

РОСЖЕЛДОР
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Ростовский государственный университет путей сообщения»
(ФГБОУ ВО РГУПС)

Н. А. Щербак

«Метрология, сертификация, технические измерения и автоматизация
тепловых процессов»
Учебно-методическое пособие
к практическим занятиям

Ростов-на-Дону
2017

УДК 697.329(076) + 06

Рецензенты: доктор технических наук, профессор Т.Л. Риполь-Сарагоси

Щербак, Н. А.

Метрология, сертификация, технические измерения и автоматизация тепловых процессов: учебно-методическое пособие к практическим работам / Н. А. Щербак; ФГБОУ ВО РГУПС. □ Ростов н/Д, 2017., с 36

Предназначено для студентов направления подготовки 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника», 15.04.04 Автоматизация технологических процессов и производств «Энергообеспечение предприятий». Одобрено к изданию кафедрой «Теплоэнергетика на железнодорожном транспорте»,

СОДЕРЖАНИЕ

Практическая работа №1.	4
Практическая работа №2.	13
Практическая работа №3.	22
Практическая работа №4.	28
Литературные источники.....	35

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №1.

Тема: Определение погрешностей средств измерения.

Цель работы: изучить классификацию погрешностей средств измерения

Задачи работы: изучить формы представления погрешностей средств измерений; правила выбора нормирующего значения X_N ; способы нормирования и формы выражения пределов допускаемых погрешностей; обозначение классов точности средств измерений.

1. Общие сведения

1.1. Погрешности средств измерений, их классификация

На практике для различных целей ежедневно и ежечасно выполняют большое количество измерений физических величин и, в частности, электротехнических. В интересах народного хозяйства страны необходимо, чтобы результаты этих измерений (имеются в виду измерения одинаковых величин), полученные в разное время и в различных местах с помощью измерительных средств, были бы равны или отличались на некоторое заданное значение. Иными словами, должно существовать **единство измерений**.

Единство измерений - это состояние измерений, при котором их результаты выражены в узаконенных единицах, а погрешности известны с заданной вероятностью. Вопросами теории и практики обеспечения единства и необходимой точности измерений занимается метрология.

Метрология - наука об измерениях, методах и средствах обеспечения их единства и способах достижения требуемой точности. В методологическую основу метрологии — Государственную систему стандартов, обеспечивающую единство измерений— входит более 100 стандартов, регламентирующих: единицы физических величин; методы и средства передачи размеров единиц физических величин рабочим средствам измерений; номенклатуру и способы выражения погрешностей средств измерений; поверку используемых средств измерений для создания заданного уровня надежности метрологических характеристик; номенклатуру и способы представления результатов измерений.

Истинное значение физической величины – значение физической величины, которое идеальным образом отражало бы в количественном и качественном отношениях соответствующее свойство объекта.

Результат любого измерения отличается от истинного значения физической величины на некоторое значение, зависящее от точности средств и методов измерения, квалификации оператора, условий, в которых проводилось измерение, и т. д. Отклонение результата измерения от истинного значения физической величины называется **погрешностью измерения**.

Поскольку определить истинное значение физической величины в принципе невозможно, так как это потребовало бы применения идеально

точного средства измерений, то на практике вместо понятия истинного значения физической величины применяют понятие **действительного значения измеряемой величины**, которое настолько точно приближается к истинному значению, что может быть использовано вместо него. Это может быть, например, результат измерения физической величины образцовым средством измерения.

Абсолютная погрешность измерения (Δ) – это разность между результатом измерения x и действительным (истинным) значением физической величины $x_{и}$:

$$\Delta = x - x_{и}. \quad (2.1)$$

Относительная погрешность измерения (δ) – это отношение абсолютной погрешности к действительному (истинному) значению измеряемой величины (часто выраженное в процентах):

$$\delta = (\Delta / x_{и}) \cdot 100 \% \quad (2.2)$$

Приведенная погрешность (γ) – это выраженное в процентах отношение абсолютной погрешности к *нормирующему значению* X_N – условно принятому значению физической величины, постоянному во всем диапазоне измерений:

$$\gamma = (\Delta / X_N) \cdot 100 \% \quad (2.3)$$

Для приборов с нулевой отметкой на краю шкалы нормирующее значение X_N равно конечному значению диапазона измерений. Для приборов с двухсторонней шкалой, т. е. с отметками шкалы, расположенными по обе стороны от нуля значение X_N равно арифметической сумме модулей конечных значений диапазона измерения.

Погрешность измерения (**результатирующая погрешность**) является суммой двух составляющих: *систематической* и *случайной* погрешностей.

Систематическая погрешность – это составляющая погрешности измерения, остающаяся постоянной или закономерно изменяющаяся при повторных измерениях одной и той же величины. Причинами появления систематической погрешности могут являться неисправности средств измерений, несовершенство метода измерений, неправильная установка измерительных приборов, отступление от нормальных условий их работы, особенности самого оператора. Систематические погрешности в принципе могут быть выявлены и устранены. Для этого требуется проведение тщательного анализа возможных источников погрешностей в каждом конкретном случае.

Систематические погрешности подразделяются на: методические; инструментальные; субъективные.

Методические погрешности происходят от несовершенства метода измерения, использования упрощающих предположений и допущений при выводе применяемых формул, влияния измерительного прибора на объект измерения. Например, измерение температуры с помощью термопары может содержать методическую погрешность, вызванную нарушением температурного режима объекта измерения вследствие внесения термопары.

Инструментальные погрешности зависят от погрешностей применяемых средств измерения. Неточность градуировки, конструктивные несовершенства, изменения характеристик прибора в процессе эксплуатации и т. д. являются причинами основных погрешностей инструмента измерения.

Субъективные погрешности вызываются неправильными отсчетами показаний прибора человеком (оператором). Например, погрешность от параллакса, вызванная неправильным направлением взгляда при наблюдении за показаниями стрелочного прибора. Использование цифровых приборов и автоматических методов измерения позволяет исключить такого рода погрешности.

Во многих случаях систематическую погрешность в целом можно представить как сумму двух составляющих: *аддитивной* (Δ_a) и *мультипликативной* (Δ_m).

Если реальная характеристика средства измерения смещена относительно номинальной так, что при всех значениях преобразуемой величины X выходная величина Y оказывается больше (или меньше) на одну и ту же величину Δ , то такая погрешность называется **аддитивной погрешностью нуля** (рис. 1.1).

Мультипликативная погрешность – это погрешность чувствительности средства измерения.

Такой подход позволяет легко скомпенсировать влияние систематической погрешности на результат измерения путем введения отдельных поправочных коэффициентов для каждой из этих двух составляющих.

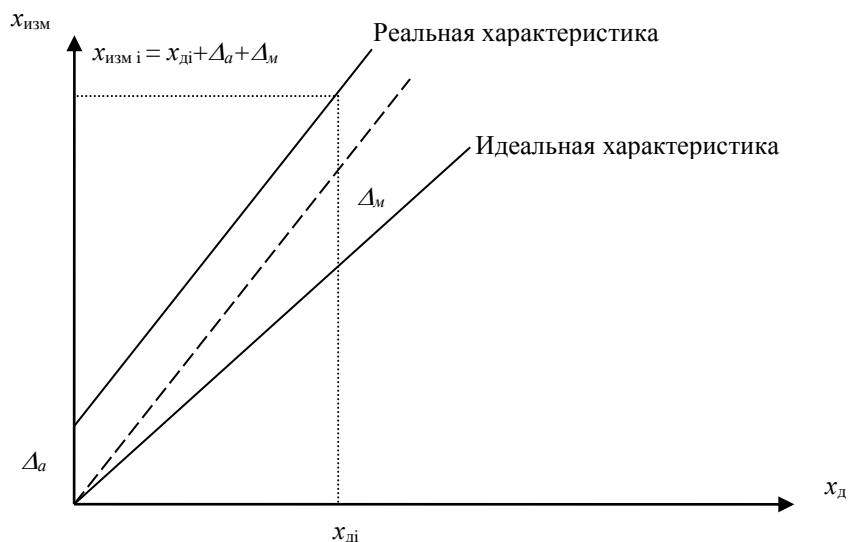


Рис. 1.1. К пояснению понятий аддитивной и мультипликативной погрешностей

Случайная погрешность (Δ_c) – это составляющая погрешности измерения, изменяющаяся случайным образом при повторных измерениях

одной и той же величины. Наличие случайных погрешностей выявляется при проведении ряда измерений постоянной физической величины.

Причины возникновения погрешностей измерений

Имеется ряд слагаемых погрешностей, которые являются доминирующими в общей погрешности измерений. К ним относятся:

1. *Погрешности, зависящие от средств измерений.* Нормируемую допустимую погрешность средства измерения следует рассматривать как погрешность измерения при одном из возможных вариантов использования этого средства измерения.

2. *Погрешности, зависящие от установочных мер.* Установочные меры могут быть универсальными (концевые меры) и специальными (изготовленными по виду измеряемой детали). Погрешность измерения будет меньше, если установочная мера будет максимально подобна измеряемой детали по конструкции, массе, материалу, его физическим свойствам, способу базирования и т. д. Погрешности от концевых мер длины возникают из-за погрешности изготовления или погрешности аттестации, а также из-за погрешности их притирки.

3. *Погрешности, зависящие от измерительного усилия.* При оценке влияния измерительного усилия на погрешность измерения необходимо выделить упругие деформации установочного узла и деформации в зоне контакта измерительного наконечника с деталью.

4. *Погрешности, происходящие от температурных деформаций.* Погрешности возникают из-за разности температур объекта измерения и измерительного средства. Существует два основных источника, обуславливающих погрешность от температурных деформаций: отклонение температуры воздуха от 20 °С и кратковременные колебания температуры воздуха в процессе измерения.

5. *Погрешности, зависящие от оператора (субъективные погрешности).* Возможны четыре вида субъективных погрешностей:

- *погрешность отсчитывания* (особенно важна, когда обеспечивается погрешность измерения, не превышающая цену деления);
- *погрешность присутствия* (проявляется в виде влияния теплоизлучения оператора на температуру окружающей среды, а тем самым и на измерительное средство);
- *погрешность действия* (вносится оператором при настройке прибора);
- *профессиональные погрешности* (связаны с квалификацией оператора, с отношением его к процессу измерения).

6. *Погрешности при отклонениях от правильной геометрической формы.*

7. *Дополнительные погрешности при измерении внутренних размеров.*

При характеристике погрешностей средств измерений часто пользуются понятием предела допускаемой погрешности средств измерений.

Предел допускаемой погрешности средства измерений – это наибольшая, без учета знака, погрешность средства измерений, при котором оно может быть признано и допущено к применению. Определение применимо к основной и дополнительной погрешности средств измерений.

