

DOI: 10.32517/0234-0453-2023-38-3-16-23

РАЗВИТИЕ НАВЫКОВ ВИЗУАЛИЗАЦИИ И ВИЗУАЛЬНОЙ АНАЛИТИКИ В КУРСЕ ИНФОРМАТИКИ

Т. М. Шамсутдинова¹ ✉¹ Башкирский государственный аграрный университет, г. Уфа, Республика Башкортостан, Россия

✉ tsham@rambler.ru

Аннотация

В статье исследуются теоретические и практические вопросы развития навыков визуализации данных и визуальной аналитики в курсе информатики (в том числе на примере задач построения аналитических, табличных и визуальных моделей с использованием диаграмм).

Статья включает в себя обзор библиографических источников по проблемам формирования навыков визуализации и визуальной аналитики в ходе учебной и научной деятельности, а также разработку структуры компетенции визуализации и визуального анализа. В ходе исследования применялись методы моделирования (аналитические и графические модели), методы визуализации и систематизации данных. В частности, предложены и проанализированы такие компоненты компетенции визуализации и визуального анализа, как аналитический, критический, абстрактно-логический, наглядно-образный, пространственно-образный, ассоциативный, системный, алгоритмический. Кроме того, рассмотрены методы формирования данной компетенции в курсе информатики.

В статье дается не только описание, но и анализ проблем, связанных с формированием компетенции визуализации и визуального анализа. В исследовании представлены также методические указания для лабораторного практикума, разработанного для обучения студентов экономического факультета Башкирского государственного аграрного университета навыкам графической аналитики в курсе информатики.

Статья ориентирована на широкий круг специалистов в области аналитики и визуализации данных, включая преподавателей информационно-коммуникационных дисциплин, научных работников и др.

Ключевые слова: визуальный анализ, визуализация, компетенции, информатика, моделирование, диаграммы.

Для цитирования:

Шамсутдинова Т. М. Развитие навыков визуализации и визуальной аналитики в курсе информатики. *Информатика и образование*. 2023;38(3):16–23. DOI: 10.32517/0234-0453-2023-38-3-16-23

DEVELOPING VISUALIZATION AND VISUAL ANALYTICS SKILLS IN INFORMATICS COURSE

T. M. Shamsutdinova¹ ✉¹ Bashkir State Agrarian University, Ufa, The Republic of Bashkortostan, Russia

✉ tsham@rambler.ru

Abstract

The article explores theoretical and practical issues of developing skills in data visualization and visual analytics in informatics course (including examples of constructing analytical, tabular and visual models using diagrams).

This study includes a review of bibliographic sources on the problems of developing visualization and visual analytics skills in the course of educational and scientific activities. It also includes development of a visualization and visual analysis competency structure. In the course of the study were applied methods of modeling (analytical and graphical models), methods of visualization and data systematization. In particular, such components of the competency of visualization and visual analysis as analytical, critical, abstract-logical, visual-figurative, spatial-figurative, associative, systemic, algorithmic were proposed and analyzed. The methods of forming this competency in the course of informatics were also considered.

The article not only describes but also analyzes the problems, connected with formation of visualization and visual analysis competency. The study also presents methodological guidelines for the laboratory practical work, developed to teach the skills of graphic analytics in the informatics course, intended for students of the Faculty of Economics of the Bashkir State Agrarian University.

The article is aimed at a wide range of specialists in the field of data analytics and visualization, including IT teachers, researchers, etc.

Keywords: visual analysis, visualization, competencies, informatics, modeling, diagrams.

For citation:

Shamsutdinova T. M. Developing visualization and visual analytics skills in informatics course. *Informatics and Education*. 2023;38(3):16–23. (In Russian.) DOI: 10.32517/0234-0453-2023-38-3-16-23

1. Введение

Развитие навыков визуализации и визуального анализа данных является одной из значимых задач учебного процесса. Требование наглядности информации восходит еще к «золотому правилу дидактики» Яна Амоса Коменского, согласно которому для повышения эффективности обучения необходимо опираться, среди прочего, и на возможности зрительных органов человека.

В [1] дается понятие визуальной аналитики (*англ.* visual analytics) как научного направления, связанного с применением аналитического мышления при использовании интерактивных визуальных интерфейсов.

В работе Л. Черняк [2] уточняется, что на данный момент есть три схожих по концепции термина: *Visual Analytics* (визуальная аналитика), *Visual Analysis* (визуальный анализ) и *Visual Data Mining* (визуальная «добыча данных»), но каждый из них имеет свой смысл. *Visual Analytics* — «умение мыслить аналитически, поддержанное графическим интерфейсом». *Visual Analysis* — «широкий круг междисциплинарных исследований, так или иначе связанных с применением интерактивных визуальных средств для анализа данных». *Visual Data Mining*, в свою очередь, включает в себя «интеграцию методов *Data Mining* с технологиями визуализации».

