

МЕТОДИКА ПЕДАГОГИЧЕСКОГО ИЗМЕРЕНИЯ ГРАМОТНОСТИ ШКОЛЬНИКА В ПРЕДМЕТНЫХ ОБЛАСТЯХ (НА ПРИМЕРЕ «МАТЕМАТИКА», СТУПЕНЬ НАЧАЛЬНОГО ОБЩЕГО ОБРАЗОВАНИЯ)

© **Бояшова С. А.**, доктор технических наук, научный руководитель сетевого эксперимента Приморского района Санкт-Петербурга: «Разработка районной системы независимой оценки качества образования на основе широкого использования современных информационно-коммуникационных технологий»

Опишем методику измерения грамотности выпускника начальной школы в предметной области «Математика», используемую в автоматизированной системе измерения (АСИ).

Методика измерения – это установленная совокупность операций (шагов) и правил, выполнение которых обеспечивает получение необходимых результатов с гарантированной точностью в соответствии с принятым методом.¹

1. Шаг первый. Определение объекта, цели и принципа измерения

В качестве объекта исследования выберем одно из свойств (качеств) выпускника начальной школы – математическая грамотность, которое формируется в процессе учения и характеризует его психическую систему.

Математическая грамотность является общей характеристикой в качественном отношении, но в количественном отношении она индивидуальна. В процессе учения школьника, протекающего в условиях организованного обучения и воспитания, математическая грамотность меняется.

Определим понятие общее понятие «грамотность».

В процессе многочисленных педагогических и психологических исследований выявлено, что в ходе учения человека в его психической системе возникают целостные новообразования в виде ЗУН (система связанных между собою знаний, умений и навыков), которые определяют его интеллект².

Чем больше объем усвоенных научных понятий предметных научных областей, тем больше объем ЗУН и тем выше интеллект человека. На каждый период обучения количество ЗУН и время, потраченное на их формирование, конечны, следовательно, грамотность можно измерить.

Таким образом, объем ЗУН ($V_{ЗУН}$) прямопропорционален объему понятий научной области ($V_{понятий}$), усвоенных обучающимся (школьником) в процессе его учения:

$$V_{ЗУН} = V_{понятий}$$

Грамотность³ – это свойство психической системы человека, количественной мерой которого является объем усвоенных им понятий предметной научной области в виде соответствующей системы связанных между собой ЗУН.

¹ ГС. ГСИ. Метрология. Основные термины и определения. МИ 2247-93. – СПб, 1994.

² Ильясов И. И. Структура процесса учения. / И. И. Ильясов. – М. : 1986. – 458 с.

Лингарт Й. Процесс и структура человеческого учения. / Й. Лингарт. – М. : Изд-во Прогресс, 1970.

³ Бояшова С. А. Теоретические основы построения автоматизированной системы сертификации работников отрасли образования. : автореф. дисс. ... докт. тех. наук. – СПб., 2010.

Прочность связи зависит от других психических, физиологических и личностных особенностей индивидуума (например, объем памяти).

Единица объема ЗУН – 1 понятие (величина ($V_{ЗУН}$) фиксированного размера, которой условно присвоено числовое значение, равное единице, и которая принимается для количественного выражения одноименных с ней величин).

Если выпускник полностью усвоил содержание учебной программы, то можно утверждать, что он обладает абсолютной грамотностью. Если равенство не выполняется, то вводится коэффициент грамотности:

$$\alpha = \frac{V_{ЗУН}}{V_{понятий}} \quad (1)$$

Коэффициент математической грамотности α – безразмерный коэффициент, определяемый как отношение объема понятий предметной области «Математика», подлежащий обязательному усвоению школьником, к объему понятий, усвоенному его психической системой в процессе учения.

2. Шаг второй. Определение метода измерения коэффициента математической грамотности выпускника начальной школы и его эталонных мер

Метод измерения – это прием или совокупность приемов сравнения измеряемой величины с ее единицей в соответствии с реализованным принципом измерения⁴. При проведении измерений коэффициента математической грамотности будем использовать метод сравнения с мерой, в котором измеряемую величину сравнивают с величиной воспроизводимой мерой.