Учет всех нормируемых метрологических характеристик средств измерений является сложной и трудоемкой процедурой. На практике такая точность не нужна. Поэтому для средств измерений, используемых в повседневной практике, принято деление на *классы точности*, которые дают их обобщенную метрологическую характеристику.

Требования к метрологическим характеристикам устанавливаются в стандартах на средства измерений конкретного типа.

Классы точности присваиваются средствам измерений с учетом результатов государственных приемочных испытаний.

Класс точности средства измерений – обобщенная характеристика средства измерений, определяемая пределами допускаемых основных и дополнительных погрешностей. Класс точности может выражаться одним числом или дробью (если аддитивная и мультипликативная погрешности сопоставимы – например, 0,2/0,05 – адд./мульти.). Примеры обозначения классов точности приведены на рис. 1.2.

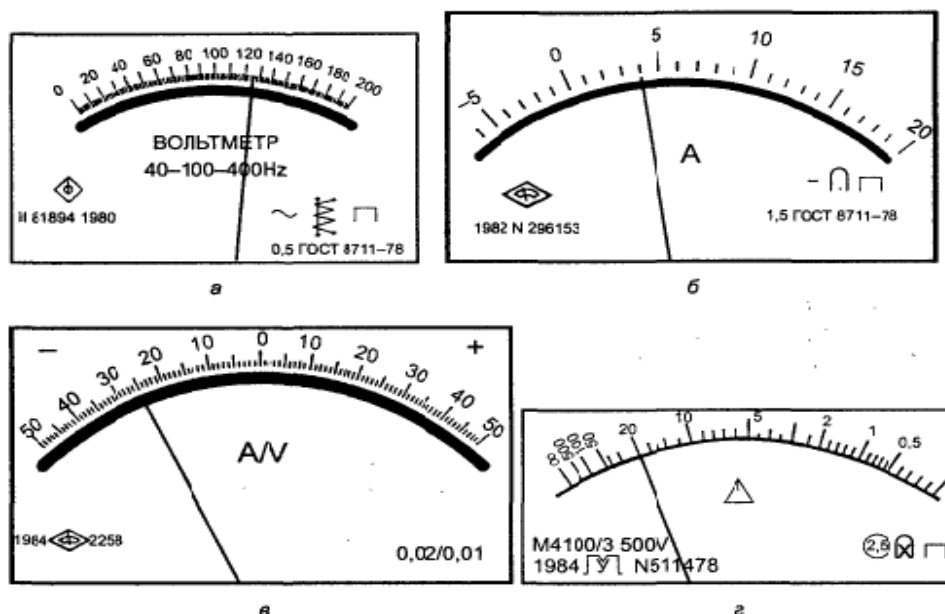


Рис. 1.2. Лицевые панели приборов:

а – вольтметра класса точности 0,5; б – амперметра класса точности 1,5; в – амперметра класса точности 0,02/0,01; г – мегомметра класса точности 2,5 с неравномерной шкалой.

Обозначения классов точности наносятся на циферблаты, щитки и корпуса средств измерений, приводятся в нормативно-технических документах. Классы точности могут обозначаться буквами (например, М, С и т. д.) или римскими цифрами (I, II, III и т. д.). Обозначение классов точности по ГОСТу 8.401-80 может сопровождаться дополнительными условными знаками:

✓ 0,5; 1,6; 2,5 и т. д. – для приборов, приведенная погрешность которых составляет 0,5; 1,6; 2,5 % от нормирующего значения X_N . При этом X_N принимается равным большему из модулей пределов измерений, если

нулевое значение входного (выходного) сигнала находится на краю или вне диапазона измерений;

✓ 0,1, 0,4, 1,0 и т. д. – для приборов, у которых относительная погрешность составляет 0,1; 0,4; 1,0 % непосредственно от полученного значения измеряемой величины x ;

✓ 0,02/0,01 – для приборов, у которых измеряемая величина не может отличаться от значения x , показанного указателем, больше, чем на $[C+d(|X_N/x|-1)]\%$, где C и d – числитель и знаменатель соответственно в обозначении класса точности; X_N – больший (по модулю) из пределов измерений прибора.

2. Решение типовых задач

Задача № 1

Определить пределы инструментальных абсолютной и относительной погрешностей измерения тока $I = 67$ мА, если измерения проводились магнитоэлектрическим миллиамперметром с нулем в начале шкалы, классом точности 1.0 и пределом измерения $A = 100$ мА.

Решение

Для магнитоэлектрического миллиамперметра класс точности определяется значением максимальной приведенной погрешности, т.е. $\gamma = \pm 1,0$ %.

Так как

$$\gamma = \pm \frac{\Delta}{X_N} 100 \%,$$

то предел инструментальной абсолютной погрешности

$$\Delta = \pm \frac{\gamma X_N}{100 \%} \text{ (мА)}.$$

Миллиамперметр имеет равномерную шкалу с нулем в начале шкалы, и поэтому $X_N = A = 100$ мА:

$$\Delta = \pm \frac{1,0 \% \cdot 100 \text{ мА}}{100 \%} = \pm 1,0 \text{ (мА)}.$$

Предел инструментальной относительной погрешности

$$\delta = \pm \frac{1,0 \text{ мА}}{67 \text{ мА}} \cdot 100 \% \approx \pm 1,5 \%.$$

Задача № 2

Определить пределы инструментальных абсолютной и относительной погрешностей измерения напряжения $U = 8,6$ В, если измерения проводились магнитоэлектрическим вольтметром с нулем в середине шкалы, классом точности 2,5 и пределами измерения $A = \pm 25$ В.

Решение

Как и в предыдущей задаче, предел абсолютной погрешности находится из формулы:

$$\gamma = \pm \frac{\Delta}{X_N} 100 \% .$$

Вольтметр имеет равномерную шкалу с нулем в середине шкалы. Поэтому

$$X_N = |-25| + |25| = 50 \text{ (В)},$$

$$\Delta = \pm(2,5 \cdot 50)/100 \% = \pm 1,25 \text{ (В)}.$$

Найдем предел относительной погрешности измерения:

$$\delta = \pm(\Delta/U) \cdot 100 \% = \pm(1,25 \cdot 100)/8,6 \approx \pm 15 \text{ (\%)}.$$

Задача № 3

Оценить инструментальные погрешности измерения тока двумя магнитоэлектрическими миллиамперметрами с классами точности 0,5 и 1.0 и указать, какой из результатов получен с большей точностью, а также, могут ли показания $I_1 = 19,0 \text{ мА}$ и $I_2 = 18,6 \text{ мА}$ исправных приборов отличаться так, как задано в условии? Миллиамперметры имеют нули в начале шкалы и пределы $A_1 = 50 \text{ мА}$ и $A_2 = 20 \text{ мА}$.

Решение

Инструментальные абсолютные погрешности можно найти из формул:

$$\Delta_1 = \pm(\gamma_1 X_{N1})/100 \% = \pm(\gamma_1 A_1)/100 \% = \pm(0,5 \cdot 50)/100 = \pm 0,25 \text{ (мА)},$$

$$\Delta_2 = \pm(\gamma_2 X_{N2})/100 \% = \pm(\gamma_2 A_2)/100 \% = \pm(1,0 \cdot 20)/100 = \pm 0,20 \text{ (мА)}.$$

Для определения, какое из измерений проведено с большей точностью, необходимо определить инструментальные относительные погрешности:

$$\delta_1 = \pm(\Delta_1/I_1) 100 \% = \pm(0,25/19,0) \cdot 100 \% \approx \pm 1,3 \text{ \%},$$

$$\delta_2 = \pm(\Delta_2/I_2) 100 \% = \pm(0,20/18,6) \cdot 100 \% \approx \pm 1,1 \text{ \%}.$$

Видно, что второе измерение проведено с большей точностью, так как точность обратно пропорциональна модулю относительной погрешности.

В наихудшем случае (когда погрешности приборов будут иметь противоположные знаки) модуль разницы между результатами измерений $|\Delta| = |I_1 - I_2|$ не должен превышать сумму модулей абсолютных погрешностей, т.е.

$$|\Delta| < |\Delta_1| + |\Delta_2| .$$

Получаем

$$|\Delta| = 0,4 \text{ (мА)} < |\Delta_1| + |\Delta_2| = 0,45 \text{ (мА)}.$$

Таким образом, при исправных миллиамперметрах можно получить указанные значения I_1 и I_2 .

Задача № 4

Определить инструментальную абсолютную погрешность измерения сопротивления $R_x = 200 \text{ кОм}$ с помощью комбинированного прибора, если он имеет класс точности 4,0, длину рабочей части шкалы $L = 80 \text{ мм}$, отметке 200 кОм соответствует длина шкалы $l = 40 \text{ мм}$.

Решение

В комбинированном приборе используется магнитоэлектрический омметр, причем шкала прибора при измерении сопротивлений

неравномерная. Инструментальная относительная погрешность измерения сопротивления δ_{R_x} с помощью таких омметров вычисляется через их класс точности по формуле

$$\delta_{R_x} = \pm(\gamma \cdot L/l),$$

т.е.

$$\delta_{R_x} = \pm(4,0 \cdot 80/40) = \pm 8,0 (\%)$$

С другой стороны

$$\delta_{R_x} = \pm(\Delta_{R_x} / R_x) \cdot 100 \%,$$

где Δ_{R_x} - инструментальная абсолютная погрешность измерения сопротивления.

Тогда

$$\Delta_{R_x} = \pm(\delta_{R_x} \cdot R_x) / 100 = \pm(8,0 \cdot 200) / 100 = \pm 16 \text{ (кОм)}.$$

Задача № 5

Определить относительную и абсолютную погрешности воспроизведения сопротивлений $R_1 = 0,52 \text{ Ом}$; $R_2 = 120,00 \text{ Ом}$; $R_3 = 18412,00 \text{ Ом}$ с помощью образцового магазина сопротивлений, если его класс точности $0,05/4 \cdot 10^{-6}$, магазин содержит 7 декад и цена младшей декады $0,01 \text{ Ом}$.