Развивая концепцию *Data Mining*, сейчас можно говорить и о следующем этапе визуальной аналитики — визуализации больших данных (*англ.* big data) [3]. Растущие объемы информации в современном мире требуют все новых и новых инновационных технологий обработки и анализа данных, ввиду чего повышаются требования к профессиональным компетенциям выпускников вузов. Современный специалист должен уметь ориентироваться в нарастающих объемах цифровой информации, понимать принципы ее обработки и систематизации, обладать навыками решения прикладных задач в своей профессиональной области, в том числе навыками визуализации и визуального анализа данных. Можно еще отметить, что активное использование графических образов соответствует современной тенденции восприятия информации — клиповому мышлению, которое наблюдается у представителей так называемого поколения зумеров (или цифрового поколения — людей, родившихся примерно с конца 1990-х годов).

Цель данной статьи — рассмотреть теоретические и практические вопросы развития навыков визуализации данных и визуальной аналитики в курсе информатики (в том числе на примере задач построения аналитических, табличных и визуальных моделей с использованием диаграмм).

2. Принципы визуализации информации и задачи визуального анализа данных

Визуальное восприятие базируется на особенностях перцептивного свойства мышления: отражать события, предметы, явления внутреннего и внеш-

него мира через работу зрительных органов чувств. Природа визуального восприятия образов носит сложный перцептивно-сенсорный характер. В работе [4] отмечается, что инструменты визуального анализа задействуют перцептивные и когнитивные способности человека, используя интерактивное представление зрительной информации в качестве интерфейса между пользователями и их данными. В [5] говорится о проблеме визуализации информации как зрительного отображения семантики информации.

В работах [1, 6] выделяют следующие основные принципы визуализации информации:

- принцип уместности (*англ.* appropriateness): визуальная репрезентация должна давать столько информации, сколько необходимо для выполнения поставленной задачи; дополнительная графика может только отвлекать и усложнять задачу;
- принцип естественности (*англ.* naturalness): эмпирическое познание наиболее эффективно, когда свойства визуальной репрезентации наиболее точно соответствуют представляемой информации;
- принцип соответствия (*англ.* matching): репрезентация информации наиболее эффективна, когда она соответствует задаче, которую должен выполнить пользователь;
- принцип конгруэнтности (*англ.* congruence): структура и содержание репрезентации должны соответствовать структуре и содержанию передаваемого понятия;
- принцип восприятия (*англ.* comprehension): структура и содержание репрезентации должны быть легко и точно восприняты и поняты.

Очевидно, что решение задач с использованием аналитических визуальных моделей требует применения специальных технологий и методик. Примеры разработки методик решения подобных задач рассмотрены, например, в [7–9] и многих других.

Как отдельный вид визуализации в ряде работ современных исследователей выделяется визуализация знаний [10, 11]. При этом в [11] дается следующее определение: «Визуализация знаний — это набор графических элементов и связей между ними, используемый для передачи знаний от эксперта к человеку или группе людей, раскрывающий причины и цели этих связей в контексте передаваемого знания».

Технологии визуализации выступают в качестве эффективного средства обучения [12]. С точки зрения методики преподавания «под технологией визуализации понимается лаконичное представление учебного материала, способствующее интенсификации учебного процесса и, как следствие, совершенствованию познавательной деятельности обучающихся с учетом их индивидуальных особенностей» [13].

Можно сказать, что визуальный анализ данных в ходе учебного процесса позволяет выполнить следующие задачи [14–16]:

- активизация учебной и познавательной деятельности обучающихся с учетом их когнитивных особенностей;
- развитие аналитического и критического мышления, совершенствование навыков анализа данных (в частности, увеличение степени контроля за процессом анализа);
- формирование и развитие навыков образно-визуального мышления, зрительного восприятия, повышение визуальной грамотности и визуальной культуры;
- формирование общепрофессиональной компетенции по работе с визуальной информацией в сфере будущей профессиональной деятельности;
- формирование навыков ассоциативного мышления и структурирования, изучение приемов систематизации и структурирования данных, структурирование информации на базе наглядно-образных и логико-символических моделей;

- развитие формально-логического мышления, логических навыков, а также пространственно-образного мышления для решения сложных проблем;
- применение в учебном процессе методов естественной и символической наглядности для образного представления знаний, их передачи, для получения и обобщения знаний на основе зрительной информации.

3. Компетенция визуализации и визуального анализа, ее структура и методы формирования

На основании перечисленного можно ввести понятие «компетенция визуализации и визуального анализа» и предложить его структуру и методы формирования (см. табл.).

