

Лекция № 7

Тема 3. Погрешности измерений и метрологические характеристики СИ

3.5. Погрешности средств измерений

3.6. Нормирование метрологических характеристик

3.7. Классы точности

3.8. Нормирование динамических погрешностей

Результаты тестов лекций по МСС

Группа АК 21- 1													
Ф.И.О.	Лекция 1		Лекция 2		Лекция 6		Лекция 4		Лекция 5		Лекция 6		Лекция 7
Батомункуев	5	3	5	3	1	2							
Беспятых	4	2	3	2	5	3							
Биртанов	5	3	5	3	3	2							
Воробьева	4	2	2	2	4	2							
Гордеев	3	2	1	2									
Гадальшин													
Ефимов	4	2	5	3	5	3							
Жалсараев	6	4	4	2									
Колмаков	3	2	3	2	4	2							
Коровин	4	2	4	2	5	3							
Нимаев	4	2	1	2	3	2							
Санников	5	3	1	2	2	2							
Турчановский	3	2	4	2	4	2							
Шалапугин	5	3	5	3	3	2							

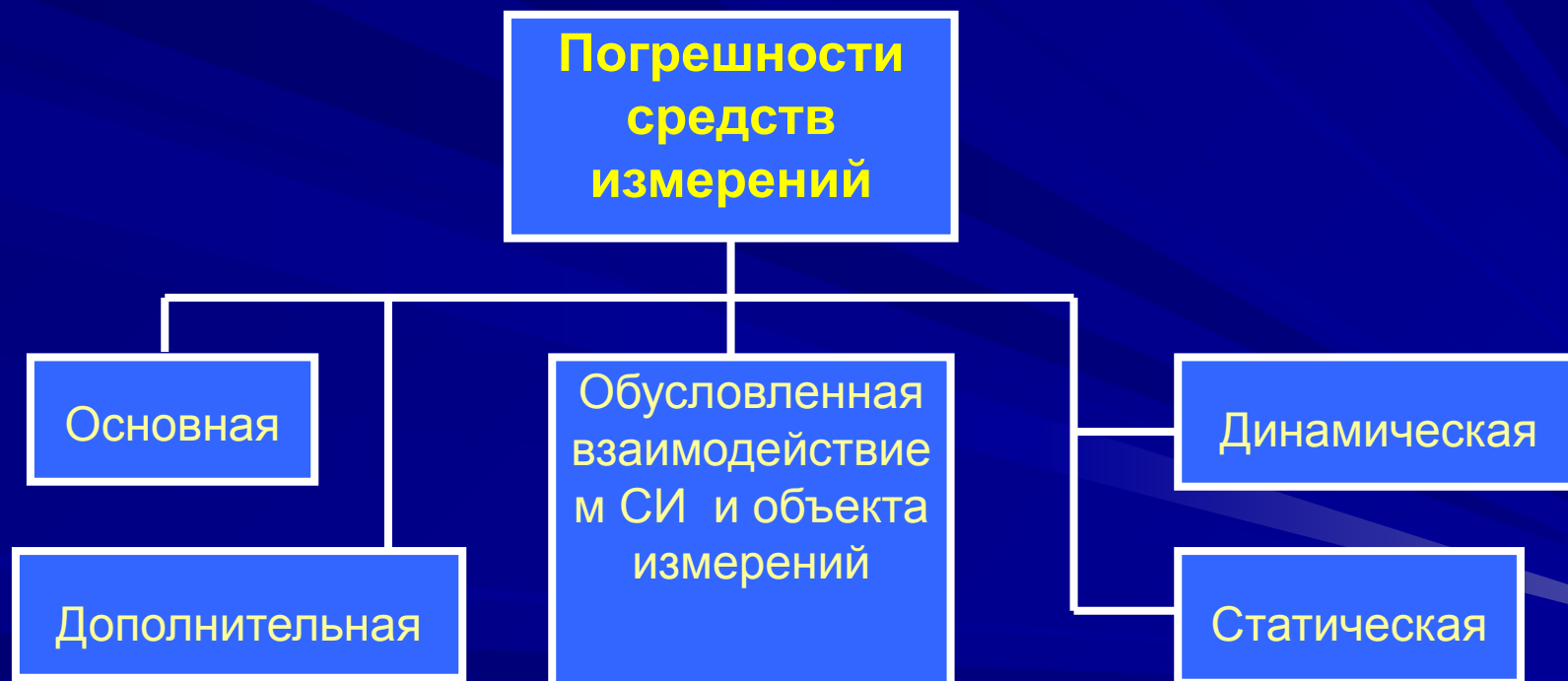
Классификация средств измерений

21



3.6. Погрешности средств измерений (ГОСТ 8.009-84)