Решение

Сначала определим наибольшее значение воспроизводимой данным магазином сопротивлений величины:

$$R_k = 9 \cdot 10^4 + 9 \cdot 10^3 + 9 \cdot 10^2 + 9 \cdot 10^1 + 9 \cdot 10^0 + 9 \cdot 10^{-1} + 9 \cdot 10^{-2} \text{ (Ом)};$$

$$R_k = 99999,99 \text{ (Ом)} \approx 10^5 \text{ (Ом)}.$$

Для нормирования пределов погрешности магазинов мер одночленные формулы не применяются, поскольку они не отражают всегда имеющей место зависимости абсолютной или относительной погрешности меры от номинального значения воспроизводимой величины. Для них используются двухчленные формулы:

для абсолютной погрешности:

$$\Delta = \pm(a + b \cdot X),$$

для относительной погрешности:

$$\delta = \pm[c + d \cdot (|X_k/X| - 1)].$$

В нашем случае заданы величины c и d :

$$c = 0,05 \%; \quad d = 4 \cdot 10^{-6} \%.$$

Найдем относительные погрешности воспроизведения сопротивлений R_1 , R_2 , R_3 :

$$\delta_{R_1} = \pm[0,05 + 4 \cdot 10^{-6} (|10^5 / 0,52| - 1)] \approx \pm 0,3 (\%),$$

$$\delta_{R_2} = \pm[0,05 + 4 \cdot 10^{-6} (|10^5 / 120| - 1)] \approx \pm 0,53 (\%),$$

$$\delta_{R_3} = \pm[0,05 + 4 \cdot 10^{-6} (|10^5 / 18412| - 1)] \approx \pm 0,050 (\%).$$

Известно, что связь между a , b , c , d - следующая:

$$d = a/R_k, \quad c = b+d.$$

Для удобства выразим c и d в относительных единицах:

$$c = 5 \cdot 10^{-4}, \quad d = 4 \cdot 10^{-8}.$$

Тогда

$$a = d |R_k| = 4 \cdot 10^{-8} \cdot 10^{-5} = 0,004 \text{ (Ом)};$$

$$b = c - d = 5 \cdot 10^{-4} - 4 \cdot 10^{-8} \approx 5 \cdot 10^{-4}.$$

Теперь можно определить абсолютные погрешности воспроизведения сопротивлений R_1, R_2, R_3

$$\Delta_{R_1} = \pm(0,004 + 5 \cdot 10^{-4} \cdot 0,52) \approx \pm 0,0043 \text{ (Ом)},$$

$$\Delta_{R_2} = \pm(0,004 + 5 \cdot 10^{-4} \cdot 120) \approx \pm 0,0064 \text{ (Ом)},$$

$$\Delta_{R_3} = \pm(0,004 + 5 \cdot 10^{-4} \cdot 18412) \approx \pm 9,2 \text{ (Ом)}.$$

Контрольные вопросы

1. Дайте определение погрешности измерения.
2. Понятие действительного значения измеряемой величины.
3. Определение абсолютной погрешности.
4. Понятие относительной погрешности.
5. Перечислите виды систематических погрешностей.
6. Аддитивная и мультипликативная погрешности.
7. Класс точности средств измерения.
8. Перечислите методы определения систематических погрешностей.
9. Какими символами обозначаются классы точности на приборах?
10. Как присваиваются классы точности средствам измерений?

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №2. Методы обработки результатов прямых измерений.

Цель работы:

- изучить прямые измерения, способы оценки и уменьшения систематических погрешностей,

Задачи работы:

ознакомиться с основными выражениями математического описания случайных погрешностей (среднее арифметическое, дисперсия, среднее квадратическое отклонение);

1. Общие сведения

При статистической обработке группы результатов наблюдений следует выполнить следующие операции:

- исключить известные систематические погрешности из результатов наблюдений;
- вычислить среднее арифметическое исправленных результатов наблюдений, принимаемое за результат измерения;
- вычислить оценку среднего квадратического отклонения результата измерения;
- проверить гипотезу о том, что результаты измерений принадлежат к нормальному распределению;
- вычислить доверительные границы случайной погрешности (случайной составляющей погрешности) результата измерения;
- вычислить границы неисключенной систематической погрешности (неисключенных остатков систематической погрешности) результата измерения;
- вычислить доверительные границы суммарной погрешности результата измерения.

2. Проверку гипотезы о том, что результаты наблюдений принадлежат нормальному распределению, следует проводить с уровнем значимости q от 10 до 2 %. Конкретные значения уровней значимости должны быть указаны в конкретной методике выполнения измерений.

3. Для определения доверительных границ погрешности результата измерения доверительную вероятность P принимают равной 0,95. В тех случаях, когда измерения нельзя повторить, и других особых случаях, результаты которых имеют важное значение, допускается указывать границы для доверительной вероятности $P_d = 0,99$.

2. Решение типовых задач

Задача № 1

Обработать ряд результатов наблюдений X_i (таблица 1), полученный по результатам многократных прямых измерений сопротивления, и оценить случайную погрешность измерения, считая результаты исправленными и равноточными. Доверительную вероятность принять $P_d = 0,95$. Результат измерения представить по одной из форм, предусмотренных ГОСТ 8.207-76.

Таблица 1

i	1	2	3	4	5	6	7	8	9
X_i	32,700	32,744	32,786	32,578	32,848	32,593	32,588	32,519	32,603
i	10	11	12	13	14	15	16	17	18
X_i	32,627	32,635	32,97	32,754	32,702	32,879	32,799	32,775	32,690
i	19	20	21	22	23	24	25		
X_i	32,671	32,645	32,701	32,688	32,676	32,685	32,826		

Решение

1 Так как в условии задачи указано, что результаты измерения являются исправленными и равноточными, то производить исключение систематических погрешностей нет необходимости.

2 Вычисляем среднее арифметическое результатов наблюдений

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i = \frac{1}{25} \sum_{i=1}^{25} X_i = 32,707 \text{ кОм.}$$

Значение \bar{X} принимается за результат измерения.

3 Определяем случайные отклонения V_i результатов отдельных наблюдений по формуле

$$V_i = X_i - \bar{X}.$$

Результаты промежуточных расчетов заносим в таблицу 2.

Таблица 2

i	1	2	3	4	5
V_i	- 0,007	0,037	0,079	- 0,129	0,133
V_i^2	$0,049 \cdot 10^{-3}$	$1,369 \cdot 10^{-3}$	$6,241 \cdot 10^{-3}$	$16,641 \cdot 10^{-3}$	$17,689 \cdot 10^{-3}$
i	6	7	8	9	10
V_i	- 0,114	- 0,119	- 0,188	- 0,104	- 0,080
V_i^2	$12,996 \cdot 10^{-3}$	$14,161 \cdot 10^{-3}$	$35,344 \cdot 10^{-3}$	$10,816 \cdot 10^{-3}$	$6,4 \cdot 10^{-3}$
i	11	12	13	14	15
V_i	- 0,072	0,263	0,047	- 0,005	0,172
V_i^2	$5,184 \cdot 10^{-3}$	$69,169 \cdot 10^{-3}$	$2,209 \cdot 10^{-3}$	$0,025 \cdot 10^{-3}$	$29,584 \cdot 10^{-3}$
i	16	17	18	19	20
V_i	0,092	0,068	- 0,017	- 0,036	- 0,062
V_i^2	$8,464 \cdot 10^{-3}$	$4,624 \cdot 10^{-3}$	$0,289 \cdot 10^{-3}$	$1,296 \cdot 10^{-3}$	$3,844 \cdot 10^{-3}$
i	21	22	23	24	25
V_i	- 0,006	- 0,019	- 0,031	- 0,022	0,119
V_i^2	$0,036 \cdot 10^{-3}$	$0,361 \cdot 10^{-3}$	$0,961 \cdot 10^{-3}$	$0,484 \cdot 10^{-3}$	$14,161 \cdot 10^{-3}$

Правильность вычислений \bar{X} и V_i определяем по формуле $\sum_{i=1}^n V_i \approx 0$.

Если $\sum_{i=1}^n V_i \neq 0$, то имеют место ошибки в вычислениях.

4 Вычисляем оценку среднего квадратического отклонения результатов наблюдений $\hat{\sigma}_x$

$$\hat{\sigma}_x = \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n V_i^2} = 0,105 \text{ кОм.}$$

5 С помощью критерия грубых погрешностей (критерий «трёх сигм») проверяем наличие грубых погрешностей.

В соответствии с этим критерием, если $|V_i| > 3\hat{\sigma}_x$, то такое наблюдение содержит грубую погрешность. В случае обнаружения грубой погрешности в i -м наблюдении необходимо это наблюдение исключить из результатов наблюдений и повторить вычисления по пп. 1-5 для меньшего числа n .

В решаемой задаче $3\hat{\sigma}_x = 3 \cdot 0,105 = 0,315$ кОм и, как видно из таблицы 2, грубые погрешности отсутствуют.

6 Определяем оценку среднего квадратического отклонения результата измерения $\hat{\sigma}_{\bar{x}}$ из выражения

$$\hat{\sigma}_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n V_i^2} = \frac{\hat{\sigma}_x}{\sqrt{n}} = \frac{0,105}{\sqrt{25}} = 0,021 \text{ кОм.}$$

7 Выдвигаем гипотезу о принадлежности результатов наблюдений нормальному распределению и проверяем эту гипотезу.

а) При числе результатов наблюдений $n > 50$ для проверки принадлежности их к нормальному распределению в соответствии с ГОСТ 11.006-74 предпочти-

тельным является один из критериев χ^2 Пирсона или Ω^2 Мизеса-Смирнова.

При числе результатов наблюдений $50 > n > 15$ для проверки принадлежности их к нормальному распределению предпочтительным является составной критерий, приведённый в [9].

При числе результатов наблюдений $n \leq 15$ принадлежность их к нормальному распределению не проверяют. При этом нахождение доверительных границ случайной погрешности результата измерения по методике, предусмотренной [1], возможно в том случае, если заранее известно, что результаты наблюдений принадлежат нормальному распределению. Если условие принадлежности результатов наблюдений нормальному распределению не выполняется, методы вычисления доверительных границ случайной погрешности должны быть указаны в методике выполнения конкретных измерений.

В решаемой задаче $n = 25$. Поэтому принадлежность результатов наблюдений к нормальному распределению проверяем по составному критерию.

б) Критерий 1. Вычисляем смещённую оценку среднего квадратического отклонения по формуле

$$\hat{\sigma}_x^* = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n V_i^2} = 0,1029 \text{ кОм.}$$

$$\sum_{i=1}^n |V_i|$$

Вычисляем параметр $\hat{d} = \frac{\sum_{i=1}^n |V_i|}{n \cdot \hat{\sigma}_x^*} = 0,789$.

Результаты наблюдений можно считать распределёнными нормально, если

$$d_{1-q_1/2} < \hat{d} \leq d_{q_1/2},$$

где $d_{1-q_1/2}$ и $d_{q_1/2}$ - квантили распределения, получаемые из таблицы 3 по n , $q_1/2$ и $(1 - q_1/2)$, причем q_1 - заранее выбранный уровень значимости критерия.

Выбираем уровень значимости q равным 5 %. Из таблицы 3 находим $d_{q_1/2} = 0,868$, $d_{1-q_1/2} = 0,704$. Сравнивая полученное значение \hat{d} с этими величинами, делаем вывод о том, что по критерию 1 результаты наблюдений распределены по нормальному закону.

Критерий 2. Этот критерий используется дополнительно для проверки «концов» распределений.

Гипотеза о нормальности по критерию 2 не отвергается, если не более m разностей V_i превзошли значение $Z_{P/2} \cdot \hat{\sigma}_{\bar{x}}$, где $Z_{P/2}$ - верная квантиль распределения нормированной функции Лапласа отвечает вероятности $P/2$.