Таблица / Table

Структура компетенции визуализации и визуального анализа

The structure of visualization and visual analysis competency

Компоненты	Умения и навыки	Методы формирования в курсе информатики
Аналитический	Анализировать визуальную информацию, выявлять общие признаки и свойства, синтезировать информацию	Изучение методов компьютерного моделирования; изучение разнообразных программных пакетов описательной, диагностической, прогнозной, предписательной аналитики
Критический	Проводить сравнение визуальной информации, принимать взвешенное решение при выборе методов ее анализа и интерпретации данных	Применение аналитических и статистических пакетов, электронных таблиц, систем компьютерного имитационного моделирования; построение графиков, диаграмм и т. д.
Абстрактно-логический	Абстрагироваться от несущественных деталей для выявления наиболее значимых признаков, делать логические заключения, находить причинно-следственные связи	Изучение логических основ устройства компьютера, теории графов; работа с пакетами компьютерной математики, пакетами создания и моделирования логических схем, инфологических моделей (например, в виде ER-моделей баз данных)
Наглядно-образный	Представлять ситуацию и оперировать образами составляющих ее предметов	Изучение систем визуального моделирования, компьютерной графики, систем проектирования программных интерфейсов, компьютерной анимации, веб-дизайна; применение презентационной графики, инфографики, бизнес-графики
Пространственно-образный	Создавать пространственные образы; осуществлять переход от пространственных образов реальных объектов к их условно-графическим изображениям	Решение чертежно-графических задач, изучение систем инженерной компьютерной графики, САПР, геоинформационных систем, систем визуализации ландшафта и пр.
Ассоциативный	Формировать набор ассоциаций, являющихся базой ассоциативного мышления, выстраивать зрительные ассоциативные связи	Работа с ассоциативными ментальными картами, построенными по принципу иерархии понятий в виде дерева (или графа) образов, связанных с исходным изучаемым понятием
Системный	Систематизировать, структурировать графическую информацию, проводить ее классификацию и кластеризацию	Изучение методов обработки данных в структурированном наглядно-образном виде: с помощью различных схем, в табличной форме, в виде графиков, диаграмм и др.; знакомство с методами машинного обучения (кластеризация, классификация данных, деревья решений и т. д.), семантическими сетями, онтологиями
Алгоритмический	Разрабатывать визуализированные алгоритмы решения типовых задач профессиональной деятельности	Изучение блок-схем как формы представления алгоритмов; знакомство с языками графического моделирования (UML и др.)

4. Развитие навыков визуальной аналитики в вузе: опыт Башкирского государственного аграрного университета

Систематическое изучение принципов работы с визуальными объектами и моделями помогает студентам получить требуемые профессиональные навыки в области визуальной аналитики и готовит их к дальнейшей профессиональной деятельности. К визуальным моделям относится огромное число форм наглядного учебного материала, с которым сталкиваются студенты во время обучения: разнообразные макеты и схемы, чертежи, модели, технологические карты, фотоснимки, географические и геодезические карты, презентации, когнитивные карты и т. д.

Начальные навыки по работе с цифровой визуальной информацией студенты получают, осваивая курс информатики. Студенты ИТ-направлений совершенствуют навыки визуального анализа на последующих курсах при изучении разнообразных дисциплин, связанных с построением моделей анализа данных. Например, в дисциплину «Базы данных» входит большой модуль, посвященный построению логических моделей предметных областей на основе ER-моделей. Модели такого класса дают очень хорошие навыки по анализу первичной информации и систематизации данных. Большое количество средств визуального моделирования заложено в концепцию дисциплины «Проектирование информационных систем», где изучаются разнообразные технологии представления данных — модели диаграмм семейства IDEF, методологии моделирования бизнес-процессов ARIS и BPMN, язык графического моделирования UML и др.

Можно отметить и особую роль дисциплины «Программирование» для развития алгоритмического компонента компетенции визуальной аналитики. В ходе изучения основ программирования студенты развивают образно-аналитическое мышление при работе с блок-схемами алгоритмов, с формами программных интерфейсов и т. д.

Развитие графического образного мышления реализуется и на дисциплинах «Компьютерная графика», «Веб-дизайн» и др. Большой потенциал развития навыков аналитического визуального анализа заложен в дисциплину «Интеллектуальные информационные системы», в состав которой входят темы, связанные с анализом многомерных OLAP-кубов, семантическими сетями и онтологиями, нейронными сетями, кластерным анализом данных и пр. Кластерный анализ с использованием карт Кохонена можно отнести при этом к одной из продвинутых форм графической аналитики, охватывающей умение извлекать информацию методами интеллектуального визуального анализа многомерных данных.

Что касается студентов инженерных направлений подготовки, то они развивают навыки визуального анализа при изучении инженерной графики, графического и имитационного моделирования технических устройств, в ходе геоинформационного

моделирования и т. д. Хороший результат освоения навыка визуализации достигается при изучении дисциплин математической направленности [17, 18], например, при изучении аналитической геометрии и топологии, теории графов и др.

4.1. Лабораторный практикум по информатике

Отдельно остановимся на диаграммах как средстве развития навыков визуализации и визуальной аналитики в базовом курсе информатики у студентов-первокурсников.

Надо заметить, что диаграммы — очень эффективная форма наглядного отображения данных, позволяющая стимулировать у обучаемых интерес к визуальной аналитике и моделированию [19, 20].

