

МЕТОДИКА ПЕДАГОГИЧЕСКОГО ИЗМЕРЕНИЯ ГРАМОТНОСТИ ШКОЛЬНИКА В ПРЕДМЕТНЫХ ОБЛАСТЯХ НАУЧНЫХ ЗНАНИЙ

д.т.н. Бояшова С.А.

Опишем методику измерения грамотности выпускника начальной школы в предметной области «Математика», используемую в автоматизированной системе измерения (АСИ), которая является универсальной и может быть использована в любых предметных областях и на разных ступенях непрерывного образования.

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

Вначале определим обобщенное понятие «грамотность», и далее конкретизируем его для предметной области «Математика».

В ходе многочисленных педагогических и психологических исследований выявлено, что в процессе учения человека в его психической системе возникают целостные новообразования в виде ЗУН (системы связанных между собою знаний, умений и навыков различного качества, уровня и сложности), которые формируют основные составляющие его интеллекта².

Прочность связи ЗУН в системе интеллекта человека зависит от многих внешних и внутренних факторов.

К внешним факторам следует отнести, например, качество преподавания учебного предмета в образовательном учреждении, качество учебных программ, ФГОС³ и др.

К внутренним факторам – физические, психические и личностные особенности индивидуума (ученика).

Исходя из вышесказанного, определим грамотность⁴ как одно из свойств интеллекта, количественной мерой которого является объем усвоенных им научных понятий в виде соответствующей системы связанных между собой ЗУН.

Грамотность является общей характеристикой в качественном отношении для человека, но в количественном отношении она индивидуальна. Объем ЗУН и время, потраченное на их формирование конечны для каждого отдельного этапа образования, следовательно, грамотность можно измерить.

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 ФГОС – Федеральный государственный образовательный стандарт начального общего образования.

⁴ Бояшова С.А. Теоретические основы построения автоматизированной системы сертификации работников отрасли образования. : автореф. дисс. ... докт. тех. наук. – СПб., 2010.

Объем ЗУН ($V_{ЗУН}$) прямо пропорционален объему понятий научной области ($V_{понятий}$), усвоенных обучающимся (школьником) в процессе его учения:

$$V_{ЗУН} = \alpha V_{понятий}$$

где α – коэффициент пропорциональности или коэффициент грамотности.

Единица объема ЗУН – 1 понятие⁵.

Единица объема ЗУН является величиной фиксированного размера, которой условно присвоено числовое значение равное единице, и которая принимается для количественного выражения одноименных с ней величин.

Если ученик (выпускник) полностью усвоил содержание учебной программы, то можно утверждать, что он обладает абсолютной грамотностью и коэффициент его грамотности $\alpha = 1$.

Если равенство не выполняется, то коэффициент грамотности определяется по формуле:

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

Коэффициент математической грамотности α – это безразмерный коэффициент, определяемый как отношение объема математических ЗУН учащегося к объему понятий предметной научной области «Математика», который подлежит обязательному усвоению в соответствии с учебной программой или ФГОС.

2. Шаг второй. Определение метода измерения и эталонной меры коэффициента математической грамотности

Метод измерения – это прием или совокупность приемов сравнения измеряемой величины с ее единицей в соответствии с реализованным принципом измерения⁶.

При проведении измерений коэффициента математической грамотности будем использовать метод сравнения его с мерой, при применении которого измеряемую величину сравнивают с величиной, воспроизводимой мерой.

Эталонная мера математической грамотности учащегося (выпускника) – система содержательных элементов предметной области «Математика», подлежащая обязательному усвоению на ступени начального общего образования согласно ФГОС.

Эталонная мера может быть представлена в виде таблицы-кодификатора.

В первом столбце таблицы определены подсистемы (блоки) элементов содержания предметной области. Во втором – структурные элементы содержания, входящие в блок.

Следует отметить, что в зависимости от целей измерения каждый отдельный элемент содержания может рассматриваться и как отдельная самостоятельная система.

⁵ В дальнейшем (применительно к учебным предметам) сложные системы научных понятий будем называть «системами содержательных элементов предметной области».