Таблица 3 - Статистика d

n	$q_1/2 \cdot 100\%$		$(1 - q_1/2) \cdot 100\%$	
	1 %	5 %	95 %	99 %
16	0,9137	0,8884	0,7236	0,6829
21	0,9001	0,8768	0,7304	0,6950
26	0,8901	0,8686	0,7360	0,7040
31	0,8826	0,8625	0,7404	0,7110
36	0,8769	0,8578	0,7440	0,7167
41	0,8722	0,8540	0,7470	0,7216
46	0,8682	0,8508	0,7496	0,7256
51	0,8648	0,8481	0,7518	0,7291

Таблица 4 - Значения Р для вычисления $Z_{P/2}$.

n	m	$q_2 \cdot 100\%$		
		1 %	2 %	5 %
10	1	0,98	0,98	0,96
11 - 14	1	0,99	0,98	0,97
15 - 20	1	0,99	0,99	0,98
21 - 22	2	0,98	0,97	0,96
23	2	0,98	0,98	0,96
24 - 27	2	0,98	0,98	0,97
28 - 32	2	0,99	0,98	0,97
33 - 35	2	0,99	0,98	0,98
36 - 49	2	0,99	0,99	0,98

Значения Р определяются из таблицы 4 по выбранному уровню значимости q_2 и числу результатов наблюдений, а значения $Z_{P/2}$ - из таблицы 5.

Для решаемой задачи выбираем уровень значимости $q_2 = 5\%$ и для $n = 25$ из таблицы 4 находим $P = 0,97$ и $m = 2$. Тогда, обращаясь к таблице 5, находим $Z_{P/2} = 2,17$. Отсюда $Z_{P/2} \cdot \hat{\sigma}_{\bar{x}} = 0,229$ кОм.

Согласно критерию 2 не более двух ($m = 2$) разностей V_i могут превзойти значение $0,229$ кОм.

По данным, приведенным в таблице 2, видим, что только V_{12} превышает критическое значение. Следовательно, критерий 2 выполняется.

Таким образом, с уровнем значимости $q \leq q_1 + q_2 = 0,1$ гипотеза о нормальности полученных данных согласуется с данными наблюдений.

8 По заданной доверительной вероятности P_d и числу степеней свободы $(n-1)$ распределения Стьюдента определим коэффициент t из таблицы 6.

Для нашей задачи ($P = 0,95$ и $n-1 = 24$) значение $t = 2,064$.

Рассчитываем доверительные границы случайной погрешности результата измерения

$$\overset{\circ}{\Delta} = t \cdot \hat{\sigma}_{\bar{x}} = 2,064 \cdot 0,021 = 0,043 \text{ кОм.}$$

9 Записываем результат измерения.

При симметричной доверительной погрешности результаты измерений представляют в виде $\bar{X} \pm \overset{\circ}{\Delta}$, P_d .

При этом значащих цифр в $\overset{\circ}{\Delta}$ должно быть не более двух, а числовое значение результата измерения должно оканчиваться цифрой того же разряда, что и значение погрешности $\overset{\circ}{\Delta}$.

Результат измерения записываем в следующем виде:

$$R = (32,707 \pm 0,044) \text{ кОм; } P_d = 0,95.$$

Таблица 5 - Значения нормированной функции Лапласа $\Phi(z)$.

z	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,0	0,000	00399	00798	01197	01595	01994	02392	02790	03188	03586
0,1	03983	04380	04776	05172	05567	05962	06356	06749	07142	07535
0,2	07926	08317	08706	09095	09483	09871	10257	10642	11026	11409
0,3	11791	12172	12552	12930	13307	13683	14058	14431	14803	15173
0,4	15542	15910	16276	16640	17003	17364	17724	18082	18439	18793
0,5	19146	19497	19847	20194	20540	20884	21226	21566	21904	22240
0,6	22575	22907	23237	23565	23891	24215	24537	24857	25175	25490
0,7	25804	26115	26424	26730	27035	27337	27637	27935	28230	28524
0,8	28814	29103	29389	29673	29955	30234	30511	30785	31057	31327
0,9	31594	31859	32121	32381	32639	32894	33147	33398	33646	33891
1,0	34134	34375	34614	34850	35083	35314	35543	35769	35993	36214
1,1	36433	36650	36864	37076	37286	37493	37698	37900	38100	38298
1,2	38493	38686	38877	39065	39251	39435	39617	39796	39973	40147
1,3	40320	40490	40658	40824	40988	41149	41309	41466	41621	41774
1,4	41924	42073	42220	42364	42507	42647	42768	42922	43056	43189
1,5	43319	43448	43574	43699	43822	43943	44062	44179	44259	44408
1,6	44520	44630	44738	44845	44950	45053	45154	45254	45352	45449
1,7	45543	45637	45728	45818	45907	45994	46080	46164	46246	46327
1,8	46407	46485	46562	46638	46712	46784	46856	46926	46995	47062
1,9	47128	47193	47257	47320	47381	47441	47500	47558	47615	47670
2,0	47725	47778	47831	47882	47932	47982	48030	48077	48124	48169
2,1	48214	48256	48300	48341	48382	48422	48461	48500	48537	48574
2,2	48610	48645	48679	48713	48745	48778	48809	48840	48870	48899
2,3	48928	48956	48983	49010	49036	49061	49086	49111	49134	49158
2,4	49180	49202	49224	49245	49226	49286	49305	49324	49343	49361
2,5	49379	49396	49413	49430	49446	49461	49477	49492	49506	49520
2,6	49534	49547	49560	49573	49585	49598	49609	49621	49632	49643
2,7	49653	49664	49674	49683	49693	49702	49711	49720	49728	49736
2,8	49744	49752	49760	49767	49774	49781	49788	49795	49801	49807
2,9	49813	49819	49825	49831	49836	49841	49846	49851	49856	49861
Примечание - Значения $\Phi(z)$ при $z = 3.0 - 4.5$ следующие:										
3.07.....0.49865 3.4.....0.49966 3.8.....0.49993										
3.1.....0.49903 3.5.....0.39977 3.9.....3.49995										
3.2.....0.49931 3.6.....0.49984 4.0.....0.499968										
3.3.....0.49952 3.7.....0.49989 4.5.....0.499999										

Таблица 6 - Значение коэффициента t для случайной величины x , имеющей распределение Стьюдента с $n-1$ степенями свободы

$n-1$	$P_d = 0,95$	$P_d = 0,99$	$n-1$	$P_d = 0,95$	$P_d = 0,99$
3	3,182	5,841	16	2,120	2,921
4	2,776	4,604	18	2,110	2,878
5	2,571	4,032	20	2,086	2,845
6	2,447	3,707	22	2,074	2,819
7	2,365	3,499	24	2,064	2,797
8	2,306	3,355	26	2,056	2,779
10	2,228	3,169	28	2,048	2,763
12	2,179	3,055	30	2,043	2,750
14	2,145	2,977	∞	1,960	2,576

Задача № 2

В процессе обработки результатов прямых измерений силы тока I определены: среднее арифметическое значение $\bar{I} = 16,48$ мА; оценка среднего квадратического отклонения среднего арифметического $\hat{\sigma}_{\bar{I}} = 0,51$ мА; границы неисключенных остатков трех составляющих систематической погрешности $\Delta_{c1} = 0,83$ мА; $\Delta_{c2} = 0,87$ мА; $\Delta_{c3} = 0,39$ мА.

Необходимо определить доверительные границы суммарной погрешности результата измерения и записать его по одной из установленных форм. Значение доверительной вероятности $P_d = 0,99$. Распределение случайной погрешности нормальное при $N > 30$.

Решение

1 Рассчитываем доверительные границы случайной погрешности результата измерения $\Delta = t \cdot \hat{\sigma}_{\bar{I}}$.

Из таблицы 6 для $P_d = 0,99$ и $n > 30$ находим $t = 2,576$. Тогда $\Delta = 1,314$ мА.

2 Определяем доверительные границы неисключенной систематической погрешности результата измерения

$$\Delta_c = k \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^m \Delta_{c_i}^2},$$

где m - число суммируемых погрешностей;

Δ_{c_i} - граница i -й неисключенной систематической погрешности;

k - коэффициент, определяемый принятой доверительной вероятностью. Если $P_d = 0,95$, то $k = 1,1$.

При доверительной вероятности $P_d = 0,99$ коэффициент k принимают равным 1,4, если число суммируемых неисключенных систематических погрешностей более четырёх ($m > 4$). Если число суммируемых погрешностей $m \leq 4$, то коэффициент k определяют по графику зависимости (рисунок) $k = f(m, l)$, где m - число суммируемых погрешностей; $l = \Delta_{c_i} / \Delta_{c_j}$; кривая 1 - для $m = 2$; кривая 2 - для $m = 3$; кривая 3 - для $m = 4$.

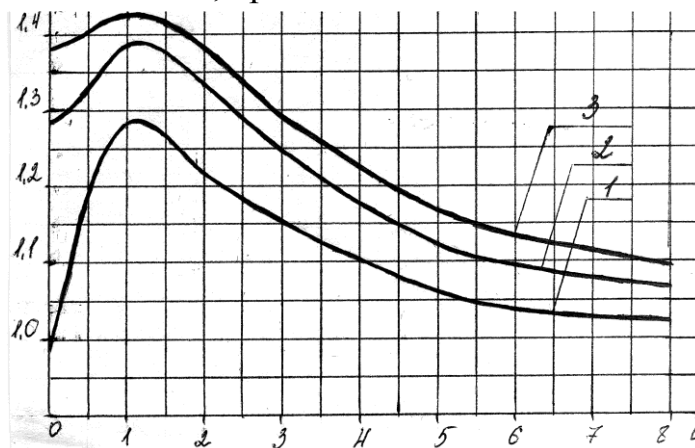


График зависимости $k = f(m, l)$.

При трёх или четырёх составляющих в качестве Δ_{c_i} принимают составляющую, по числовому значению наиболее отличающуюся от других. В качестве Δ_{c_j} следует принять ближайшую к Δ_{c_i} составляющую.

Для нашей задачи $l = \Delta_{c_i} / \Delta_{c_j} = 0,45$.

Используя вторую кривую графика, находим $k = 1,32$. Тогда $\Delta_c = 1,602$ мА.

Следует иметь в виду, что при $m < 4$ вычисленное значение Δ_c может оказаться больше алгебраической суммы систематических погрешностей

$$\Delta'_c = \sum_{i=1}^m \Delta_{c_i} = 2,09 \text{ мА},$$

чего не может быть. За оценку границ неисключенной систематической погрешности принимаем то из значений Δ_c , которое меньше. Таким образом, $\Delta_c = 1,602$ мА.

3 Определим границы суммарной погрешности результата измерения.