Если говорить про базовый курс основ информатики, изучаемый, как правило, в первом (либо втором) семестре программ бакалавриата и специалитета в высших учебных заведениях, то можно отметить, что структура данного курса в целом направлена на формирование общепрофессиональных компетенций, связанных с применением методов сбора, хранения, обработки и анализа информации в профессиональной деятельности. В ходе изучения основ информатики обучающиеся приобретают навыки по работе с табличными моделями и диаграммами, что позволяет им получить опыт в области визуальной аналитики. Студенты, работая в электронных таблицах с диаграммами как с формой отражения табличных моделей, отрабатывают навыки визуального оценивания количественных и качественных характеристик данных, учатся их систематизации, группировке, масштабированию. Являясь эффективной визуальной формой, диаграммы позволяют дать емкое, лаконичное понимание динамики изменения изучаемых процессов, соотношения размерности величин, помогают выявить локальные и глобальные тенденции.

Для обучения студентов экономического факультета Башкирского государственного аграрного университета навыкам графической аналитики был разработан лабораторный практикум «Использование графических моделей и визуализации данных при решении экономических задач». Практикум проводится при обучении студентов информатике и включает в себя ряд лабораторных работ, выполняемых в табличном процессоре:

- лабораторная работа № 1 «Анализ “План-факт” и его визуализация в MS Excel»;
- лабораторная работа № 2 «Построение диаграммы Парето»;
- лабораторная работа № 3 «Построение диаграммы Ганта в MS Excel»;
- лабораторная работа № 4 «Интерполяция и аппроксимация данных»;
- лабораторная работа № 5 «Графическое решение систем уравнений на примере задачи анализа спроса и предложения»;
- лабораторная работа № 6 «Построение диаграммы темпов роста».

Основной средой выполнения заданий выбран MS Excel, но данные задачи могут быть адаптированы и для аналогичного программного обеспечения, реализующего технологии табличных процессоров. В качестве программной среды выполнения основных заданий данного практикума также могут быть использованы табличные процессоры из свободно распространяемых офисных пакетов (LibreOffice, OpenOffice и т. д.).

Каждая лабораторная работа состоит из нескольких этапов обработки данных:

- изучение предметной области;
- создание табличной модели, визуальная аналитика с построением диаграмм комбинированного вида;
- интерпретация данных.

Задания ориентированы на студентов экономического факультета и реализуют идею междисциплинарности, позволяя обучающимся закрепить экономические знания.

4.2. Лабораторная работа № 1 «Анализ «План-факт» и его визуализация в MS Excel»

Как пример рассмотрим далее методическую разработку лабораторной работы № 1 «Анализ «План-факт» и его визуализация в MS Excel». Студентам предлагается построить и проанализировать ряд диаграмм (рис. 1–5). Все диаграммы при этом строятся по одной таблице, содержащей сведения по планируемому и фактическому объему работ (например, по производству продукции, продажам и т. д.) по месяцам.

Для построения диаграммы, приведенной на рисунке 1, используется прием построения графиков с добавлением параметра «Полосы повышения и понижения» (выполняется в MS Excel системой команд «Конструктор → Добавить элемент диаграммы → Полосы повышения и понижения»). При этом реализуется следующая последовательность действий:

- для вывода числовых значений отклонения от плана, содержащихся в таблице, предварительно проводятся соответствующие расчеты;
- строится график по данным строк «План», «Факт» и «Отклонение»;
- для ряда «Отклонение» устанавливается собственная вспомогательная ось (которая затем скрывается настройками ее параметров, как и сама линия ряда «Отклонение»), а для рядов «План» и «Факт» устанавливаются полосы повышения/понижения.

Для построения диаграммы, приведенной на рисунке 2, в таблице дополнительно рассчитываются строки «Недовыполнение» и «Перевыполнение». Также рассчитывается строка, содержащая минимальное значение из пары ячеек «План» и «Факт» по каждому из месяцев. Далее строится диаграмма в виде гистограммы с накоплением, после чего для ряда данных «План» тип диаграммы меняется на график с маркерами.

Комбинированная диаграмма, приведенная на рисунке 3, построена на основе диаграммы с областями с накоплением, где в качестве исходных данных выступают строки «План» и «Отклонение» (дополнительно рассчитанное в таблице как отклонение от плана). Далее на диаграмму добавляются ряды «План» и «Факт», причем их тип изменяется на график с маркерами. Затем убирается цвет у самой нижней области диаграммы с накоплением, а для верхнего слоя (области) делается заливка с использованием рисунка со штриховкой.

На рисунке 4 представлена диаграмма, созданная с использованием дополнительного параметра «Линии ряда данных». При построении диаграммы также используется дополнительный ряд данных, предварительно рассчитанный в таблице как процент изменения ряда данных «Факт» по сравнению с предыдущим месяцем.

