

ФОРМИРОВАНИЕ МАТЕМАТИКО-АЛГОРИТМИЧЕСКОЙ КОМПЕТЕНТНОСТИ В РАМКАХ ДИСЦИПЛИНЫ «ТЕОРИЯ ИНФОРМАЦИИ» ПО УГСН «ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ»

В.А. Лазарева

Аннотация. В статье рассматривается формирование математико-алгоритмической компетентности в рамках дисциплины «Теория информации», а также преодоление междисциплинарного разрыва фундаментальных областей знания. Приводится обоснование выбора данной дисциплины, уточнение её роли как в образовательном процессе, так и в качестве необходимой для дальнейшего качественного освоения дисциплин профессионального цикла, в частности, для решения профессиональных задач. При проведении данного исследования автор исходил из особенностей данной дисциплины и её роли в учебном процессе по направлениям УГСН «Информационная безопасность». В рамках представленного в статье исследования преобладает системный подход в отношении структуры в общем и междисциплинарного взаимодействия в частности по дисциплине «Теория информации». Рассмотренные в статье примеры данного междисциплинарного взаимодействия фундаментальных дисциплин в рамках «Теории информации» представляют обоснование для обозначения формируемой компетентности (математико-алгоритмической), а также уникальности и необходимости её формирования именно в процессе обучения студентов по направлениям УГСН «Информационная безопасность». Результаты исследования представляют практический интерес для преподавателей, обучающихся, а также для потенциального работодателя выпускников направлений УГСН «Информационная безопасность», т. к. от качественного освоения данной дисциплины зависит эффективность дальнейшего обучения и решения практико-ориентированных задач.

Ключевые слова: теория информации, методика, информационная безопасность, компетентность, математика, информатика.

Для цитирования: Лазарева В.А. Формирование математико-алгоритмической компетентности в рамках дисциплины «Теория информации» по УГСН «Информационная безопасность» // Преподаватель XXI век. 2023. № 3. Часть 1. С. 128–138. DOI: 10.31862/2073-9613-2023-3-128-138

© Лазарева В.А., 2023



Контент доступен по лицензии Creative Commons Attribution 4.0 International License
The content is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

FORMATION OF MATHEMATICAL AND ALGORITHMIC COMPETENCE
WITHIN THE FRAMEWORK OF THE DISCIPLINE “INFORMATION THEORY”
ACORDING TO “INFORMATION SECURITY” ENLARGED GROUPS
OF SPECIALTIES AND DIRECTIONS

V.A. Lazareva

Abstract. *The article considers the formation of mathematical and algorithmic competence within the discipline “Information Theory”, as well as overcoming the interdisciplinary gap of fundamental areas of knowledge. The author provides justification of the choice of this discipline, clarification of its role both in the educational process and as necessary for further qualitative mastering of disciplines of the professional cycle, in particular, for solving professional problems. When conducting this study, the author proceeded from the features of this discipline and its role in the educational process in the directions of the Enlarged Groups of Specialties and Directions “Information Security”. Within the framework of the study below, the systematic approach to the structure in general and interdisciplinary interaction in particular in the discipline “Information Theory” prevails. The examples of this interdisciplinary interaction of fundamental disciplines within the framework of “Information Theory” considered in the article represent the justification for the designation of the formed competence (mathematical-algorithmic), as well as the uniqueness and necessity of its formation in the process of teaching students in the directions of EGSD “Information Security”. The results of the study are of practical interest for teachers, students, as well as for potential employers of graduates of the directions of EGSD “Information Security”, because the effectiveness of further training and solving practice-oriented problems depends on the quality of mastering this discipline.*

Keywords: *information theory, methodology, information security, competence, mathematics, informatics.*

Cite as: Lazareva V.A. Formation of Mathematical and Algorithmic Competence within the Framework of the Discipline “Information Theory” According to “Information Security” Enlarged Groups of Specialties and Direction. *Prepodavatel XXI vek*. Russian Journal of Education, 2023, No. 3, part 1, pp. 128–138. DOI: 10.31862/2073-9613-2023-3-128-138

129

Введение

Одной из актуальных проблем обучения по специальностям и направлению бакалавриата укрупнённых групп специальностей и направлений (далее — УГСН) технических направленностей является разрыв между базовой математической подготовкой и применением математического инструментария в дисциплинах профессионального цикла, а также в исследовательской деятельности. Как правило, корни этой проблемы лежат в том, что базовые математические курсы чи-

таются по учебным материалам, созданным на основе классических учебников без учета специфики направления, на котором обучаются студенты. Взаимодействие преподавателей, дающих базовый математический инструментарий, с преподавателями дисциплин по специальности и соответствующая модификация учебных материалов недостаточны, из-за этого не происходит полноценного уделения внимания специфике направления.