а) Находим отношение

$$\mu = \Delta_c / \hat{\sigma}_I = 3,1.$$

б) В случае если $\mu < 0,8$, то неисключенными систематическими погрешностями по сравнению со случайными пренебрегают и принимают,

что граница $\Delta = \overset{\circ}{\Delta}$. Если $\mu > 8$, то пренебрегают случайной погрешностью по сравнению с систематическими и принимают, что граница погрешности результата $\Delta = \Delta_c$.

Погрешность, возникающая из-за пренебрежения одной из составляющих погрешности результата измерения при выполнении указанных неравенств, не превышает 15 %.

в) В случае, если неравенства п. б) не выполняются ($0,8 \leq \mu \leq 8$), то границу погрешности результата измерения находят путём построения композиции распределений случайных и неисключенных систематических погрешностей, рассматриваемых как случайные величины.

В соответствии с [9] границы погрешности результата измерения Δ (без учета знака) вычисляют по формуле

$$\Delta = K_{\Sigma} \cdot \hat{\sigma}_{\Sigma},$$

где K_{Σ} - коэффициент, зависящий от соотношения случайной и неисключенной систематической погрешностей;

$\hat{\sigma}_{\Sigma}$ - оценка суммарного среднего квадратического отклонения результата измерения.

Значение $\hat{\sigma}_{\Sigma}$ вычисляют по формуле

$$\hat{\sigma}_{\Sigma} = \sqrt{\frac{1}{3} \sum_{i=1}^m \Delta_{c_i}^2 + \hat{\sigma}_I^2} = 0,89.$$

Коэффициент K_{Σ} вычисляют по эмпирической формуле

$$K_{\Sigma} = (\Delta + \Delta_c) / \left(\hat{\sigma}_I + \sqrt{\frac{1}{3} \sum_{i=1}^m \Delta_{c_i}^2} \right) = 2,41.$$

Определяем доверительные границы суммарной погрешности результата измерения

$$\Delta = K_{\Sigma} \hat{\sigma}_{\Sigma} = 2,48 \cdot 0,89 = 2,14.$$

Доказывается, что с погрешностью не более 10 % значение Δ может быть определено по более простой формуле

$$\Delta = \sqrt{\Delta^{\circ 2} + \Delta_c^2} = 2,072.$$

4 Записываем результат измерения. Так как погрешность симметрична относительно результата измерения, то

$$I = (16,5 \pm 2,1) \text{ мА}, \quad P_d = 0,99.$$

Контрольные вопросы

- 1 Какие измерения называются прямыми?
 - 2 Какие измерения относят к равноточным, а какие к неравноточным?
 - 3 В зависимости от чего применяют однократные либо многократные наблюдения?
 - 4 Перечислите основные признаки, по которым классифицируются погрешности измерений.
 - 5 Какие существуют методы обнаружения и оценки систематических погрешностей?
 - 6 Сформулируйте правила суммирования систематических погрешностей.
 - 7 Как оценивается случайная погрешность результатов прямых измерений?
- Приведите необходимые математические соотношения.
- 8 Опишите алгоритмы обработки прямых равноточных измерений.
 - 9 Поясните суть критерия грубых погрешностей.
 - 10 В каких случаях используются точечные и интервальные оценки погрешностей измерений?

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №3.

Тема: Изучение типовых звеньев систем автоматического регулирования.

Цель работы: Изучить схемы типовых звеньев АР тепловых процессов.

Задачи работы:

1. Общие сведения

1.1 Типовые звенья Систем автоматического регулирования

Для теоретических исследований и моделирования систем автоматического управления целесообразно описывать элементы системы не по конструктивным признакам, а по динамическим свойствам. При этом удобно разделение системы управления на простейшие элементарные звенья, дифференциальные уравнения которых могут быть нулевого, первого и второго порядка. Такие звенья называются **типовыми элементарными звеньями**. Не все элементы САУ можно идентифицировать тем или иным типовым элементом. Для сложного элемента системы следует применять методику идентификации типовыми звеньями отдельных частей сложного элемента. При моделировании поведения САУ в переходных режимах система разбивается на ряд элементарных типовых звеньев. Элементы, составляющие систему, являются детектирующими, т.е. воздействуют только на следующие за собой элементы системы, но не на предыдущие. Поэтому типовые элементы рассматриваются как **элементы направленного действия**, из которых составляют **структурную схему** системы управления.

k – передаточный коэффициент или коэффициент передачи звена. Численно равен конечному отклонению регулируемой величины от начального значения при единичном входном возмущении.

Переходная функция – реакция системы на скачкообразное воздействие (при нулевых начальных условиях). Реакция системы на возмущение вида гармонических колебаний называется **частотной характеристикой**. Эти характеристики строятся как амплитудные, фазовые, логарифмические амплитудные (ЛАЧХ) и амплитудно-фазовые (АФХ).

Реакция линейной системы на сумму возмущающих воздействий равна сумме ее реакций на все отдельные возмущения.

Кривая разгона – изменение во времени выходной величины в объекте после скачкообразного воздействия на вход при условии отключенного автоматического регулятора (или в отсутствие регулятора).

Передаточная функция элемента (системы) – $K(p)$ при нулевых начальных условиях в операторной форме (здесь и далее « p » – оператор) может быть представлена как отношение выходной величины – $X_{вых}$ к входной – $X_{вх}$.

1.2. Типовые звенья САУ

1) **Пропорциональное (безынерционное, звено нулевого порядка, усилительное) звено** – это звено, у которого входная и выходная величины пропорциональны друг другу.

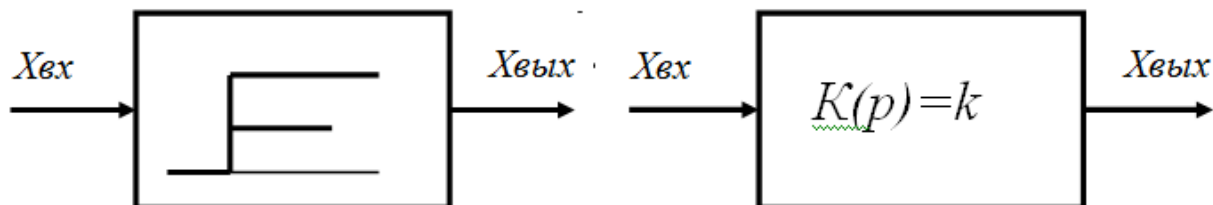


Рис. 1. Изображение пропорционального звена в структурных схемах

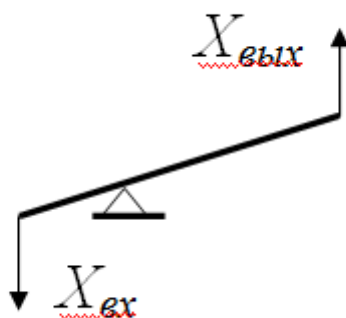


Рис. 2. Конструктивная схема пропорционального звена.
 $X_{вых}$ и $X_{вх}$ – соответствующие перемещения

2) **Интегрирующее (нейтральное, астатическое) звено.**

Звено называется интегрирующим, если скорость изменения его выходной величины пропорциональна входной величине.

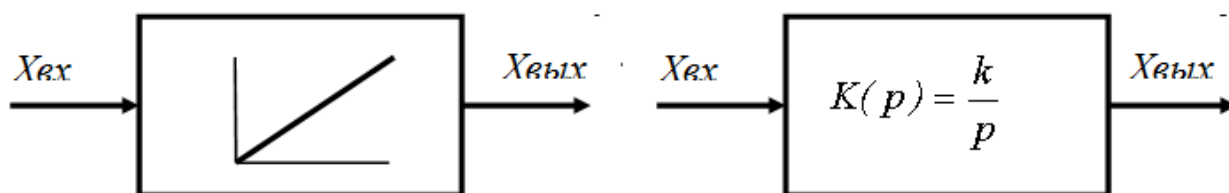


Рис. 3. Изображение интегрирующего звена в структурных схемах

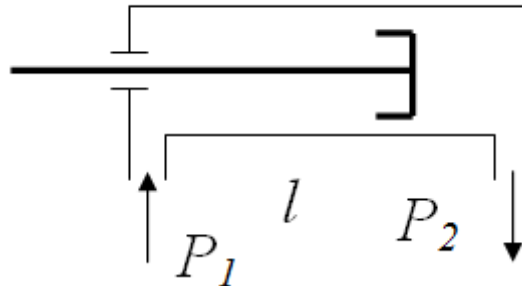


Рис. 4. Пример интегрирующего звена – поршневой гидравлический серводвигатель, где $X_{вх} = P_1 - P_2 = \Delta P$, $X_{вых}$ – перемещение по длине – l

3) Аперiodическое звено (статическое звено первого порядка, инерционное звено первого порядка).

Это звено, у которого входная и выходная величины связаны между собой дифференциальным уравнением

$$T \frac{dX_{вых}}{dt} + X_{вых} = kX_{вх}; \text{ в операторном виде: } (Tp + 1) X_{вых} = kX_{вх}.$$

T – *постоянная времени системы (звена)*. Это такое время, в течение которого регулируемая величина, реагируя на скачкообразное воздействие, достигла бы своего конечного значения, если бы все время изменялась с неизменной начальной скоростью. Имеет размерность времени.

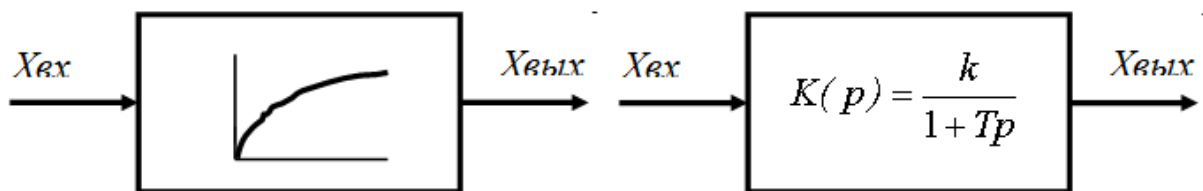


Рис. 5. Изображение аперiodического звена в структурных схемах

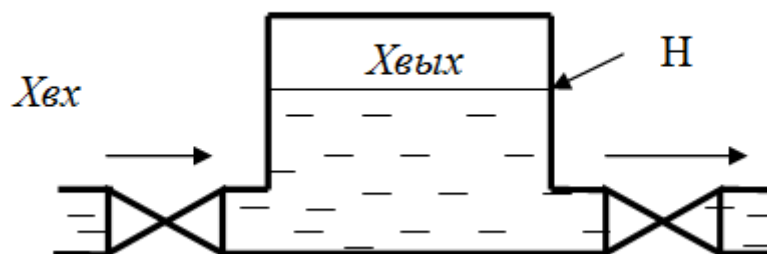


Рис. 6. Пример конструктивного выполнения аперiodического звена – одноемкостный регулируемый объект с самовыравниванием – бак со сливом через вентиль, $X_{вх} = \Delta Q$, $X_{вых} = H$ (Q – расход, H – уровень)

4) Идеальное дифференцирующее звено – это звено, у которого выходная величина пропорциональна скорости изменения входной величины.