Средства измерений – технические средства, используемые при измерениях и имеющие нормированные метрологические свойства

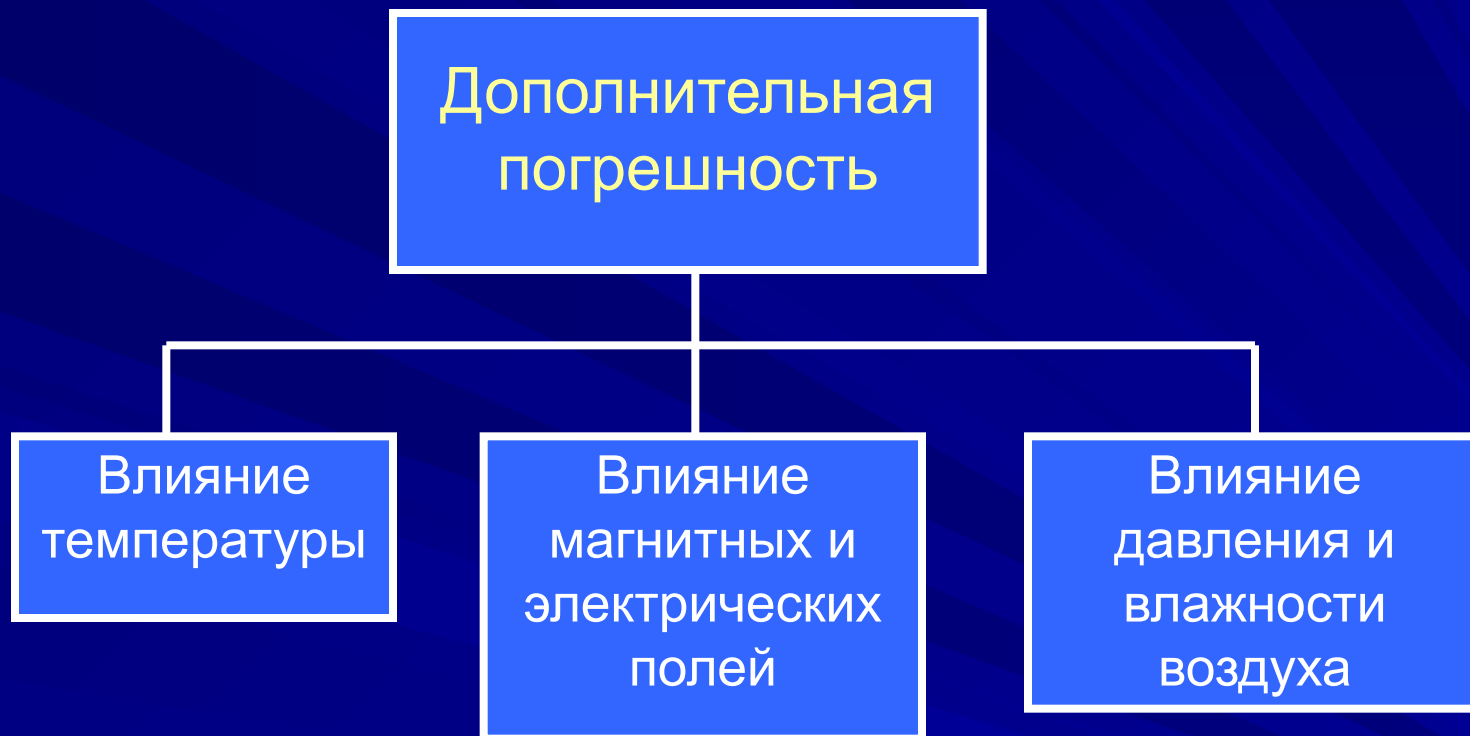


3.6. Погрешности средств измерений



Основная погрешность прибора - погрешность при нормальных условиях использования прибора

3.6. Погрешности средств измерений



Дополнительная погрешность зависит от свойств СИ и от изменения влияющих величин, отличных от нормальных.