⁶ ГС. ГСИ. Метрология. Основные термины и определения. МИ 2247-93. – СПб, 1994.

Кодификатор предметной области «Математика»⁷ (начальная школа)

Подсистемы (блоки)	Элементы содержания
1. Числа и величины	<ol style="list-style-type: none"> 1. Понятие числа (нуль, натуральные, обыкновенные дроби). 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, с, мин, час, см, дм, м, км, ...).
2. Арифметические действия	<ol style="list-style-type: none"> 1. Действия с многозначными числами. 2. Свойства арифметических действий. 3. Определение и нахождение неизвестного компонента. 4. Вычисление значения числового выражения.
4. Текстовые задачи	<ol style="list-style-type: none"> 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	<ol style="list-style-type: none"> 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	<ol style="list-style-type: none"> 1. Чтение, сравнение и обобщение информации в таблицах и диаграммах. 2. Построение таблиц и диаграмм. 3. Распознавание информации, представленной в разных формах (таблицы и диаграммы). 4. Установление логических связей информации. 5. Интерпретация информации, полученной при проведении исследований.

Кодификатор является основой построения первичного числового эталона предметной области высшего класса точности (табл. 2).

⁷ 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

Первичный числовой эталон предметной области «Математика»
(начальная школа)

Эталон	Блоки элементов					Всего элементов
	1	2	3	4	5	
Первичный (высшего класса)	4	4	7	3	5	23

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

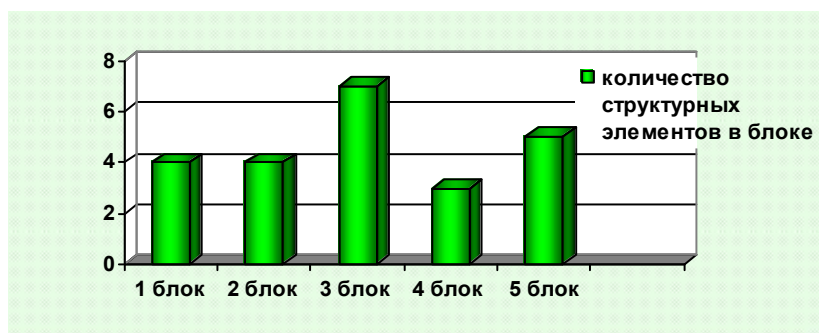


Рис. 1. Распределение элементов содержания по блокам эталонной меры (первичный эталон)

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 стандартизированного кодификатора ($\alpha = 1$).

3. Шаг третий. Составление шкалы значений коэффициента математической грамотности (шкалирование)

Процесс шкалирования значений коэффициента математической грамотности начинается с составления возможных распределений элементов содержания по блокам эталонных мер, имеющих более низкий класс точности.

Последующие эталоны (с меньшей степенью валидности) строятся по принципу уменьшения числа структурных элементов в первичном эталоне на единицу (табл. 3).

Эталонные предметной области «Математика»⁸

Эталон	Блоки					Всего элементов
	1	2	3	4	5	
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

⁸ Эталонные 3-го и 4-го классов являются непригодными вследствие потери блоков элементов содержания, определенных в кодификаторе

В табл. 4 приведены эталонные распределения коэффициента математической грамотности трех уровней, рассчитанные по данным табл. 2 и формуле - 1.

Таблица 4

Эталонные коэффициенты математической грамотности (начальная школа)

Эталонные	Блоки					Ср. коэффициент ⁹
	1	2	3	4	5	
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 ± 0,14 (18%)
2-го класса	0,50	0,50	0,71	0,33	0,60	0,53 ± 0,29 (55%)

Построенные в табл. 4 эталонные распределения коэффициента математической грамотности выпускника начальной школы являются основой шкалирования и стандартизации оценки по стобалльной и пятибалльной шкалам (табл. 5). Из табл. 5 видно, что чем выше оценка выпускника, тем меньше относительная погрешность его оценивания.