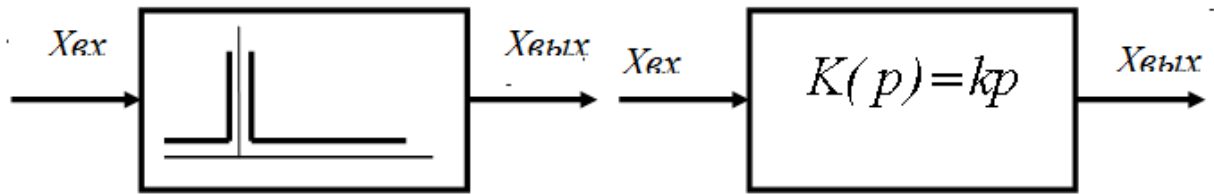


Рис. 7. Схема идеального дифференцирующего звена в структурных схемах

5) Реальное дифференцирующее звено.

Это звено, у которого выходная величина и входная величина связаны между собой дифференциальным уравнением

$$T \frac{dx_{\text{вых}}}{dt} + x_{\text{вых}} = k \frac{dx_{\text{вх}}}{dt}, \quad \text{или} \quad (Tp + 1)x_{\text{вых}} = kpx_{\text{вх}}.$$

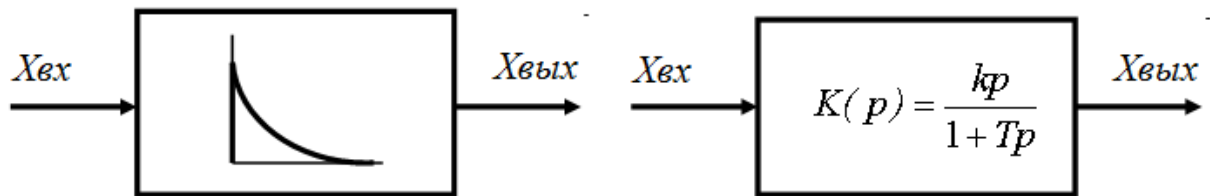


Рис. 8. Схема реального дифференцирующего звена в структурных схемах

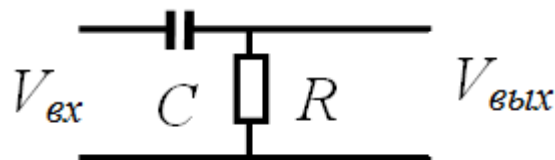


Рис. 9. Схема реального дифференцирующего звена – дифференцирующая RC – цепочка

б) Запаздывающее звено.

У этого звена выходная величина изменяется так же, как изменялась входная, но запаздывает на время τ .

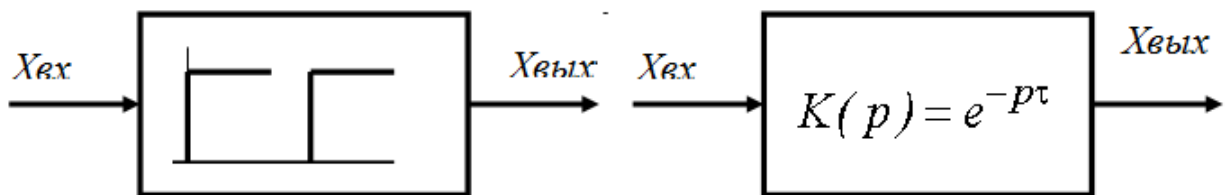


Рис. 10. Схема запаздывающего звена в структурных схемах

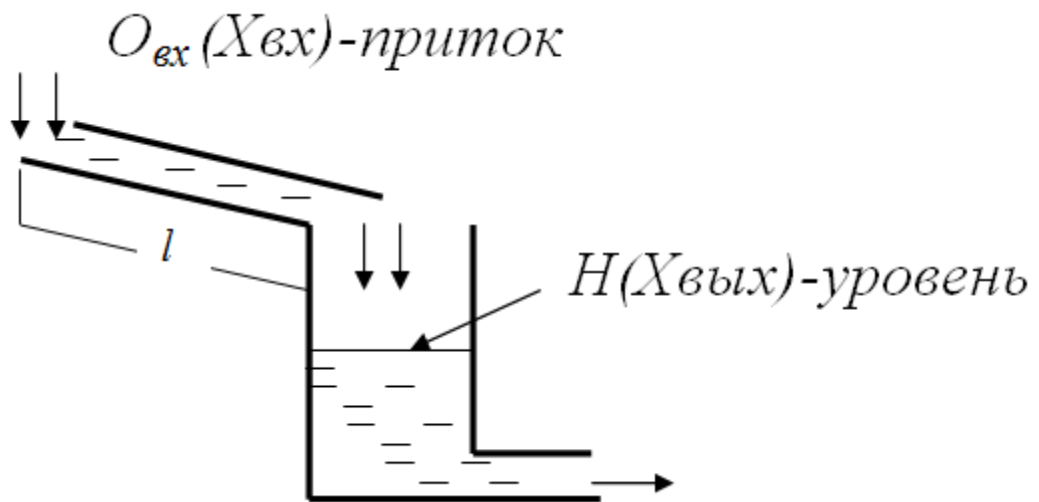


Рис. 11. Конструктивная схема запаздывающего звена

7) Инерционное звено второго порядка, колебательное звено, (апериодическое звено второго порядка) – это звено, у которого выходная величина и входная величина связаны между собой линейным дифференциальным уравнением второго порядка.

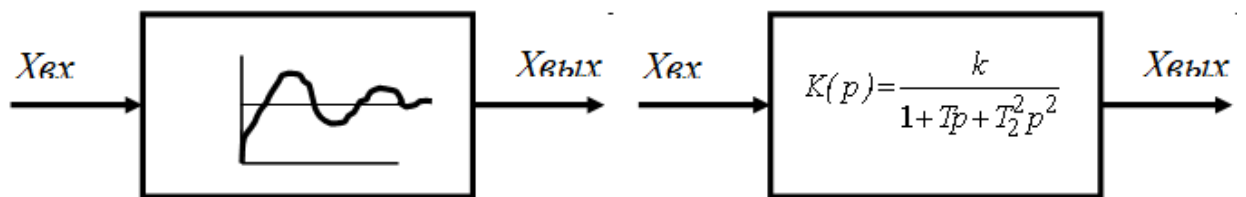


Рис. 12. Схема инерционного звена второго порядка в структурных схемах

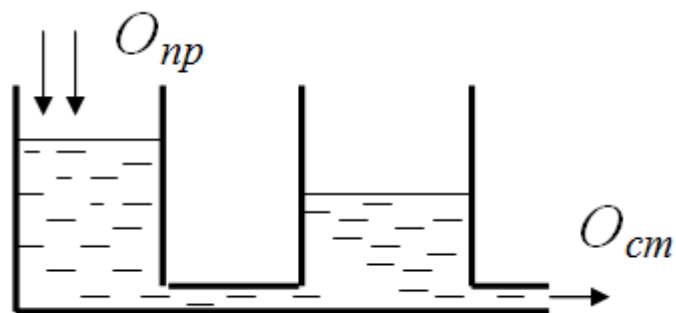


Рис. 13. Конструктивная схема инерционного звена второго порядка – два последовательно соединенных бака с перетеканием воды

Обозначения на рисунках: $X_{вх}$ – входная величина, $X_{вых}$ – выходная величина, k – передаточный коэффициент, T – постоянная времени, p – знак оператора.

Контрольные вопросы

1. Для каких целей проводят разделение системы автоматического управления на простейшие элементарные звенья?
2. Как называются элементарные звенья системы автоматического управления?
3. Как строят сложные элементы системы автоматического управления?
4. Что представляют собой детектирующие элементы САУ?
5. Чему равен передаточный коэффициент звена k ?
6. Что такое частотная характеристика?
7. Что показывает разгонная кривая?
8. Как может быть представлена передаточная функция элемента?

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №4
Тема: Изучение моделирования в ПК МВТУ.

Цель работы: изучить систему МВТУ и принципы моделирования системы управления.

Задание: построить модель АСР в ПК МВТУ.

1 Общие сведения

1.1 Принципы моделирования в ПК «МВТУ»

Принцип моделирования в ПК «МВТУ» [3] состоит в создании и исследовании виртуального аналога реальной системы – модели. Модель функционирует в соответствии с теми же уравнениями, что и моделируемая система. При моделировании не обязательно записывать эти уравнения в явном виде, об этом позаботится программа. Модель составляется пользователем в специальном окне программы соединением отдельных виртуальных блоков, соответствующих элементам реальной системы.

Виртуальные блоки условно внешне представляются на рабочем пространстве окна модели прямоугольниками, т.е. они видимы исследователю, имеют входы и (или) выходы и функционируют в соответствии с определенными уравнениями, алгоритм решения которых реализуется в цифровом виде. Под функционированием виртуального блока понимается то, что он реагирует на виртуальные воздействия (функции времени), подаваемые другими блоками на его вход, определенным изменением величины выходного сигнала.

Взаимодействие между блоками условно отображается на рабочем пространстве окна модели в виде соединительных линий. Соединительные линии в ПК «МВТУ», как и блоки, являются однонаправленными, передают виртуальные воздействия только в одном направлении. Другими словами, последующие блоки и звенья не влияют на работу предыдущих. Для модели электрической цепи, например, это означает, что выходное сопротивление предыдущего блока значительно меньше входного сопротивления последующего блока. Сигналы, действующие в модели можно наблюдать и регистрировать виртуальными индикаторами. Для этого программа создает специальные окна с временными, частотными графиками, фазовыми портретами и др.

Параметры и характеристики блоков, как и структуру схемы модели, исследователь может изменять. Программа предоставляет возможность вычислять различные характеристики построенных моделей, в частности амплитудно-частотные, анализируя которые можно глубоко изучить свойства модели, а, следовательно, и моделируемой реальной системы.

Модель ПК «МВТУ» может быть сохранена в виде отдельного файла и, при необходимости, открыта вновь.

1.2. Интерфейс ПК «МВТУ»

Интерфейс программы это совокупность средств, позволяющих человеку общаться с ней:

- вводить и получать данные,
- подавать управляющие воздействия и наблюдать реакцию на них программы,
- контролировать ход ее выполнения и т.п.

Программный комплекс «МВТУ» использует развитой графический интерфейс, позволяющий основную часть создания модели выполнить с помощью мыши, а параметры элементов ввести с клавиатуры. Интерфейс ПК «МВТУ» состоит из основной панели (главного окна), имеющей меню и ряд кнопок управления, воспринимающих щелчки кнопок мыши, и совокупности окон, в которых строится модель и наблюдаются результаты ее работы.