Нормальные условия эксплуатации СИ: температура окружающего воздуха $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$; относительная влажность 30 - 80 %; атмосферное давление 630 - 795 мм рт. ст., напряжение питающей сети $(220 \pm 4,4)$ В, частота питающей сети $(50 \pm 0,5)$ Гц.

3.6. Погрешности средств измерений

Погрешность, обусловленная взаимодействием СИ и объекта измерения, зависит от свойства СИ и объекта измерений

Динамическая погрешность. Она обусловлена реакцией СИ на скорость (частоту) изменения входного сигнала. Эта погрешность зависит от динамических свойств (инерционности) СИ, частотного спектра входного сигнала, изменения нагрузки и влияющих величин.

Выходные преобразователи обладают наибольшей инерционностью и являются доминирующими при определении динамических характеристик авиационных СИ

Для электроизмерительных аналоговых приборов широкого применения время успокоения подвижной системы не должно превышать 4 секунд

3.6. Погрешности средств измерений

Вариация показаний.

При эксплуатации СИ значение входной величины может плавно или скачкообразно увеличиваться или уменьшаться. Если при одном и том же значении входной величины наблюдаются разные показания, то считается, что у прибора имеется *вариация показаний*.

Вариация объясняется наличием моментов трения в отсчетных электромеханических устройствах, гистерезисом в отдельных цепях измерительных преобразователей, тепловой инерцией и другими причинами.

$$v = \left| \frac{\sum_{i=1}^n X_{iу\mu} - \sum_{j=1}^n X_{jу\psi}}{n} \right|$$

$$v = X_{эу\mu} - X_{эу\psi}$$

3.6. Погрешности средств измерений

Грубой погрешностью называют погрешность, существенно превышающую погрешность, оправданную условиями измерений, методом измерения, свойствами примененных СИ, квалификацией экспериментатора.

Промехи – следствие неправильных действий экспериментатора: описка при записи результатов наблюдения, неправильно снятое показание приборов и т.д.

3.7. Нормирование метрологических характеристик

Для обеспечения единства измерений и взаимозаменяемости СИ их метрологические характеристики нормируют. Нормировать метрологическую характеристику означает указать ее номинальное значение и допускаемые отклонения от него.

При нормировании используют нормированные значения погрешности СИ.

Под *нормированным значением* понимают погрешность, являющуюся предельной для данного типа СИ.

Для каждого вида СИ нормируется свой комплекс метрологических характеристик, который указывается в нормативно-технической документации. Правила предписания пределов допустимых погрешностей и форма их записи устанавливает система стандартов, обеспечивающая единство измерений.

Нормируемые метрологические характеристики типа СИ — совокупность метрологических характеристик данного типа СИ, устанавливаемая нормативными документами на СИ.

3.7. Нормирование метрологических характеристик

К метрологическим характеристикам СИ относят те, которые оказывают влияние на результаты и погрешности измерений.

Среди них можно выделить несколько основных:

- градуировочные характеристики, определяющие зависимость выходного сигнала от входного; номинальное значение меры; пределы измерения; цена деления шкалы для аналоговых приборов; вид и параметры цифрового кода цифровых приборов;
- динамические характеристики, отражающие инерционные свойства СИ и необходимые для оценивания динамических погрешностей измерений;
- инструментальные составляющие погрешности измерения;
- функции влияния, отражающие зависимость метрологических характеристик СИ от воздействия влияющих величин или неинформативных параметров (напряжение, частота сети и т. д.).

3.7. Нормирование метрологических характеристик

Помехоустойчивость — свойство средства измерений правильно воспроизводить значение измеряемой величины при наличии внутренних и внешних помех

Нормальные условия эксплуатации средств измерений — условия, при которых влияющие величины имеют нормальные значения или находятся в пределах нормальной области значений

Влияющая величина — внешнее воздействие, влияющее на показания прибора, но не являющееся измеряемой им величиной

3.7. Нормирование метрологических характеристик

*Технические характеристики, описывающие общие свойства СИ и оказывающие влияние на результаты и на погрешности измерений, называются **метрологическими характеристиками средств измерений**.*

Метрологические характеристики нормируются (ГОСТ 8.009-84).