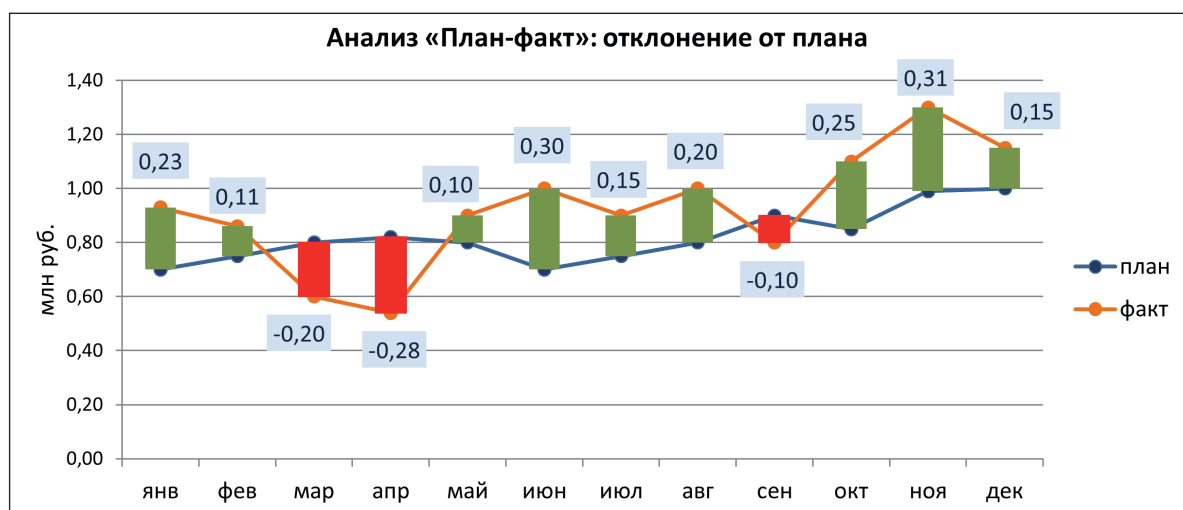


Рис. 1. Диаграмма с использованием параметра «Полосы повышения/понижения»