Эталонная мера математической грамотности – содержание предметной области «Математика», включающее в себя математические понятия и их системы, подлежащие обязательному усвоению школьником на ступени начального общего образования. В дальнейшем системы понятий будем называть «системами структурных элементов содержания предметной области», и представлять в виде таблицы – кодификатора (табл. 1).

Составление кодификатора начинается с декомпозиции текста учебной программы, которая заключается в его разделении на предложения. Далее проводится структуризация предложений в форму таблицы. В первом столбце определены подсистемы (блоки) элементов содержания предметной области. Во втором – структурные элементы содержания, входящие в блок.

Таблица 1. Кодификатор предметной области «Математика»⁵ (начальная школа)

Подсистемы (блоки)	Структурные элементы содержания
1. Числа и величины	1. Понятие числа (нуль, натуральные, обыкновенные дроби).

⁴ ГС. ГСИ. Метрология. Основные термины и определения. МИ 2247-93. – СПб, 1994.

⁵ Перечень тем и их состав определен на основании требований Федерального государственного образовательного стандарта начального общего образования, утвержденного приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 6 октября 2009 г. № 373

Подсистемы (блоки)	Структурные элементы содержания
	2. Операции с числами от нуля до миллиона (сложение, вычитание, умножение, деление, сравнение, установление последовательности, группировка, установление закономерности). 3. Понятие величины (масса, скорость, длина, время, площадь, объем, периметр). 4. Понятие единицы величин и соотношения между ними (г, кг, ц, т, л, сек, мин, час, см, дм, м, км, ...).
2. Арифметические действия	1. Действия с многозначными числами. 2. Свойства арифметических действий. 3. Определение и нахождение неизвестного компонента. 4. Вычисление значения числового выражения.
3. Текстовые задачи	1. Простые (вычитание, сложение, умножение, деление). 2. Сложные (вычитание, сложение, умножение, деление). 3. Составные (больше двух действий). 4. Нахождение неизвестного по двум разностям. 5. Нахождение цены, количества, стоимости. 6. Движение (встречное, противоположное). 7. Нахождение доли величины и величины по значению ее доли.
4. Геометрические фигуры и тела. Геометрические величины	1. Геометрические фигуры на плоскости (точка, прямая, луч, отрезок, ломаная, угол, многоугольник, треугольник, прямоугольник, квадрат, окружность, круг). 2. Геометрические тела (куб, шар). 3. Геометрические величины (длина отрезка, периметр, площадь, объем).
5. Работа с информацией	1. Чтение, сравнение и обобщение информации в таблицах и диаграммах. 2. Построение таблиц и диаграмм. 3. Распознавание информации, представленной в разной форме (таблицы и диаграммы). 4. Установление логических связей информации. 5. Интерпретация информации, полученной при проведении исследований.

Кодификатор является основой эталонной числовой модели, отражающей в цифрах предметную область. Числовая модель состоит из эталонов, характеризующихся различной степенью валидности (или точности).

Первичный эталон высшего класса точности включает в себя все элементы содержания предметной области.

Последующие эталоны (с меньшей степенью валидности) строятся по принципу уменьшения числа структурных элементов содержания на одну неделимую в рамках кодификатора единицу (табл. 2).

Таблица 2. Эталоны предметной области «Математика» (начальная школа)⁶

Эталон	Блок 1	Блок 2	Блок 3	Блок 4	Блок 5	Всего элементов
Первичный (высшего класса)	4	4	7	3	5	23
1-го класса	3	3	6	2	4	18
2-го класса	2	2	5	1	3	13
3-го класса	1	1	4	0	2	8
4-го класса	0	0	3	0	1	4

При завершении обучения на ступени начального образования выпускник должен воспроизводить заданные в кодификаторе предметно-специфические структурные элементы содержания предметной области согласно первичному эталону высшего класса точности (рис. 1).