К ним относятся:

- пределы измерений (пределы шкалы);
- цена деления равномерной шкалы аналогового прибора или многозначной меры. При неравномерной шкале дается минимальная цена деления;
- выходной код, число разрядов, цена единицы наименьшего разряда кода приборов с цифровым отсчетом;
- вариация показаний;
- погрешности прибора (систематическая и случайная составляющие, суммарная погрешность);

3.7. Нормирование метрологических характеристик

- - входное сопротивление;
- - выходное сопротивление;
- - диапазоны рабочих частот;
- - время установления показаний (быстродействие - для цифровых приборов);
- - функции влияния, представляющие собой зависимость изменения метрологических характеристик от изменения влияющих параметров или неинформативных параметров входного сигнала (не связанных функционально с измеряемым свойством объекта измерения)
- - динамические характеристики (для приборов, предназначенных к использованию с быстроизменяющейся нагрузкой).

3. 8. Классы точности средств измерений

Класс точности средств измерений – обобщенная характеристика СИ, определяемая пределами допускаемых основных и дополнительных погрешностей, а также другими свойствами СИ, влияющими на точность, значения которых устанавливаются в стандартах на отдельные виды СИ

Класс точности СИ характеризует предел допускаемой погрешности в виде абсолютной, относительной или приведенной погрешностей, с которыми СИ еще может быть признано годным для метрологической работы

Необходимо подчеркнуть, что класс точности не совпадает с точностью полученных с помощью данных СИ результатов измерений. Однако по классу точности СИ можно провести оценку точности полученных значений измеряемой величины

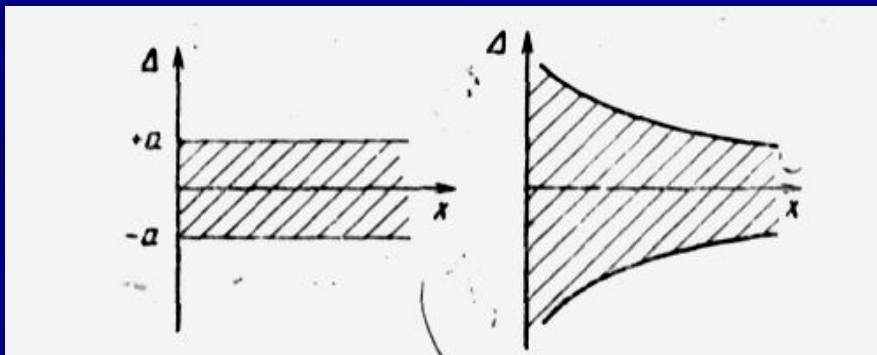
3. 8. Классы точности средств измерений

По способу обозначения класса точности СИ средства измерений, согласно ГОСТ 8.401—80, подразделяются на пять групп.

К *первой группе* относят СИ, у которых предел допускаемой основной погрешности выражается **абсолютной погрешностью** в единицах измеряемой величины, иногда указывается наибольшая допускаемая нестабильность СИ. Пределы допускаемой абсолютной основной погрешности определяют по формуле

$$\Delta = \pm a = p$$

$$\Delta = \pm (a + bx)$$



К СИ первой группы относятся наборы мер — гирь, конденсаторов, резисторов, концевых мер и др.

3. 8. Классы точности средств измерений

Ко *второй группе* относят СИ с преобладающей аддитивной погрешностью.

Пределы допускаемой приведенной основной погрешности определяют по формуле

$$\gamma = \frac{\Delta}{x_N} 100\% = \pm p$$

p – отвлеченное положительное число, выбираемое из ряда:

$$1 \cdot 10^n; 1,5 \cdot 10^n; 1,6 \cdot 10^n; 2 \cdot 10^n; 2,5 \cdot 10; 3 \cdot 10^n; \\ 4 \cdot 10^n; 5 \cdot 10^n; 6 \cdot 10^n; (n = 1; 0; -1; -2 \text{ и т.д.})$$

Приведенная погрешность характеризует лишь метрологические свойства прибора, а не погрешность результатов измерений, полученных с помощью прибора

Согласно ГОСТ 1845—59 «Электроизмерительные приборы. Общие технические условия», классы точности показывающих приборов обозначаются: 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 1,5; 2,5 и 4,0.

