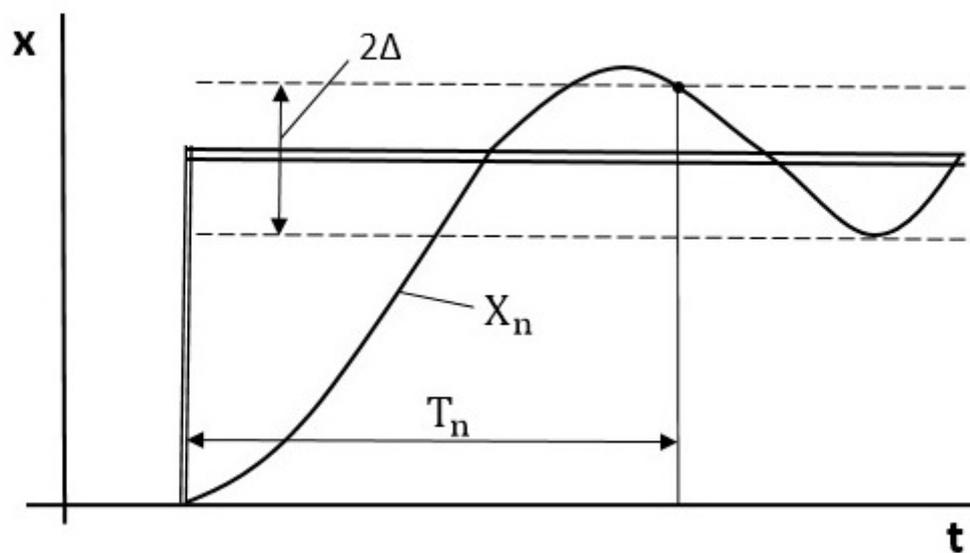


Рис.3. Определение времени установления показаний

**Таблица вероятностей Р(БГ), Р(ГБ), Р(ГГ),
определяющих возможный результат контроля продукции**

В таблице приведены значения указанных вероятностей при равномерном распределении погрешностей МИ или СИ и нормальном распределении значений контролируемого параметра (физической величины).

Параметрами таблицы являются:

C — отношение пределов допускаемых погрешностей МВИ и СИ δ_0 к допуску на контролируемый параметр (Δ_0)

t_0 — отношение допуска на контролируемый параметр (Δ_0) к среднему квадратическому отклонению распределения значения этого параметра (S),

для каждого сочетания значений C и t_0 указаны на первой строке сверху —Р(БГ); на второй —Р(ГБ), на третьей —Р(ГГ).

Таблица

	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
1,00	0,01169	0,02259	0,03289	0,04203	0,05063	0,05852	0,06575	0,07235	0,07836
	0,01250	0,02580	0,03989	0,05473	0,07031	0,08655	0,10341	0,12632	0,13870
	0,67020	0,65689	0,64280	0,62795	0,61238	0,59613	0,57927	0,56135	0,54397
1,50	0,00900	0,01670	0,02323	0,02874	0,03337	0,03726	0,04052	0,04326	0,04557
	0 01046	0 02251	0,03624	0,05173	0,06900	0,08804	0,10877	0,13107	0,15476
	0,85595	0,84390	0,83016	0,81166	0,79737	0,77834	0,75760	0,73530	0,74161
2,00	0,00473	0,00832	0,01103	0,01308	0,01164	0,01582	0,01674	0,01740	0,01804
	0,00617	0,01412	0,02421	0,03676	0,05207	0,07034	0,09166	0,11597	0,14303
	0,94832	0,94038	0,93032	0,91775	0,90244	0,88415	0,86282	0,83531	0,81144
2,50	0,00179	0,00296	0,00374	0,00126	0,00162	0,00487	0,00506	0,00520	0,00531
	0,00271	0,00676	0,01268	0,02109	0,03265	0,04799	0,06760	0, 09168	0,12016
	0,98439	0,98081	0,97489	0,96651	0,95495	0,93959	0,91997	0,89359	0,86741
3,00	0,00050	0,00077	0,00093	0,00103	0,00109	0,00113	0,00116	0,00119	0,00120
	0,00091	0,00254	0,00541	0,01022	0,01793	0,02960	0,04629	0,08877	0,09731
	0,99637	0,99473	0,99188	0,95707	0,97939	0,96771	0,95102	0,92852	0,89998
3,50	0,00010	0,00015	0,00017	0,00019	0,00019	0,00020	0,00020	0,00021	0,00021
	000023	0 00077	0,00193	0,00434	0,00897	001720	0,03063	0,05077	0,07852
	0 99928	0 99874	0,99758	0,99518	0,99055	0,98236	0,96892	0,94875	0,92100
4,00	0,00001	0,00002	0,00002	0,00002	0,00002	0,00002	0,00002	0,00003	0,00003
	0.00004	0,00019	0,00059	0,00166	0,00421	0,00961	0,02000	0,03753	0,06398
	0,99988	0,99973	0,99932	0,99825	0,99572	0,99030	0.97996	0,96240	0,93594