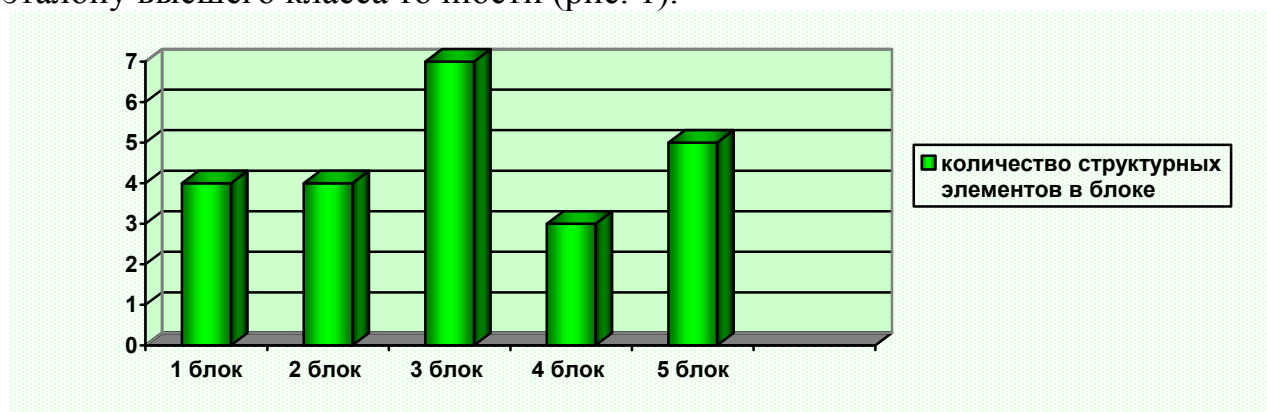


Рис. 1. Распределение структурных элементов по блокам эталонной меры (первичный эталон)

Если выпускник начальной школы в процессе своего обучения усвоил все элементы содержания кодификатора предметной области «Математика», то можно утверждать, что он обладает абсолютной математической грамотностью в границах кодификатора. В таблице 3 приведены эталонные распределения коэффициента математической грамотности трех уровней, рассчитанные по данным таблицы 2 и формуле 1.

Таблица 3. Эталоны коэффициента математической грамотности (начальная школа)

Эталон	Блок 1	Блок 2	Блок 3	Блок 4	Блок 5	Ср. Коэфф. ⁷
Первичный (высшего класса)	1	1	1	1	1	1 ± 0
1-го класса	0,75	0,75	0,86	0,67	0,80	$0,77 \pm 0,14$ (18%)
2-го класса	0,50	0,50	0,71	0,33	0,60	$0,53 \pm 0,29$ (55%)

⁶ Эталоны 3-го и 4-го классов являются непригодными вследствие потери блоков элементов содержания.

⁷ Погрешность эталонов коэффициента грамотности рассчитана для малого числа наблюдений $n = 5$, доверительной вероятности $P_c = 0,99$ $t_{\text{Стьюдента}} = 4,60$

Построенные в таблице 3 эталонные распределения коэффициента математической грамотности выпускника начальной школы являются основой шкалирования и стандартизации оценки по стобалльной и пятибалльной шкалам (табл. 4).

Таблица 4. Шкалирование и стандартизация оценки выпускника

Эталон	Ср. Коэфф.	Эталонные интервалы коэфф. грамотности	Оценочные эталонные интервалы в 100 балльной шкале	Оценочные эталонные интервалы в 5 балльной шкале
Первичный (высшего класса)	1	1-0,78	100-78 (с относительной погрешностью от 0 % до 18 %)	5
1-го класса	0,77	0,77-0,54	77-54 (с относительной погрешностью от 18 % до 55 %)	4
2-го класса	0,53	0,53-0,37	53-37 (с относительной погрешностью от 55 % и выше)	3

Из таблицы 4 видно, что чем выше оценка выпускника, тем меньше относительная погрешность его оценивания.

3. Разработка рабочих средств измерения

В качестве рабочего средства измерения коэффициента грамотности выпускника (в дальнейшем называемого испытуемым) будем использовать тест.

Педагогический тест (средство педагогического измерения)⁸ – мера, представляющая собой систему, состоящую из совокупности тестовых заданий, каждое из которых относится к структурному элементу содержания предметной области, хранящему единицу педагогической величины (1 понятие), размер которой принимается неизменным в пределах установленной погрешности в течение известного интервала времени (время сохранения кодификатора неизменным по структуре и содержанию).