3. 8. Классы точности средств измерений



Нормирующим значением X_n называют условно принятое значение, равное:

- а) конечному значению шкалы прибора, если нулевая отметка прибора находится на краю или вне шкалы;
- б) номинальному значению, если прибор предназначен измерять величины, имеющие номинальное значение;
- в) арифметической сумме конечных значений диапазона измерений, если прибор имеет двустороннюю шкалу, т. е. нулевая отметка находится на середине шкалы;
- г) длине шкалы или ее части, если шкала резко нелинейна (гиперболическая, логарифмическая).

3. 8. Классы точности средств измерений

К третьей группе относят СИ с преобладающей мультипликативной погрешностью. У таких СИ пределы основной допускаемой относительной погрешности определяют по формуле

$$\delta = \frac{\Delta}{x} 100\% = \pm q$$

q – отвлеченное положительное число, выбираемое из ряда, аналогичному ряду для p .

Класс точности СИ третьей группы обозначается одним числом, помещенным в кружок, он равен пределам допускаемой относительной погрешности в процентах



К СИ третьей группы относятся однозначные меры, принимаемые независимо от других мер, интегрирующие приборы и др

3. 8. Классы точности средств измерений

К четвертой группе относят СИ, у которых мультипликативная и аддитивная погрешности соизмеримы и в зависимости от значения измеряемой величины x преобладает та или иная погрешность. Для этих СИ пределы относительной допускаемой основной погрешности определяют по формуле

$$\delta = \frac{\Delta}{x} = \pm \left[c + d \left(\left| \frac{x_k}{x} - 1 \right| \right) \right] \quad c = b + d; \quad d = \frac{a}{|x_k|}$$

x_k - больший (по модулю) из пределов измерений; c, d - положительные числа, выбираемые из приведенного выше ряда; a, b — положительные числа, не зависящие от x

Класс точности в документах обозначается отношением c/d (к примеру, класс точности 0,02/0,01)

В эту группу СИ входят приборы уравнивания — измерительные мосты, компенсаторы, цифровые вольтметры и др

3. 8. Классы точности средств измерений

К *пятой группе* относят СИ, у которых нормированная погрешность приводится к длине шкалы. Класс точности обозначается числом в процентах. Это число помещается между двумя нанесенными под углом линиями

0,5 1,6 2,5
✓ ✓ ✓

К таким СИ относятся приборы с резко неравномерной шкалой: омметры, мегомметры, приборы с логарифмической шкалой

К особой группе относят СИ, которым, согласно ГОСТ 8.382—80, присваивается наименование «образцовые СИ».

Им устанавливают классы точности, обозначаемые разрядами:

I, II, III, IV и V

3. 8. Классы точности средств измерений

Форма выражения погрешности	Класс точности или предел погрешности (примеры)	Обозначение класса точности (для данного примера)
Абсолютная	Класс М	М
Приведенная, если нормирующее значение выражено в единицах измеряемой величины	$\gamma = \pm 1,5\%$	1,5
Приведенная, если нормирующее значение принято равным длине шкалы	$\gamma = \pm 0,5\%$	0,5
Относительная постоянная	$\delta = \pm 0,5\%$	0.5
Относительная, возрастающая с уменьшением измеряемой величины (X – результат измерения, X_k – конечное значение шкалы прибора)	$\delta = \Delta / x = \pm \left[c + d \left(x_k / x - 1 \right) \right],$	0,02/0,01

Динамические характеристики СИ делят на полные и частные.

Полная динамическая характеристика СИ – это характеристика, полностью определяющая изменение во времени сигнала на выходе при известном изменении во времени сигнала на входе средства измерений.

Частная динамическая характеристика – это параметр полной динамической характеристики или её функционал.

Полная динамическая характеристика определяется дифференциальным уравнением, передаточной функцией, амплитудно-фазовой частотной характеристикой, импульсной характеристикой, переходной характеристикой.

Примерами частных динамических характеристик являются наибольшая динамическая погрешность при заданной форме входного сигнала, полоса пропускания частот при заданной неравномерности амплитудно-частотной и нелинейности фазочастотной характеристики.