Fig. 1. Diagram using the “Rise/Descent Bands” parameter

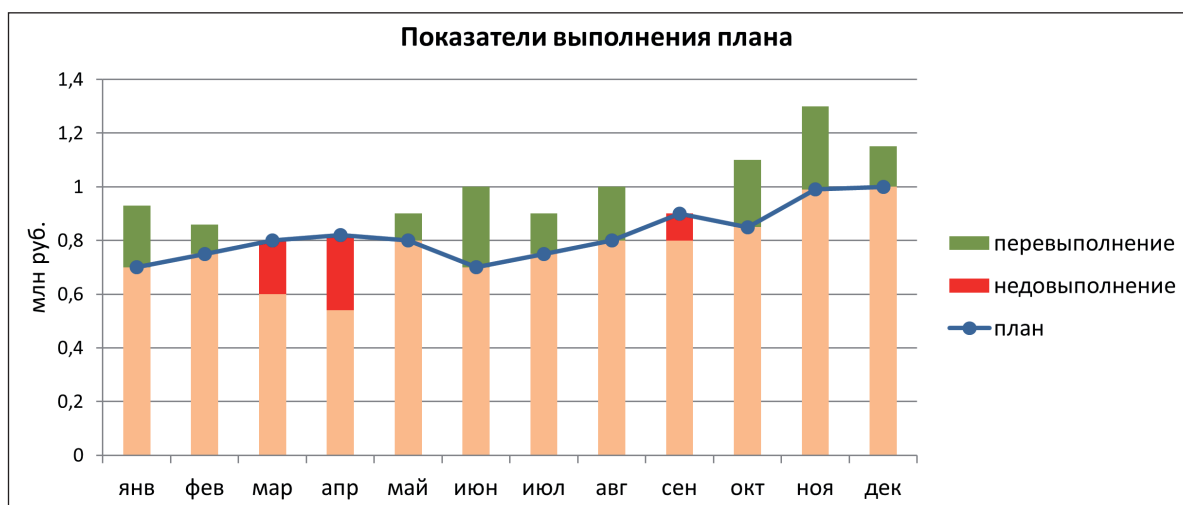


Рис. 2. Комбинированная диаграмма на основе гистограммы с накоплением и графика

Fig. 2. Combined diagram based on the accumulated histogram and graph

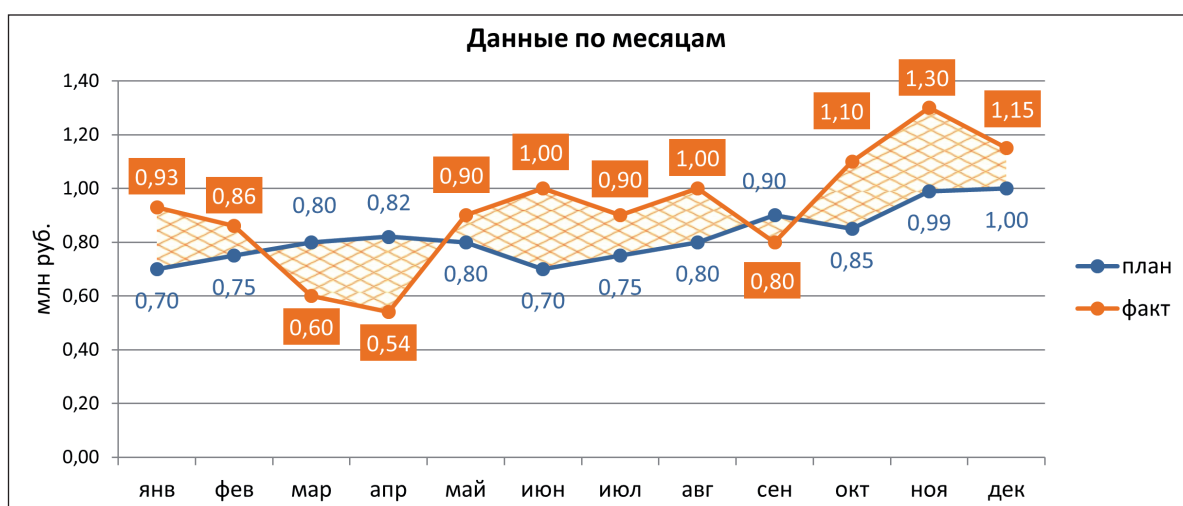


Рис. 3. Комбинированная диаграмма на основе типа «С областями»

Fig. 3. Combined diagram based on the "Area" type

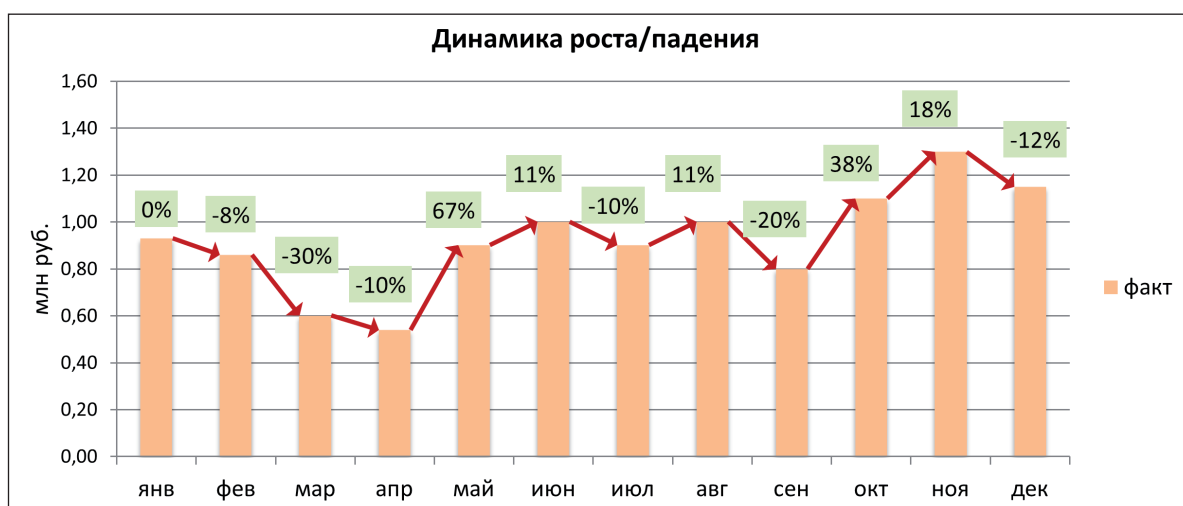


Рис. 4. Диаграмма с использованием параметра «Линии ряда данных»