Количественная модель теста составляется в соответствии первичному эталону предметной области «Математика» (начальная школа):

- длина теста определяется общим числом структурных элементов содержания – 23 тестовых задания;
- число блоков равно числу подсистем структурных элементов содержания – 5 блоков;
- число заданий в блоках распределяется по числу структурных элементов содержания в блоках: 1 блок – 4 задания, 2 блок – 4 задания, 3 блок – 7 заданий, 4 блок – 3 задания, 5 блок – 5 заданий.

Содержание тестового задания (элемент теста) составляется на проверку усвоения соответствующего структурного элемента содержания предметной области и располагается в тесте в порядке, определенном количественной моделью теста.

⁸ Бояшова С. А. Теоретические основы построения автоматизированной системы сертификации работников отрасли образования. : автореф. дисс. ... докт. тех. наук. – СПб., 2010.

ИТОГОВЫЙ ТЕСТ МАТЕМАТИКА ⁹

(начальная школа)

Вариант 01

Блок 1

Задание 1. Выберите правильное утверждение из числа предложенных вариантов.

Количество разрядов в числе 2 300 876 равно ...

Варианты утверждения:

- 1) ... 3.
- 2) ... 5.
- 3) ... 7.
- 4) ... 9.

Далее по кодификатору _____

Представленное выше задание располагается в первом блоке теста (числа и величины), и имеет первый порядковый номер, соответствующей первой структурной единице содержания предметной области (понятие числа: нуль, натуральные, обыкновенные дроби).

Второе место в композиции теста займет задание на проверку усвоения операций с числами от нуля до миллиона (сложение, вычитание, умножение, деление, сравнение, установление последовательности, группировка, установление закономерности).

Дальнейший порядок тестовых заданий определен в кодификаторе. Все другие варианты тестов сохраняют свою композицию неизменной и составляются по первому образцу. Форма тестового задания выбирается в зависимости от его содержания и целей педагогического исследования по методикам составления тестовых заданий¹⁰.

3.1. Тестовые задания с выбором одного правильного ответа

Составляются в виде утверждения или вопроса с вариативной частью в виде возможных вариантов ответа.

Такие задания характеризуются высокой вероятностью угадывания правильного ответа. Одним из способов уменьшения вероятности угадывания является увеличение числа предлагаемых на выбор ответов (три и более).

Вместе с тем увеличение числа ответов постепенно приводит к нарушению принципов логичности и краткости тестового задания, что, в свою очередь, может существенно изменить качество учебного задания в тестовой форме.

⁹Фрагмент теста (тестовое задание с выбором одного правильного ответа)

¹⁰ Аванесов, В. С. Композиция тестовых заданий : учебное пособие. / В. С. Аванесов. – М. : Изд-во Центр тестирования, 2002. – 217 с.

Майоров А. Н. Теория и практика создания тестов для системы образования. / А. Н. Майоров. – М. : Изд-во Народное образование, 2000.

3.2. Тестовые задания открытой формы

Составляются в виде взаимосвязанного текста, в структуре которого находятся пропуски для их заполнения испытуемым.

Задания в открытой форме делятся на два вида: свободное изложение ответа, дополнения. Свободное изложение не накладывает ограничений на ответ испытуемого, но вместе с тем предполагает наличие только одного возможного правильного ответа. Дополнение предполагает вписывание слова, словосочетания, символа, числа, знака.

Тестовые задания в открытой форме должны быть краткими и логически определенными. Логическая определенность содержания задания проявляется в том, что содержание и форма задания способствуют такому развитию мыслительного процесса, при котором в результате испытуемый получает правильный ответ. С целью обеспечения краткости необходимо, чтобы формулировки текста в задании были короткими и лаконичными.

При разработке тестовых заданий в открытой форме важно учесть, что чем больше делается пропусков в одном задании-предложении, тем меньше испытуемым улавливается его смысл, тем больше вероятность ошибок в понимании, т. е. ошибок, вызванных затруднением формы подачи материала, мешающей понять смысл содержания.

В формулировках заданий тестологами не рекомендуется использование отрицательных частиц, а также определение понятия через перечисление элементов, не входящих в него.