Основная панель – главное окно программы, появляющееся в верхней части экрана после запуска ПК «МВТУ» (рис. 1).

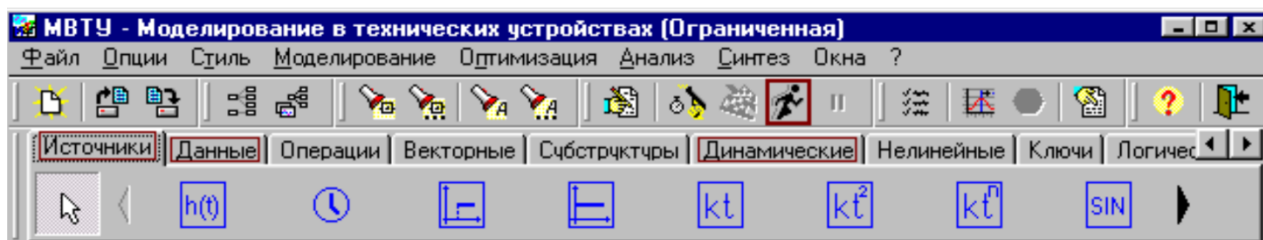


Рис. 1. Основная панель ПК "МВТУ". Выделены кнопка Пуск (Продолжить расчет) и три важных вкладки **Палитры** с наборами элементов (виртуальных блоков), которые будут использоваться при моделировании: **Источники** сигналов (генераторы) – вкладка открыта, **Данные** (индикаторы и регистраторы) и **Динамические** блоки (элементы линейных систем и систем в целом)

Верхняя часть главного окна – панель управления. Она содержит меню и кнопки управления и настройки. Нижняя часть главного окна это т.н. **Палитра** блоков – структурированный набор вкладок, содержащих образцы моделей различных элементов, которые могут быть вынесены в окно модели (схемное окно). При необходимости палитра блоков может быть перенесена на другое место или вовсе удалена с экрана для освобождения места для схемы модели, индикаторов и др. На рис.1 выделены три важных набора элементарных блоков: генераторы, индикаторы и модели линейных элементов, которые позволяют строить модели линейных систем и объектов и будут подробнее рассмотрены ниже. Кнопки в правой верхней части палитры позволяют просматривать и другие вкладки, с наборами соответствующих блоков, в частности, вкладку **Анимация**.

1.3 Основные элементы модели

1.3.1 Генераторы сигналов

Генераторы сигналов размещены на вкладке **Источники** основной панели (рис. 2):

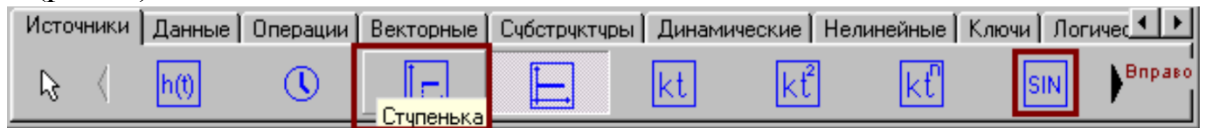


Рис. 2. Часть набора виртуальных генераторов, имеющихся на вкладке **Источники**. Важными источниками сигналов являются генераторы ступенчатого и синусоидального сигналов. Кнопка со стрелкой **Вправо** позволяет посмотреть и другие источники сигналов

1.3.2 Элементы линейных систем

Блоки, моделирующие элементы линейных систем и объектов различной сложности помещены на вкладке **Динамические** (рис.3):

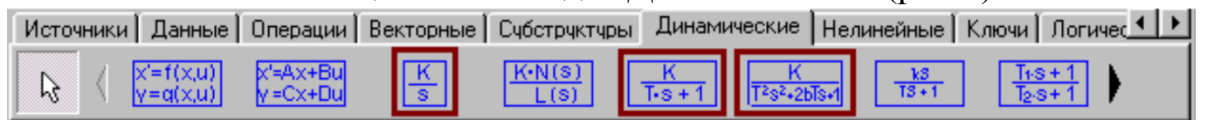


Рис. 3. На вкладке **Динамические** блоки помещены образцы моделей элементов линейных систем. Для начала, обратим внимание на интегратор, апериодическое и колебательное звенья

1.3.3 Индикаторы и регистраторы

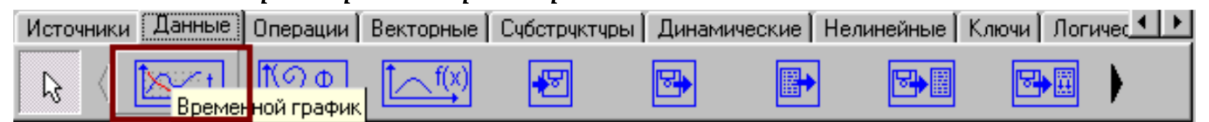


Рис. 4. Важный регистратор – виртуальный осциллограф (блок **Временной график**)

Примечание: программа позволяет создавать и собственные варианты индикаторов с помощью инструментов, расположенных на вкладке **Анимация** (в правой части **Палитры**).

1.3.4 Соединительные линии

Соединительные линии позволяют отобразить взаимодействие между отдельными элементами реальной системы. В ПК "МВТУ" соединительные линии однонаправленные: они передают виртуальные сигналы с выходов блоков на их входы. Это означает, что в моделируемых системах последующие блоки не должны влиять на работу предыдущих блоков. Такое требование следует выполнить при составлении функциональной схемы моделируемой системы, должным образом выделяя ее функциональные элементы. Линии проводят от одного блока модели к другому с помощью мыши. Пример соединительных линий можно видеть в левом нижнем окне модели рис. 5.

1.4 Простая модель

На рис. 5 показана простая модель, состоящая всего из одного блока –

апериодического звена и результаты его исследования, состоявшего в определении реакции этого звена на ступенчатое воздействие, так называемой переходной функции [1, 2, 4–9].

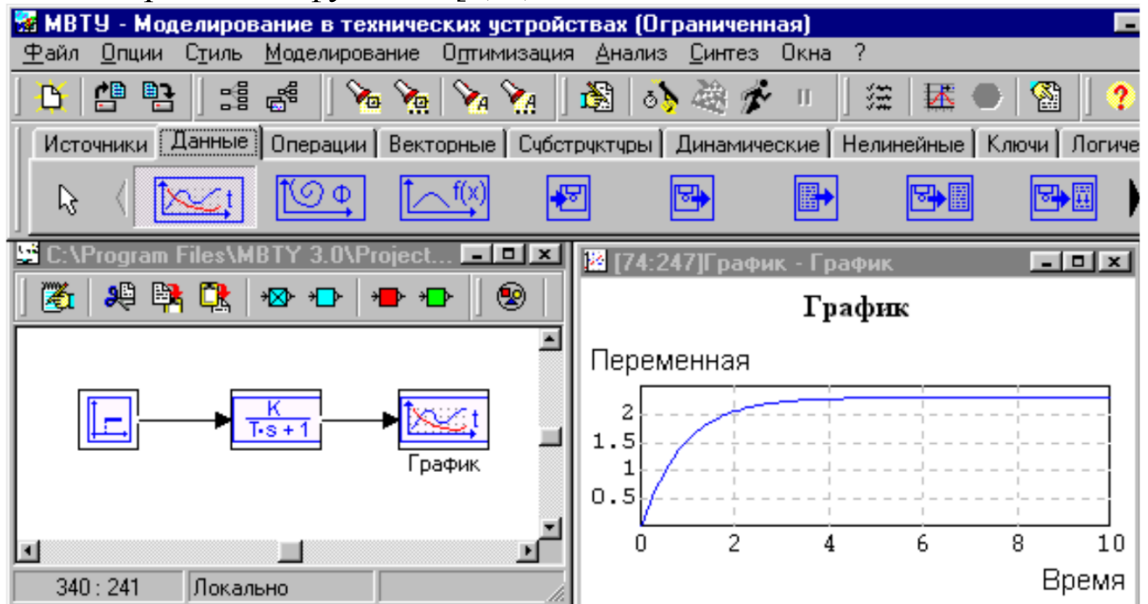


Рис. 5. Определение переходной функции апериодического звена. На левое нижнее окно модели вынесены генератор ступенчатого сигнала, апериодическое звено, осциллограф и соединены друг с другом. При запуске модели, нажатием на кнопку Пуск - бегущий человечек, на осциллографе появляется график реакции звена на ступенчатое воздействие – его переходная функция

1.5 Поясняющие надписи

Сопровождение модели поясняющими надписями позволяет облегчить ее восприятие и работу с ней. В пояснении нужно указать кто, когда и какую модель создал. В «МВТУ» можно создавать пояснения двух видов: **заметку**, текст которой виден вместе с блоками модели и **комментарий**, текст которого открывается в отдельном окне, при двукратном щелчке по квадратному блоку со знаком вопроса. Блоки заметки (без обозначения) и комментария (квадрат со знаком вопроса) «затерялись» в правой части вкладки **Субструктуры** (рис. 6):

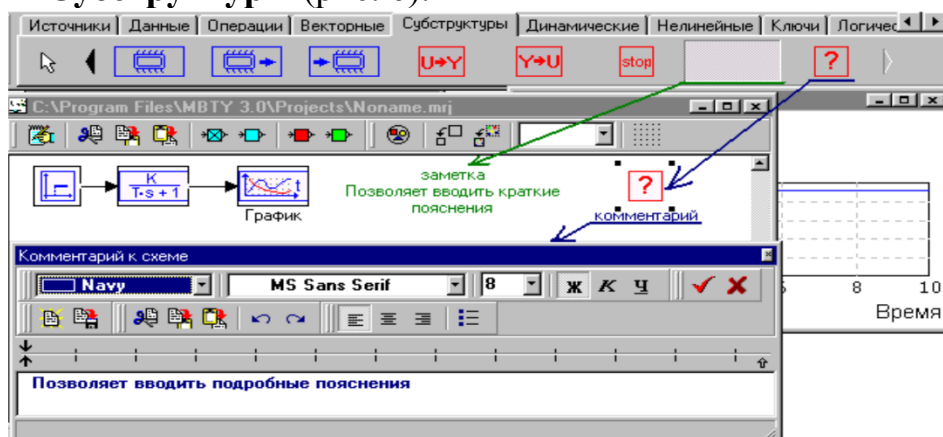


Рис. 6. Блоки **заметка** и **комментарий** выносятся на рабочее пространство окна модели с вкладки **Субструктуры**. Внизу показано окно просмотра и редактирования комментария

2 Задание

2.1 Запуск программы

С разрешения преподавателя запустить программный комплекс "МВТУ" двойным щелчком по иконке на рабочем столе, или Пуск – Программы – МВТУ 3.0 – МВТУ 3.0, или по файлу МВТУ.exe из папки C:\Program Files\МВТУ 3.0\Bin, куда была установлена программа. В верхней части экрана появится основное окно ПК «МВТУ» (рис. 1).