Fig. 4. Diagram using "Data series lines" parameter

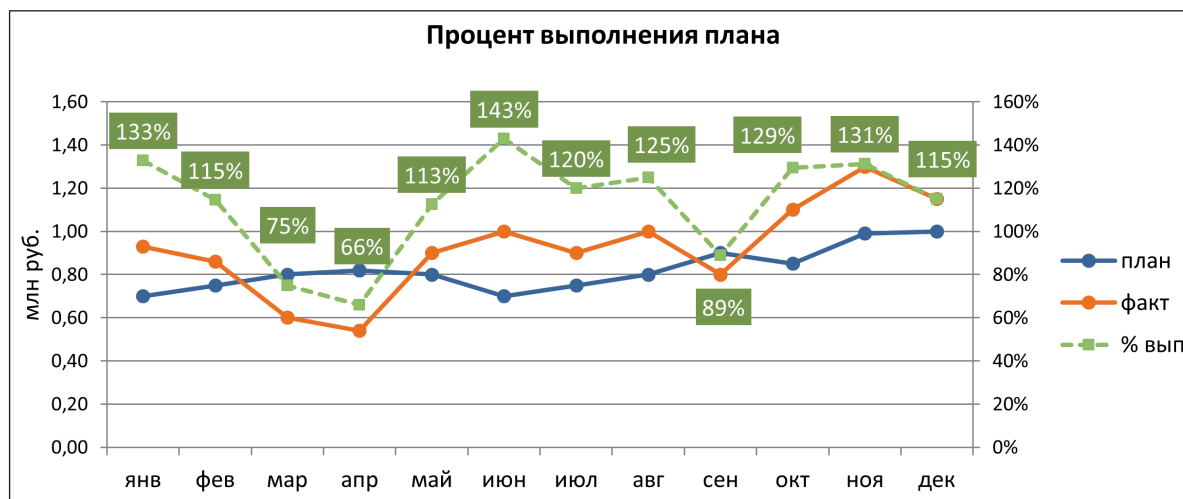


Рис. 5. Диаграмма с использованием вспомогательной оси

Fig. 5. Diagram with secondary axis

Для построения диаграммы, приведенной на рисунке 5, также понадобятся дополнительные расчеты, в данном случае потребуется рассчитать процент выполнения плана для каждого месяца работы. Далее строится стандартный график с маркерами, но для ряда «Процент выполнения» устанавливается отдельная вспомогательная ось.

Выполняя данные задания, студенты не просто получают и закрепляют навыки работы с электронными таблицами, но и приобретают опыт решения профессионально-ориентированных прикладных задач в области экономической информатики с использованием технологии визуализации данных.

5. Выводы

Обобщая все вышесказанное, можно сделать следующие выводы:

- формирование навыков визуализации и визуальной аналитики в ходе учебной и научной деятельности является сложной, многоаспектной задачей, зависящей от большого числа компонентов;
- данные навыки являются одним из основных факторов формирования компетенции визуализации и визуального анализа (включая такие компоненты, как аналитический, критический, абстрактно-логический, наглядно-образный, пространственно-образный, ассоциативный, системный, алгоритмический);
- решение задачи эффективного формирования навыков визуального анализа возможно только с позиции комплексного, междисциплинарного подхода, охватывающего все аспекты визуализации и наглядности процесса обучения.

Список источников / References

1. Thomas J. J., Cook K. A. Illuminating the path: Research and development agenda for visual analytics. New York, USA, National Visualization and Analytics Ctr; 2005. 190 p.

2. Черняк Л. Визуальная аналитика и обратная связь. *Открытые системы. СУБД*. 2013;(6):14–17. EDN: SDFQST [Chernyak L. Visual analytics and feedback. *Open Systems. DBMS*. 2013;(6):14–17. (In Russian.) EDN: SDFQST]

3. Орлова А. Ю., Сорокин А. А. Роль визуальной аналитики в управлении данными. *Вестник Северо-Кавказского федерального университета*. 2021;(6(87)):108–114. EDN: UTMPIH. DOI: 10.37493/2307-907X.2021.6.12

[Orlova A. Yu., Sorokin A. A. The role of visual analytics in data management. *Newsletter of North-Caucasus Federal University*. 2021;(6(87)):108–114. (In Russian.) EDN: UTMPIH. DOI: 10.37493/2307-907X.2021.6.12]

4. Vieira C., Parsons P., Byrd V. Visual learning analytics of educational data: A systematic literature review and research agenda. *Computers and Education*. 2018;122:119–135. DOI: 10.1016/j.compedu.2018.03.018

5. Chen C. Top 10 unsolved information visualization problems. *IEEE Computer Graphics and Applications*. 2005;25(4):12–16. DOI: 10.1109/MCG.2005.91

6. Tversky B., Morrison J. B., Betrancourt M. Animation: Can it facilitate? *International Journal of Human-Computer Studies*. 2002;57(4):247–262. DOI: 10.1006/ijhc.2002.1017

7. Захарова А. А., Вехтер Е. В., Шкляр А. В. Методика решения задач анализа данных при использовании аналитических визуальных моделей. *Научная визуализация*. 2017;9(4):78–88. EDN: VPYXJY. DOI: 10.26583/sv.9.4.08

[Zakharova A. A., Vekhter E. V., Shklyar A. V. Methods of solving problems of data analysis using analytical visual models. *Scientific Visualization*. 2017;9(4):78–88. (In Russian.) EDN: VPYXJY. DOI: 10.26583/sv.9.4.08]

8. Matsushita M., Kato T. Interactive visualization method for exploratory data analysis. *Proc. V Int. Conf. on Information Visualisation*. London, UK, IEEE; 2001:671–676. DOI: 10.1109/IV.2001.942128

9. Zakharova A. A., Vekhter E. V., Shklyar A. V., Krysko A. V., Saltykova O. A. Quantitative assessment of cognitive interpretability of visualization. *Scientific Visualization*. 2018;10(4):145–153. EDN: GHKDG. DOI: 10.26583/sv.10.4.11

10. Eppler M. J., Burkhard R. A. Visual representations in knowledge management: Framework and cases. *Journal of Knowledge Management*. 2007;11(4):112–122. DOI: 10.1108/13673270710762756