РАСЧЕТ ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ МАССОВОЙ ДОЛИ ЛИМОННОЙ КИСЛОТЫ ПУТЕМ ТИТРОВАНИЯ ОБЪЕМНЫМ МЕТОДОМ

Массовую долю лимонной кислоты по ГОСТ 908—79 определяют методом, основанным на нейтрализации лимонной кислоты раствором едкого натра с молярной концентрацией 1 моль/дм³ (1 нормальный раствор) в присутствии фенолфталеина.

1. Порядок проведения анализа

Из средней пробы лимонной кислоты берут в сухой стаканчик около 2 г и взвешивают с погрешностью не более 0,0002 г. Навеску из стаканчика количественно переносят в коническую колбу вместимостью 250 мл и растворяют в 50 мл воды. Затем титруют раствором едкого натра с концентрацией 1 моль/дм³ (1н) в присутствии раствора фенолфталеина до слабого розового окрашивания, сохраняющегося в течение 1 мин.

Массовую долю лимонной кислоты X в процентах вычисляют по формуле

$$X = \frac{0,07 \cdot 100 \cdot V \cdot N}{m_{\text{л}}}, \quad (1\text{п})$$

где 0,07- масса лимонной кислоты (моногидрата), соответствующая 1 дм³ (1 мл) раствора гидроокиси натрия с концентрацией 1 моль/дм³ (1н).

V — объем раствора гидроокиси натрия с концентрацией 1 моль/ дм³ (1н), израсходованный на титрование, в дм³ (мл);

$m_{\text{л}}$ — навеска лимонной кислоты в г.

2. Погрешность результата определяется по формуле

$$\Delta X = \sqrt{\left(\frac{\partial X}{\partial V} \cdot \delta_V\right)^2 + \left(\frac{\partial X}{\partial N} \cdot \delta_N\right)^2 + \left(\frac{\partial X}{\partial m} \delta_m\right)^2 + \left(\frac{\partial X}{\partial V} \delta_{\text{pH}}\right)^2}, \quad (2\text{п})$$

где δ_V — погрешность определения объема V при помощи бюретки;

δ_N — погрешность определения концентрации (нормальности раствора N);

δ_m - погрешность взвешивания лимонной кислоты;

δ_{pH} - погрешность определения момента равновесия растворов едкого натра и лимонной кислоты при помощи фенолфталеина.

Влияние отдельных составляющих на суммарную погрешность титрования показано на рисунке.

3. Оценивание погрешности взвешивания — δ_m

Лимонную кислоту массой около 2г взвешивают лабораторными весами 2—го класса с погрешностью не более $\Delta_m = 0,0602$ г.

4.Оценивание погрешности измерения объема - δ_V .

Допускаемые отклонения от номинальной вместимости для бюретки на 50 мл по ГОСТ 20292—74 (табл. 9) не должна превышать для бюреток 1-го класса $\pm 0,65$ мл, для бюреток 2-го класса $\pm 0,1$ мл.

После калибровки методом, указанным в ГОСТ 8.234—77 и составления градуировочного графика отсчет объема жидкости может быть сделан с погрешностью не более 0,01; 0,02 мл соответственно.

5. Приготовление раствора для титрования осуществляется следующим образом.

Раствор NaOH, используемый для титрования, сначала готовят приблизительно концентрации, для чего 45 г едкого натра растворяют в 50 мл воды и закрытую колбу оставляют до следующего дня. Прозрачную жидкость сливают с осадка и разбавляют свежевскипяченной и охлажденной водой до 1 л.