Таблица 5

Шкалирование и стандартизация оценки

Эталонные	α_{cp}	Эталонные интервалы α	Оценочные интервалы в 100 балльной шкале	Оценочные интервалы в 5 балльной шкале
Первичный	1	1-0,78	100-78	5
			(с относительной погрешностью от 0 % до 18 %)	
1-го класса	0,77	0,77-0,54	77-54	4
			(с относительной погрешностью от 18 % до 55 %)	
2-го класса	0,53	0,53-0,37	53-37	3
			(с относительной погрешностью от 55 % и выше)	
Без класса точности			37-0	2

4. Шаг четвертый. Разработка средств измерения

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

Педагогический тест (средство педагогического измерения)¹⁰ - 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 и времени.

⁹ Погрешность эталонов коэффициента грамотности рассчитана для малого числа наблюдений $n = 5$, доверительной вероятности $P_c = 0,99$ $t_{Стьюдента} = 4,60$

¹⁰ Бояшова С.А. Теоретические основы построения автоматизированной системы сертификации работников отрасли образования. : автореф. дисс. ... докт. тех. наук. - СПб., 2010.

Количественная модель теста составляется в соответствие с первичным эталоном 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.

Форма тестового задания выбирается в зависимости от его содержания и целей педагогического исследования по методикам составления тестовых заданий, описанных в работах Аванесова В.А., Майорова А.Н. и др. авторов. ¹¹.

ИТОГОВЫЙ ТЕСТ «МАТЕМАТИКА» ¹²

(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 порядковый номер, соответствующей первой структурной единице содержания предметной области (понятие числа: нуль, натуральные, обыкновенные дроби).

Второе место в композиции теста занимает задание на проверку усвоения операций с числами от нуля до миллиона (сложение, вычитание, умножение,

¹¹ 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.

¹²Фрагмент теста (тестовое задание с выбором одного правильного ответа).

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.

Оценивание результата выполнения заданий проводится по правилу: если задание выполнено – «1», если имеется хотя бы одна ошибка в ответе – «0».

5. Шаг пятый. Проведение измерений

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 правильное использование отведенного времени.
8. Обеспечить соблюдение конфиденциальности по отношению к ходу обследования и к его результатам.

Некоторые технические характеристики АСИ

Для испытуемого требуется компьютер с подключением к сети Интернет и установленным браузером (Google Chrome, Firefox Mozilla и др.)

Для проведения тестирования требуется удаленный сервер с ОС семейства Linux, включающий базу данных (СУБД MySQL) и программный код на языке программирования PHP (+ JavaScript).

Пропускная способность - одновременное тестирование 150 пользователей (на разных рабочих станциях).

Система позволяет решать три основных класса задач: расчетные, информационные, модельные.

Автоматизированные элементы системы измерений представлены в виде блок-схемы (рис 2).