3.3. Тестовые задания на установление соответствия и установление правильной последовательности

В тестовых заданиях на установление соответствия предполагается сопоставление между собой элементов разных множеств.

Как правило, данный вид заданий состоит из текста (инструкции к его выполнению) и нескольких столбцов. В первом столбце – вопросы, понятия, термины, утверждения и т. д., в других столбцах – утверждения или ответы, которые следует поставить в соответствие с первым столбцом. Для правильного восприятия содержания задания число элементов в списках не должно превышать десяти.

Задания на установление правильной последовательности можно рассматривать как частный случай заданий на установление соответствия.

Отличительной особенностью заданий на установление правильной последовательности является наличие алгоритма, представляющего собой систему четких правил упорядоченной деятельности. Алгоритм должен быть понятен испытуемому, однозначен и достаточен для определенной содержанием задания данного вида деятельности.

При разработке заданий на установление правильной последовательности важно учесть, что основная их функция заключается в проверке алгоритмических, процессуальных, процедурных знаний. Структурными элементами задания на установление правильной последовательности являются: инструкция к заданию («установите правильную последовательность»), содержание задания,

ранжируемые элементы деятельности или определения. Ранжируемые элементы должны быть расположены случайным порядком. Окончание слов рекомендуется записывать в именительном падеже.

Оценивание результата выполнения заданий на установление соответствия и правильной последовательности, так же, как и для всех форм заданий, описанных выше, следует проводить по правилу: «1» (если все ранги расставлены испытуемым верно), «0» (если имеется хоть одна ошибка в ответе).

4. Проведение измерения

Измерение коэффициента грамотности испытуемого проводит эксперт АСИ (организатор тестирования) – это специалист, прошедший специальный инструктаж, имеющий опыт организации тестирования, выполняющий две основные группы функций: подготовка АСИ к измерению в режиме реального времени с использованием сети Интернет, обеспечение надежности и достоверности результатов.

Эксперт АСИ должен:

1. Ознакомить испытуемых с целью и правилами работы.
2. Ответить на вопросы испытуемых, касающиеся содержания заданий, до того как они приступили к работе.
3. Обеспечить четкое выполнение методических рекомендаций по проведению педагогических измерений.
4. Полностью исключить присутствие посторонних лиц во время проведения педагогических измерений.
5. Следить за соблюдением требований к помещению (каждому испытуемому обеспечить отдельное посадочное место с выходом в Интернет).
6. Соблюдать корректность по отношению к испытуемым.
7. Ориентировать испытуемых на выполнение максимального количества заданий и максимальное использование отведенного времени.
8. Обеспечить соблюдение конфиденциальности по отношению к ходу обследования и к его предварительным результатам.

5. Обработка данных измерения

Проводится параллельно с измерением и начинается с заполнения тестовой матрицы¹¹

5.1. Заполнение тестовой матрицы

Шифр испытуемого	Тестовые задания																						
	Блок 1				Блок 2				Блок 3					Блок 4			Блок 5						
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
A1	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	0
A11	0	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1
A12	1	0	1	0	1	1	0	1	0	1	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	1
A_i																						
A14	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0	1	0	1	1	1	0	1	1	0	0	1	1	0

¹¹ Фрагмент тестовой матрицы в АСИ. Если задание выполнено испытуемым правильно, то в тестовой матрице ставится цифра «1», если нет – цифра «0».

После того как тестовая матрица заполнена (завершен процесс тестирования) АСИ сравнивает эталонное распределение с экспериментальным распределением усвоенных испытуемым элементов содержания предметной области, конкретизированных в форме тестовых заданий, и полученным в процессе тестирования.

5.2. Пример сравнения

5.2.1. Сравнения по структурным элементам содержания

Распределения	Тестовые задания																						
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Эталонное	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Экспериментальное (A1)	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	0

5.2.1. Сравнения по блокам

Распределения	Блоки структурных элементов содержания					Итого единиц
	1 блок	2 блок	3 блок	4 блок	5 блок	
Эталонное	4	4	7	3	5	23
Экспериментальное (A1)	3	2	5	2	3	15

Далее АСИ рассчитывает значения коэффициента математической грамотности для каждого испытуемого по блокам с использованием формулы 1, строит его экспериментальное распределение по блокам, определяет среднее значение, выставляет оценку.