6. Далее устанавливается титр раствора по стандартному раствору соляной кислоты или точной навеске янтарной кислоты. Определение титра раствора NaOH по янтарной кислоте осуществляется следующим образом.

Берут точную навеску около 1,5 г химически чистой янтарной кислоты ($C_4H_6O_4$ м.м.118,09), высушенной при 95—100 до постоянной массы. Растворяют в 100 мл свежевскипяченной и охлажденной воды, добавляют две капли 1% раствора фенолфталеина. И титруют приготовленным раствором едкого натра до появления слабого розового окрашивания. Поправочный коэффициент вычисляют по формуле:

$$K = \frac{m_{\text{я}}}{TV} \quad , \quad (3\text{п})$$

где $m_{\text{я}}$ - навеска в г. $m_{\text{я}} \approx 1,5$ г;

$T = 0,05904$ (точно), г/мл;

V — объем титруемого раствора NaOH по бюретке в мл $V=25$.

7. Погрешность K определяется по формуле:

$$\Delta K = \sqrt{\left(\frac{\partial K}{\partial m} \cdot \delta_m\right)^2 + \left(\frac{\partial K}{\partial V} \cdot \delta_V\right)^2 + \left(\frac{\partial K}{\partial V_p} \delta_{V_p}\right)^2} \quad (4\text{п})$$

Погрешность взвешивания на лабораторных весах с учетом погрешности гирь, не превышает $\Delta = 0,15$ мг или ($\Delta = 1,5 \cdot 10^{-4} \text{ г}$).

Погрешность измерения объема при помощи бюретки второго класса вместимостью 100 мл после ее калибровки не превысит $\Delta_V \leq 0,02$ мл.

Погрешность индикации конца титрования при помощи фенолфталеина $\Delta_{\text{И}} \leq 0,03$ мл.

Коэффициент влияния выразится формулами:

$$\frac{\partial K}{\partial m} = \frac{1}{TV} \quad ; \quad \frac{\partial K}{\partial V} = \frac{m_{\text{я}}}{TV^2} \quad ; \quad \frac{\partial K}{\partial V_p} = \frac{m_{\text{я}}}{TV^2}$$

Вычисление коэффициентов влияния на погрешность поправочного коэффициента

$$\frac{1}{TV} = \frac{1 \cdot 10^{-3}}{59 \cdot 25} = 0,683;$$

$$\frac{m_{я}}{TV^2} = \frac{1,5 \cdot 10^3}{59 \cdot 625} = 0,04$$

Погрешность установления титра по янтарной кислоте в соответствии с формулой (4п) равна

$$\Delta K = \sqrt{(0,68 \cdot 2 \cdot 10^{-4})^2 + (0,04 \cdot 0,02)^2 + (0,04 \cdot 0,03)^2} = 10^{-4} \sqrt{1 + 64 + 144} = 14,5 \cdot 10^{-4}$$

8. Коэффициенты влияния составляющих на погрешность результата, подставленные в формулу (2п), выразятся следующим образом:

$$\frac{\partial X}{\partial V} = 7 \cdot \frac{N}{m} = \frac{7}{2}; \quad \frac{\partial X}{\partial N} = 7 \cdot \frac{V}{m} = \frac{7 \cdot 25}{2}; \quad \frac{\partial X}{\partial m} = 7 \cdot \frac{VN}{m^2} = \frac{7 \cdot 25}{4}$$

9. Составляющие погрешности равны

$$\delta_v = 0,02 \text{ мл}; \quad \delta N = \Delta K \cdot N = 14,5 \cdot 10^{-4}; \quad \delta m = 2 \cdot 10^{-4} \text{ г}.$$

10. Погрешность измерения по формуле (2п) равна:

$$\Delta X \% = 7 \sqrt{\left(\frac{1}{2} \cdot 0,02\right)^2 + \left(\frac{25}{2} \cdot 14,5 \cdot 10^{-4}\right)^2 + \left(\frac{25}{4} \cdot 2 \cdot 10^{-4}\right)^2 + \left(\frac{1}{2} \cdot 0,03\right)^2}$$

$$= 7 \cdot 10^{-2} \sqrt{1 + 3,27 + 0,014 + 2,25} = 18 \cdot 10^{-2} \approx 0,2 .$$