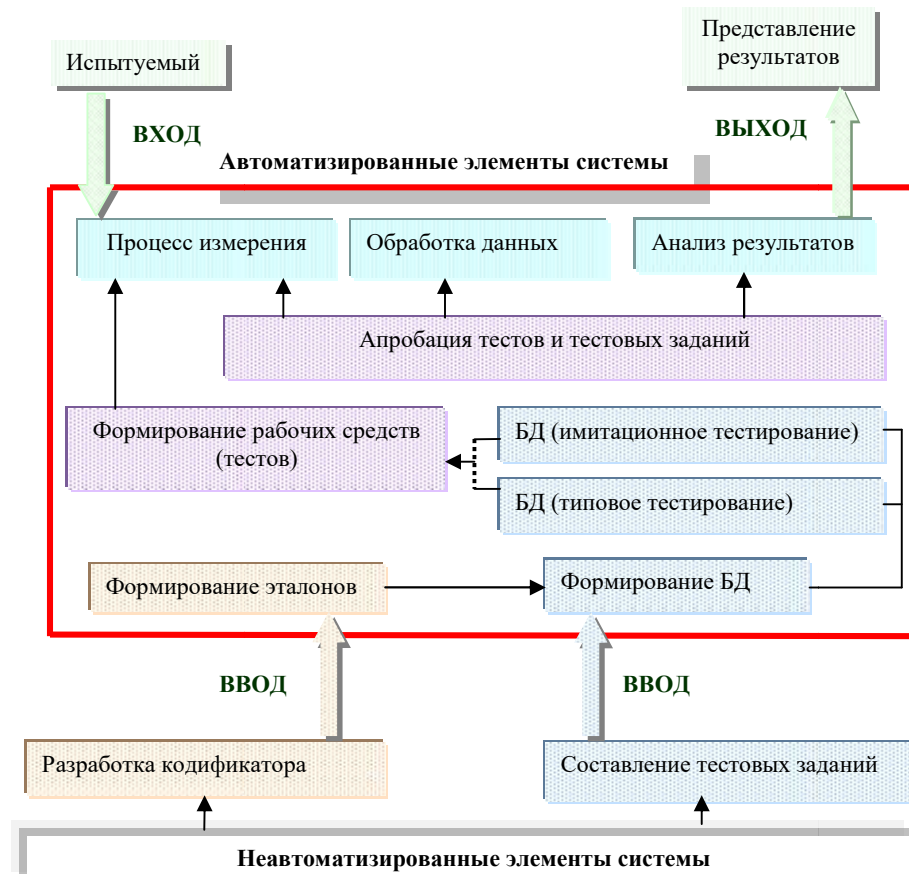


Рис 2. Блок-схема АСИ

6. Шаг шестой. Обработка данных измерения

Обработка данных измерения проводится параллельно с измерением и начинается с заполнения тестовой матрицы¹³

6.1. 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

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

Далее (в качестве примера), будем рассматривать данные измерения по строке испытуемого с шифром: A1.

¹³ Фрагмент тестовой матрицы в АСИ.

6.2. Сравнение данных измерения с эталонами распределениями

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.

6.2.1. Сравнение (A1) по структурным элементам

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 распределение																						
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Экспериментальное распределение (A1)																						
1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	0

6.2.2. Сравнение (A1) по блокам

Распределения	Блоки					Итого единиц
	1	2	3	4	5	
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.

6.2.3. Построение экспериментального распределения коэффициента грамотности (A1) по блокам

Распределение	Блоки					α_{cp}
	1	2	3	4	5	
Экспериментальное (A1)	0,75	0,50	0,71	0,67	0,60	0,65

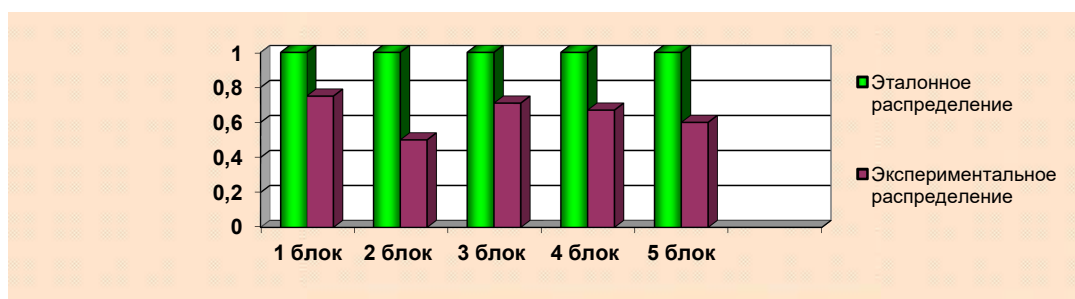


Рис. 3. Сравнение распределений коэффициента грамотности (A1)

6.2.4. Оценивание (A1)

α_{cp} (A1)	Эталонный интервал (табл. 4, 5)	Оценка (A1) 100 балльная шкала	Оценка (A1) 5 балльная шкала
$0,65 \pm 0,20$ (30%)	$0,77 \pm 0,14$	65	4

Блок-схема полной автоматизированной обработки данных измерения в АСИ представлена на рис. 4.