2.2 Исследование апериодического звена

Исследовать апериодическое звено, построив модель рис. 5. Для этого:

2.2.1 Создать новый проект:

Выбрать в главном меню **Файл -> Создать** или щелкнуть по соответствующей иконке основной панели (рис. 7). Ниже основного окна появится окно модели C:\Program Files\МВТУ 3.0\Projects\Noname.mtj

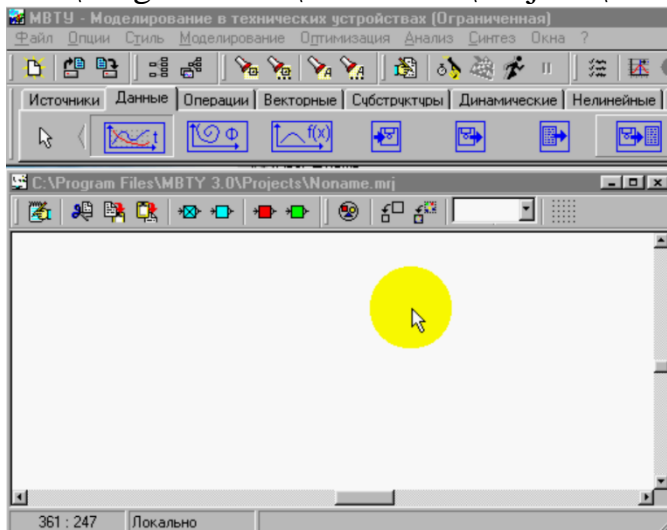


Рис. 7 (анимация). Окно модели нового проекта, запускаемого кнопкой **Новый**, и вынесение генератора ступенчатого сигнала на рабочее пространство окна

2.2.2 Построить модель

Поместить на рабочее пространство окна модели блоки генератора ступенчатого сигнала с вкладки **Источники**, апериодического звена с вкладки **Динамические**, осциллографа (Временной график) с вкладки **Данные**. Для помещения блока следует щелкнуть по его обозначению на вкладке палитры, перенести курсор на нужное место рабочего пространства окна модели и вновь щелкнуть левой кнопкой.

Выровнять расположение блоков и соединить их. Соединение блоков требует определенной сноровки и навыка. Для соединения нужно щелкать на выходе одного блока, курсор принимает вид прицела, и при **отпущенной** кнопке мыши перемещать курсор к входу другого блока, где вновь щелкать левой кнопкой (рис. 8). Если соединительная линия не удалась, то ее можно

удалить, щелкнув по ней правой клавишей и выбрав пункт меню **Удалить** **ЛИНИЮ В СВЯЗИ**.

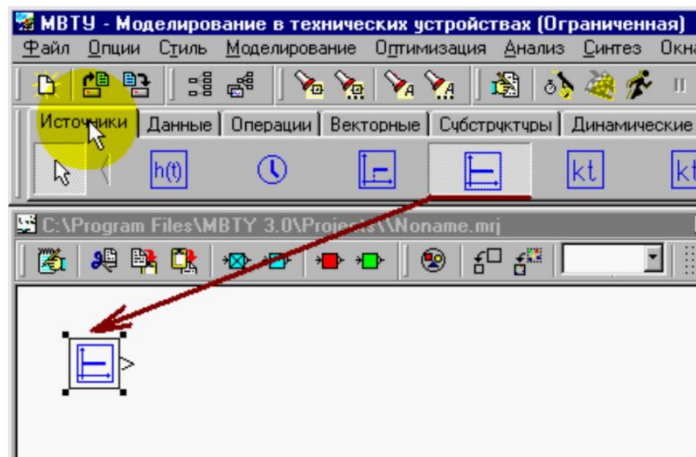


Рис. 8. Размещение блоков в окне модели и соединение их

Дважды щелкнуть по блоку осциллографа (График), его появившееся окно переместить на свободное место вправо и подравнять размеры и расположение окон (рис. 9).

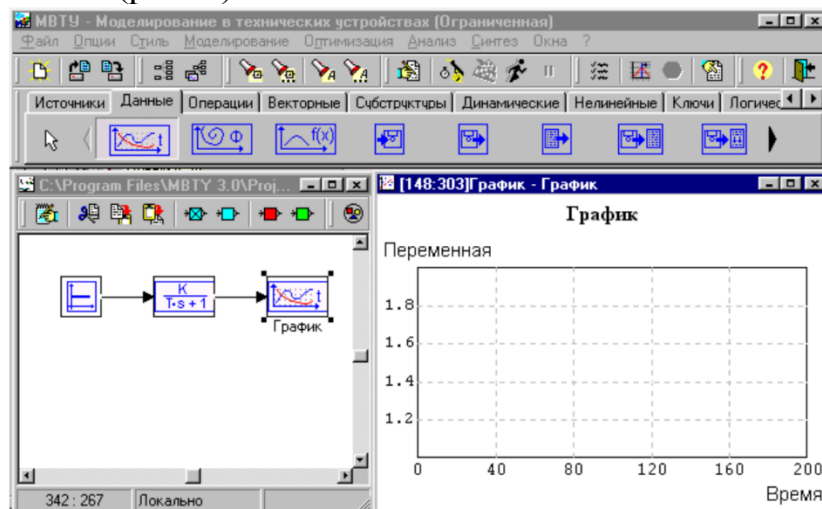


Рис. 9. Размещение окна виртуального осциллографа

2.2.3 Задание свойств блока апериодического звена

Напомним, что передаточная функция апериодического звена имеет вид:

$$W(s) = \frac{k}{pT + 1},$$

где: k – коэффициент усиления звена; T – постоянная времени звена.

Щелкнуть правой клавишей по апериодическому звену в окне модели. В появившемся меню выбрать Свойства. В появившемся окне ввести значение коэффициента усиления 2.3 и значение постоянной времени звена 0.9 с (рис. 10).

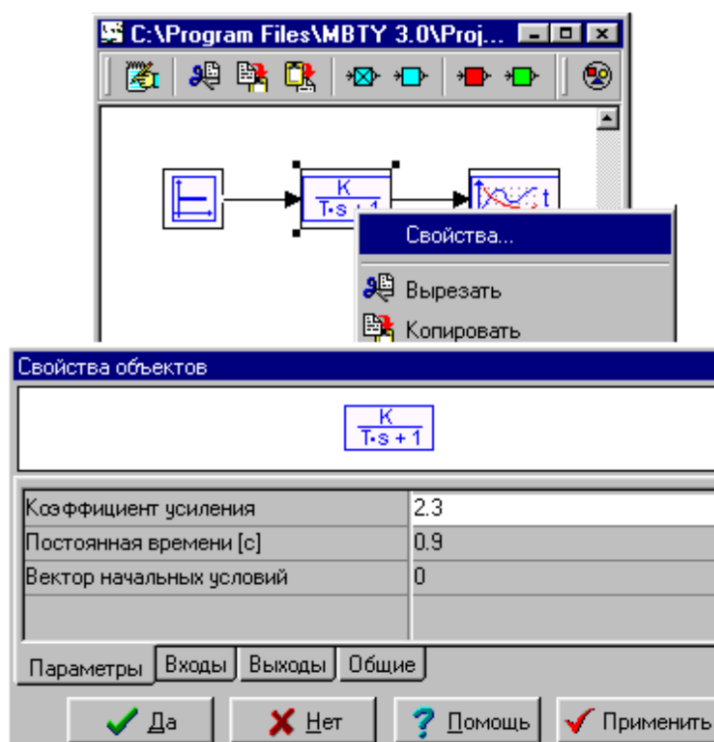


Рис. 10. Задание коэффициента усиления и постоянной времени исследуемого апериодического звена

Щелкнуть по кнопке **Да**.

2.2.4 Запуск программы на счет

Щелкнуть по кнопке **Пуск** (Продолжить расчет **Ctrl+F9**) с изображением бегущего человечка на основной панели (рис. 9). Моделирование запущено.

На вход апериодического звена будет подан ступенчатый виртуальный сигнал, на который блок отреагирует постепенным, все более медленным возрастанием сигнала до его устанавливающегося значения. Отметим, что появится окно с пугающим предупреждением о том, что заданная точность не обеспечивается. Но это предупреждение относится только к первому шагу интегрирования, поэтому его окно следует просто закрыть и можно анализировать полученную переходную характеристику (рис. 5).

Контрольные вопросы

- 1 Поясните принцип построения модели в ПК «МВТУ».
- 2 Что такое графический интерфейс программы?
- 3 Назовите основные элементы главного окна ПК «МВТУ».
- 4 Назовите основные вкладки Палитры блоков ПК «МВТУ».
- 5 Как запустить новый проект?
- 6 Как открыть созданную ранее модель?
- 7 Как вынести блок на рабочее пространство окна модели?
- 8 Как соединить выход одного блока и вход другого?
- 9 Как поменять цвет кривой на виртуальном осциллографе?
- 10 Как изменить заголовок графика?
- 11 Как сохранить файл модели? Какое расширение имеет этот файл?

ЛИТЕРАТУРНЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. ГОСТ 8.009-84 ГСИ. Нормируемые метрологические характеристики средств измерений.
2. ГОСТ 8.401-80 ГСИ. Классы точности средств измерений. Общие требования.
3. Технические измерения и приборы. Часть 1. Измерение теплоэнергетических параметров: Учебное пособие. Н. В. Чистофорова, А.Г. Колмогоров.- Ангарск.АГТА.2008.- 200 с.
4. Архипенко А.Г., Белошицкий А.П., Ляльков С.В. Метрология, стандартизация и сертификация: Учебное пособие. Ч.1. Основы метрологии. - Мн.: БГУИР, 1997. - 55 с.
5. ГОСТ Р ИСО 10012. Менеджмент организации. Системы менеджмента измерений. Требования к процессам измерений и измерительному оборудованию.
6. Коропец, П.А. Теория автоматического управления: учебно-методическое пособие к лабораторным работам / П.А. Коропец, Б.Т. Федосов ; Рост. гос. ун-т путей сообщения. – Ростов н/Д, 2011. – 87 с. : ил. – Библиогр. : 9 назв.

Учебное издание

Щербак Наталья Александровна

**Метрология, сертификация, технические измерения и
автоматизация тепловых процессов**

Печатается в авторской редакции

Технический редактор

Подписано в печать Формат 60×84/16.

Бумага газетная. Ризография. Усл. печ. л.

Тираж экз. Изд. № . Заказ .

Редакционно-издательский центр ФГБОУ ВО РГУПС.

—
Адрес университета: 344038, г. Ростов н/Д, пл. Ростовского Стрелкового
Полка Народного Ополчения, 2.

© Щербак Н.А., 2017

© ФГБОУ ВО РГУПС, 2017