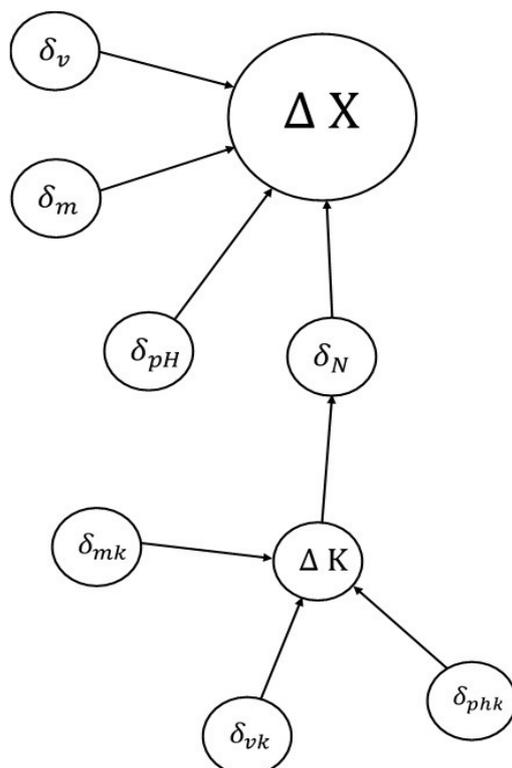


Рис.4. Графическая схема формирования погрешности титрования

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Электрические измерения неэлектрических величин. Ред. П.В. Новицкий, Л., "Энергия", 1975.
2. И.К. Петров. Технологические измерения и приборы в пищевой промышленности.- М., «Пищевая промышленность», 1973.
3. Измерения в промышленности, Справочник, Ред.П. Профос,— М., «Металлургия», 1980.
4. А.П. Мусакин, Ю.Ф. Рачковскцй, К.Д. Сологубова. Оборудование химических лабораторий. Справочник.— Л. «Химия», 1978.
5. С.П. Маликов, С.С. Михайловский, Л.Н. Старостина, П.К. Клементьев. Весы и дозаторы весовые. Справочник. – М., «Машиностроение», 1981.
6. В.Г. Цейтлин. Техника измерений расхода и количества жидкостей, газов, паров - М., Изд. стандартов, 1981.
7. Ю.А.Мачихин, С.А.Мачихин. Инженерная реология пищевых материалов.— М., «Легкая и пищевая промышленность», 1981.
8. В.П. Преображенский. Теплотехнические измерения и приборы.— М., «Энергия», 1978.
9. И.К. Петров, М.М. Солощенко, В.А. Парьков. Приборы и средства автоматизации для пищевой промышленности.- М., “Легкая и пищевая промышленность» ,1981.
10. Приборы для измерения температуры.— М., ЦНИИТЭИ приборостроения, 1975—124 с.
11. Приборы для измерения и регулирования давления, перепада давления и разрежения. Номенклатурный каталог. — М., ЦНИИТЭИ приборостроения, 1981—145 с.
12. Приборы для измерения и регулирования расхода и количества жидкостей и газов. Номенклатурный каталог. — М., ЦНИИТЭИ приборостроения, 1982—39 с.
13. Отраслевой каталог на серийно выпускаемое и перспективное оборудование № II. Том 2. Выпуск I. Средства измерений уровня. — М., ЦВИИТЭИ приборостроения, 1979—80 с.
14. Приборы для определения состава и свойств газов, жидкостей, твердых и сыпучих веществ. Номенклатурный справочник.— М., ЦНИИТЭИ приборостроения, 1980-194 с.
15. Вторичные приборы. Номенклатурный каталог .—М ., ЦВИИТЭИ приборостроения, 1981—240 с.
приборостроения,
16. Отраслевой каталог “Приборы и средства автоматизации» – М., ЦНИИТЭИ приборостроения, 22 тома.

Бегунов Александр Андреевич
Иванов Владимир Леонидович
Травина Евгения Александровна

Выбор средств и методик измерений

Учебное пособие

В авторской редакции
Редакционно-издательский отдел Университета ИТМО
Зав. РИО Н.Ф. Гусарова
Подписано к печати
Заказ №
Тираж
Отпечатано на ризографе

Редакционно-издательский отдел
Университета ИТМО
197101, Санкт-Петербург, Кронверкский пр., 49