3.9. Нормирование динамических погрешностей

При нормировании динамических свойств СИ выбирают подходящую для конкретного типа СИ динамическую характеристику; устанавливают, какой она должна быть, т.е. устанавливают номинальную динамическую характеристику и допустимые отклонения от неё. Назначение СИ, а также их свойства определяют, какую характеристику – полную или частную – следует выбрать в качестве нормируемой. Эти же мотивы определяют и выбор вида характеристики.

Подавляющее большинство СИ описывается линейными дифференциальными уравнениями первого или второго порядка, реже более высоких порядков. В этом случае нормируют коэффициенты при всех членах уравнений. Например, для дифференциальных уравнений первого порядка нормируется постоянная времени, для дифференциальных уравнений второго и более высокого порядков указывают вид выбранной полной динамической характеристики, номинальные значения всех коэффициентов её и пределы допускаемых отклонений от нее.

3.9. Нормирование динамических погрешностей

Если динамическая характеристика выбрана в виде передаточной функции, то указывают номинальные значения всех её коэффициентов и пределы их допустимых отклонений.

Если динамическая характеристика СИ выбрана в виде импульсной или переходной функции, то нормируются частота собственных колебаний, степень успокоения, время установления показаний и пределы их допустимых отклонений от номинальных значений.

При выборе динамической характеристики средства измерений в виде амплитудно- и фазочастотных характеристик нормируются их номинальные зависимости и пределы допустимых отклонений от них, например, в виде графиков, таблиц или формул.

Проверка усвоения материала лекции 7

ЗАДАНИЕ № 1 *(выберите один вариант ответа)*

При подаче на вход вольтметра образцового сигнала 1 В его показание составили 0,95В. Погрешность измерения равна ...

ВАРИАНТЫ ОТВЕТОВ:

1 - 0,05 В

2 $\pm 0,05$ В

3 + 0,05 В

4 $\pm 0,5$ %

Проверка усвоения материала лекции 7

ЗАДАНИЕ № 2 (выберите один вариант ответа)

Погрешность, выраженная формулой

$\Delta = x - x_{\text{ист}}$ является ...

ВАРИАНТЫ ОТВЕТОВ:

- 1 относительной
- 2 статической
- 3 приведенной
- 4 абсолютной

Проверка усвоения материала лекции 7

ЗАДАНИЕ № 3 (выберите один вариант ответа)

Вольтметр с пределами измерения 0 ... 250 В класса точности 0,2 показывает 200 В. Предел допускаемой абсолютной погрешности измерения вольтметра равен...

ВАРИАНТЫ ОТВЕТОВ:

- 1 0,4 В
- 2 0,5 В
- 3 0,2 В
- 4 0,3 В

Проверка усвоения материала лекции 7

ЗАДАНИЕ № 4 (*выберите один вариант ответа*)

Стандартные значения класса точности средств измерений ...

ВАРИАНТЫ ОТВЕТОВ:

- 1 0,8
- 2 0,15
- 3 1,3
- 4 1,6

Проверка усвоения материала лекции 7

ЗАДАНИЕ № 5 (*выберите один вариант ответа*)

0,2

Счетчик электрической энергии класса точности показывает 500 кВт час. Предел допускаемой абсолютной погрешности равен ...

ВАРИАНТЫ ОТВЕТОВ:

1. 5 кВт час
2. 2,5 кВт час
3. 10 кВт час
4. 1,0 кВт час

Проверка усвоения материала лекции 7

ЗАДАНИЕ № 6 (выберите один вариант ответа)

Укажите порядковый номер манометра, обеспечивающий измерение давления 100 кПа с наивысшей точностью ...

ВАРИАНТЫ ОТВЕТОВ:

№	Класс точности	Верхний предел измерения,к Па
1	0,2	200
2	0,2/0,1	
3	0,5	
4	0,5	
5	1,0	

Проверка усвоения материала лекции 7

ЗАДАНИЕ № 7 (*выберите не менее двух вариантов ответа*)

Погрешности измерений в зависимости от причин их возникновения ...

ВАРИАНТЫ ОТВЕТОВ:

- 1 случайная
- 2 методическая
- 3 систематическая
- 4 инструментальная

Проверка усвоения материала лекции 7

ЗАДАНИЕ № 8 (*выберите один вариант ответа*)

По условиям эксплуатации различают погрешности средств измерений ...

ВАРИАНТЫ ОТВЕТОВ:

- 1 дополнительная
- 2 методическая
- 3 систематическая
- 4 основная