5.3.1. Построение экспериментального распределения коэффициента грамотности

Распределение	Распределение коэффициента грамотности по блокам					Ср. exper. значение α
	1 блок	2 блок	3 блок	4 блок	5 блок	
Экспериментальное (A1)	0,75	0,50	0,71	0,67	0,60	0,65

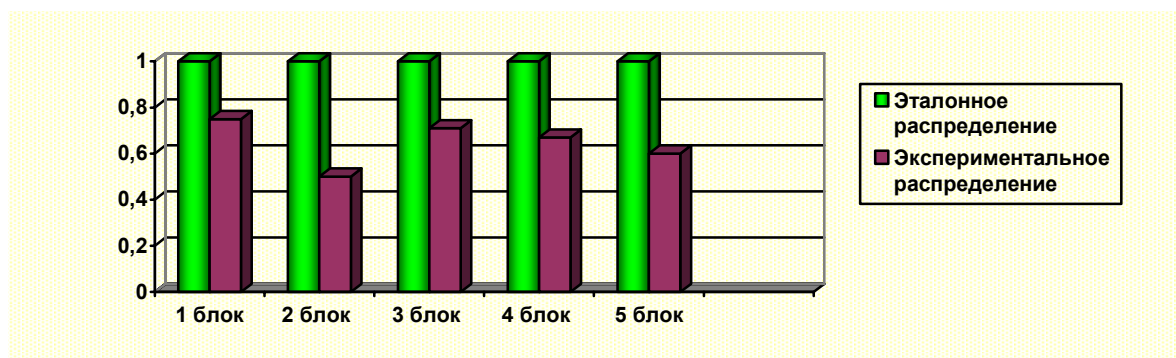


Рис. 2. Сравнение распределений коэффициента грамотности в предметной области «Математика»

5.3.2. Определение средних показателей и выставление оценок

Ср. экспериментальное значение α	Эталонный интервал (табл. 3,4)	Оценка испытуемого (100 бальная шкала)	Оценка испытуемого (5 бальная шкала)
0,65 ± 0,20 (30%)	0,77 ± 0,14	65	4

5.3.3. Структурные элементы содержания предметной области «Математика» не усвоенные выпускником начальной школы¹²

№	Структурный элемент содержания не усвоенный выпускником
3	Понятие величины (масса, скорость, длина, время, площадь, объем, периметр.
5	Действия с многозначными числами
7	Определение и нахождение неизвестного компонента
9	Простые (вычитание, сложение, умножение, деление)
12	Нахождение неизвестного по двум разностям
18	Геометрические величины (длина отрезка, периметр, площадь, объем)
20	Построение таблиц и диаграмм
23	Интерпретация информации, полученной при проведении исследований

6. Анализ результатов

Конечные результаты педагогического измерения математической грамотности предоставляются испытуемому (школьнику) и учителю (таблицы 5.2.1 – 5.3.3) в виде распечатки текстового файла из АСИ с целью устранения допущенных ошибок.

Полученная информация позволяет выявить структурные элементы содержания, не усвоенные учащимся в процессе учения, затем скорректировать индивидуальную программу его предметной подготовки, и, в конечном счете, повысить эффективность и качество реализации ФГОС.

Кроме этого, из АСИ учителю предоставляется тестовая матрица всей группы испытуемых, обучающихся под его руководством, в виде таблицы Excel. Данные таблицы позволяют провести ряд педагогических исследований, например:

- выявить структурные элементы содержания предметной области, не усвоенные учащимися в процентном соотношении числа испытуемых, выполнивших тестовое задание, к общему числу испытуемых (справляемость с заданиями, составленных для проверки усвоения выделенного элемента);
- дифференцировать учащихся по уровням их подготовки с использованием столбальной и пятибалльной шкал.

При условии проведения повторных измерений с использованием описанной выше методики, применяемой в АСИ, увеличивается достоверность и надежность педагогического исследования коэффициента математической грамотности, что позволяет делать научно-обоснованные выводы о качестве результатов предметной подготовки учащихся.

¹² Таблица 1. Относительная погрешность измерения – 30% при доверительной вероятности $P_c = 0,99$