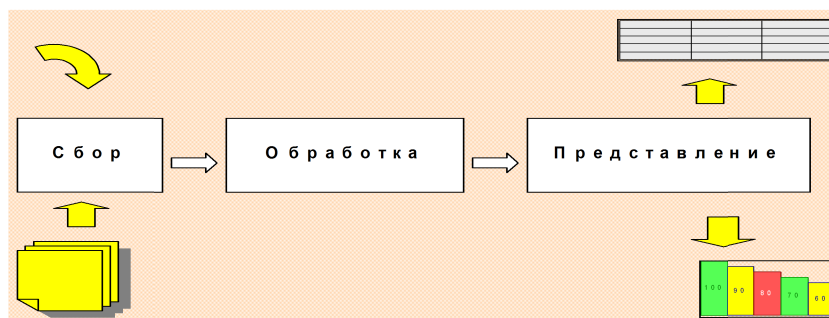


Рис. 4. Схема обработки данных

При обработке данных и анализе результатов в АСИ используются методы математической статистики: выборочный метод, корреляционный анализ, дисперсионный анализ.

7. Шаг седьмой. Анализ результатов измерения

Конечные результаты педагогического измерения математической грамотности предоставляются испытуемому (школьнику) и учителю (табл. 6.2.1 – 6.3.3) 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. Структурные элементы содержания предметной области «Математика», не усвоенные выпускником начальной школы (A1)¹⁴.

№ 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

¹⁴ Табл. 1. Относительная погрешность измерения – 30% при доверительной вероятности $P_c = 0,99$

Кроме этого, из АСИ учителю предоставляется тестовая матрица всей группы испытуемых, обучающихся под его руководством, в виде таблицы Excel.

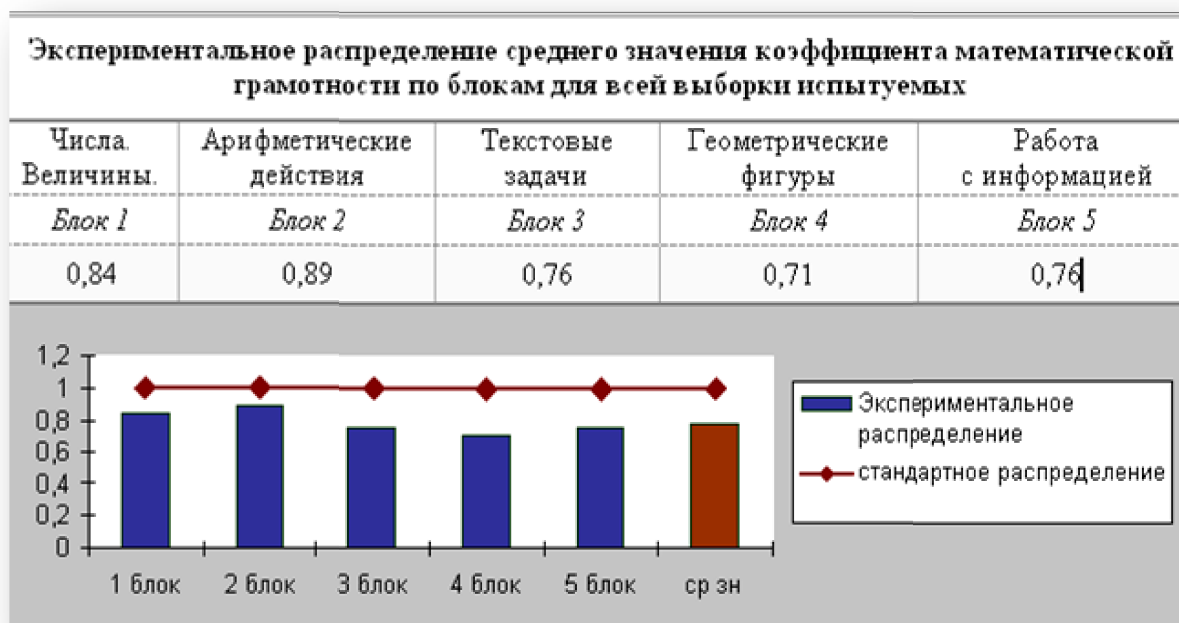
Данные таблицы позволяют провести ряд педагогических исследований, например:

- выявить структурные элементы содержания предметной области, не усвоенные учащимися в процентном соотношении числа испытуемых, выполнивших тестовое задание, к общему числу испытуемых (справляемость с заданиями, составленными для проверки усвоения выделенного элемента);