11. Магалашвили В. В., Бодров В. Н. Ориентированная на цели визуализация знаний. *Образовательные технологии и общество*. 2008;11(1):420–433. EDN: ПУТИН

[Magalashvili V., Bodrow W. Goal-oriented knowledge visualization. *Educational Technology & Society*. 2008;11(1):420–433. (In Russian.) EDN: ПУТИН]

12. Новикова Е. С., Гурьянов Д. Ю. Проектирование лабораторного практикума по дисциплине «Данные и визуальная аналитика». *Современное образование: содержание, технологии, качество. Материалы XXIII международной научно-методической конференции*. СПб.: Издательство СПбГЭТУ «ЛЭТИ»; 2017;2:228–230. EDN: YSZXXB

[Novikova E. S., Gurjanov D. Yu. Design of the practical works for discipline “Data and visual analytics”. *Modern Education: Content, Technology, Quality. Proc. XXIII Int. Scientific and Methodological Conf.* Saint Petersburg, Saint Petersburg Electrotechnical University (“LETI”); 2017;2:228–230. (In Russian.) EDN: YSZXXB]

13. Сас К. П. Роль визуализации учебного материала при дистанционном обучении. *Информатика и образование*. 2021;(5):28–34. EDN: VSVZGB. DOI: 10.32517/0234-0453-2021-36-5-28-34

[Sas K. P. The role of visualization of educational material in distance learning. *Informatics and Education*. 2021;(5):28–34. (In Russian.) EDN: VSVZGB. DOI: 10.32517/0234-0453-2021-36-5-28-34]

14. Полякова Е. В. Применение способов и методов визуального мышления в современном образовании. *Известия ЮФУ. Технические науки*. 2012;(10(135)):120–124. EDN: PEVLOJ

[Polyakova E. V. Application of visual thinking methods in modern education. *Izvestiya SFedU. Engineering Sciences*. 2012;(10(135)):120–124. (In Russian.) EDN: PEVLOJ]

15. Шорина Т. В. Обоснование визуального компонента информационных образовательных ресурсов высшего образования. *Современные проблемы науки и образования*. 2021;(2):81. EDN: HYCDNL. DOI: 10.17513/spno.30720

[Shorina T. V. Argumentation of the visual component of information educational resources of higher education. *Modern Problems of Science and Education*. 2021;(2):81. (In Russian.) EDN: HYCDNL. DOI: 10.17513/spno.30720]

16. Pilyugin V. V., Milman I. Visual analytics and its use in the NRNU MEPhI “Scientific Visualization” laboratory activities. *Scientific Visualization*. 2019;11(5):46–55. EDN: GYDDHB. DOI: 10.26583/sv.11.5.05

17. Clements M. A. Fifty years of thinking about visualization and visualizing in mathematics education: A historical overview. *Mathematics & Mathematics Education: Searching for Common Ground*. Springer, Dordrecht; 2014:177–192. DOI: 10.1007/978-94-007-7473-5_11

18. Varankina V. I., Lubyagina E. N., Markov R. V., Petrov A. A., Shirokov D. V. Computer visualization in the course “Abstract algebra”. *Scientific Visualization*. 2019;11(5):83–100. EDN: VHDXB. DOI: 10.26583/sv.11.5.08

19. Боброва А. С. Чему учат диаграммы? Рассуждения и восприятие. *Логические исследования*. 2018;24(2):70–77. EDN: ISYVRP. DOI: 10.21146/2074-1472-2018-24-2-70-77

[Bobrova A. S. What do diagrams teach? Reasoning and perception. *Logical Investigations*. 2018;24(2):70–77. (In Russian.) EDN: ISYVRP. DOI: 10.21146/2074-1472-2018-24-2-70-77]

20. Рябинин К. Разработка мультиплатформенной библиотеки построения и визуализации диаграмм. *Научная визуализация*. 2014;6(1):51–67. EDN: SDELPX

[Ryabinin K. Development of multiplatform charting library. *Scientific Visualization*. 2014;6(1):51–67. (In Russian.) EDN: SDELPX]

Информация об авторе

Шамсутдинова Татьяна Михайловна, канд. физ.-мат. наук, доцент, доцент кафедры цифровых технологий и прикладной информатики, экономический факультет, Башкирский государственный аграрный университет, г. Уфа, Республика Башкортостан, Россия; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1809-3615>; e-mail: tsham@rambler.ru

Information about the author

Tatiana M. Shamsutdinova, Candidate of Sciences (Physics and Mathematics), Docent, Associate Professor at the Department of Digital Technologies and Applied Informatics, Faculty of Economics, Bashkir State Agrarian University, Ufa, The Republic of Bashkortostan, Russia; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1809-3615>; e-mail: tsham@rambler.ru

Поступила в редакцию / Received: 21.11.22.

Поступила после рецензирования / Revised: 21.02.23.

Принята к печати / Accepted: 28.02.23.