Фрагмент тестовой матрицы

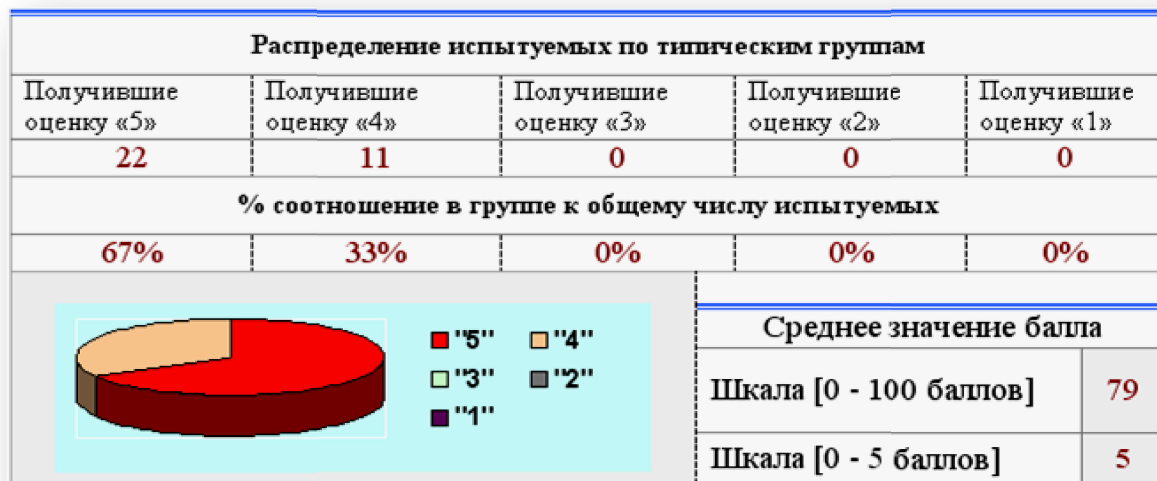
Испытуемые	Тестовые задания									
	1	2	3	4	5	6	7	8	...	23
mat13_492	0	1	1	1	1	1	1	1	...	1
...										
mat13_493	1	1	1	1	1	1	0	0		1
mat13_494	1	1	1	1	1	1	1	0		1
mat13_495	0	1	1	0	1	1	0	0		0
mat13_496	1	1	1	1	1	1	1	0		1
mat13_497	1	1	1	1	1	1	1	1		1
% справляемости с заданием по всей выборке испытуемых	0,70	#	#	#	#	#	#	0,76		0,79

Окно программы АСИ (обработка данных)



- дифференцировать учащихся по уровням их подготовки с использованием стобалльной и пятибалльной шкал.

Окно программы АСИ (обработка данных)



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.

Элементы АСИ представлены в виде обобщенной блок-схемы (рис. 5).



Рис. 5. Обобщенная блок-схема АСИ

Разработанная и описанная выше методика является универсальной, она может быть адаптирована к измерению других составляющих грамотности учащихся.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Педагогические измерения количественно характеризуют объекты отрасли образования, раскрывая действующие в них закономерности. Результаты измерений служат основой оценки уровня подготовки обучающихся в системе непрерывного образования, совершенствования технологий обучения.

Применения описанной выше методики обеспечивает единообразие единиц измеряемых педагогических величин и их мер, позволяет вещественно воспроизводить эти величины с требуемой точностью.

Основные положения методики определены на основе системного подхода и общей теории измерений (метрологии).

Методика представляет новую законченную целостную систему, непосредственно ориентированную на достижение поставленной цели – объективность оценки результатов предметной подготовки школьников на промежуточных этапах непрерывного образования.

Научная новизна предлагаемой методики заключается в том, что при ее разработке был использован научно обоснованный метрологический подход к проведению педагогических измерений, который позволяет перейти от формального тестирования испытуемых к объективному педагогическому измерению. Метрологический подход позволяет обеспечить единообразие единиц измеряемых педагогических величин и их мер, вещественно воспроизводить эти величины с требуемой точностью, и тем самым, достигается сопоставимость результатов измерений в отрасли образования.