В свою очередь в дисциплинах по специальности обычно дается лишь

минимальная математическая база, необходимая для освоения материала. В результате у студентов не формируются связи между дисциплинами (а также знаниями, умениями и навыками) математического блока и профессионального, связанного, например, с техническими или компьютерными науками. Преодоление такого междисциплинарного разрыва в рамках всего учебного плана представляется трудоемкой задачей, зависящей от множества факторов. В данной работе автор описывает подход к решению этой задачи на внутриведущем уровне на примере курса по теории информации, преподаваемого на УГСН «Информационная безопасность». Особенностью курса является гармоничное сочетание серьезного математического инструментария с прикладными задачами разработки и программной реализации алгоритмов сжатия данных и помехоустойчивого кодирования.

В учебном процессе по специальностям и направлению бакалавриата УГСН 10.00.00 «Информационная безопасность» на первых курсах для обучающихся зачастую математические дисциплины невидимо связаны с программированием. На деле студенты их осознают как отдельные и несвязанные дисциплины.

Обучающиеся по специальностям и направлению бакалавриата УГСН 10.00.00 «Информационная безопасность» отмечают, что знания, полученные на более ранних курсах в рамках разных разделов математики, не всегда применимы в других областях знания и со временем без подобных оснований забываются; не устанавливаются временные рамки и ориентиры, когда и в какой дисциплине понадобятся полученные ранее знания. Из опрошенных студентов в количестве 50 человек (из числа обучающихся на потоке в количестве 90 человек) только 23% понимают

необходимость качественного освоения математических дисциплин для дальнейшего обучения на курсе, а также их необходимость в задачах будущей специальности; 35% испытывали сложности с четким ответом, что, на взгляд автора, является большим значением от общего числа.

Соответственно, когда не возникает понимания, когда и где могут пригодиться знания, полученные в рамках той или иной математической дисциплины, у студентов теряется мотивация разбираться в предмете детально. Аналогично (применимо к программированию) в процессе изучения кодов и функционала языков программирования зачастую студенты не понимают, какие именно математические знания они применяют в той или иной ситуации.

Например, как только студенты проходят линейную алгебру, разбираются с матрицами (например, метода Крамера, метода Гаусса), изучают системы линейных уравнений — это всё не находит должного одновременного отображения в программировании. Если бы была возможность параллельно применять полученные в математике знания в программировании, была бы возможность и увидеть взаимосвязь дисциплин, и сравнить эффективность того или иного математического аппарата, а также проверить алгоритм на корректность.

И если в математических дисциплинах не достает должного объяснения применения конкретных знаний одновременно и в будущем, то в программировании математическую базу «обезличивают»: преподносят только минимальные понятия, необходимые лишь для изучения синтаксиса языка программирования. Однако алгоритмы в программировании по большей части базируются также на математических положениях.

Поэтому на данном этапе математика и алгоритмы (применяемые в программировании) для студентов, обучающихся по специальностям и направлению бакалавриата УГСН 10.00.00 «Информационная безопасность», — это разные и невзаимосвязанные области знания.

Поэтому такие связи необходимо выстраивать.

О формировании математико-алгоритмической компетентности

Главной проблемой с технической точки зрения является разрыв связи математических и информатических дисциплин в учебном процессе. К одной из причин сформировавшейся проблемы отнесем также то, что на междисциплинарном уровне возникают различные аспекты, которые необходимо брать в расчет, как, например, взаимодействие преподавателей, дающих материал по математическим дисциплинам, и преподавателей прикладных дисциплин, таких как информатика, программирование. На внутридисциплинарном уровне возникает гораздо меньше подобных сложностей, поскольку один преподаватель и читает дисциплину, и выстраивает программу. Таким образом, удастся избежать сложностей взаимодействия преподавателей из разных областей знания.

Для эффективного усвоения полученных знаний студентами необходимы понимание того, для чего нужна математика, как математический аппарат используется в построении алгоритмов, понимание инструментов, владение математической базой (инструментарием), понимание, как использовать положения математических дисциплин, в том числе для создания эффективных алгоритмов и доведения их до программной реализации.

Именно эти знания, умения и навыки в комплексе будем называть математико-алгоритмической компетентностью.

Иными словами, дисциплина, в рамках которой будет формироваться данная компетентность, должна отвечать следующим требованиям: наличие в качестве базы серьёзного математического аппарата, а также алгоритмов, которые будут «опираться» на данный математический инструментарий, что впоследствии приводит к эффективной программной реализации.

Поэтому такую взаимосвязь гораздо эффективнее выстроить в рамках одной конкретной дисциплины для студентов, обучающихся по специальностям и направлению бакалавриата УГСН 10.00.00 «Информационная безопасность». Автором предлагается выстроить такой подход в конкретной дисциплине в рамках курса «Теория информации», поскольку именно она наиболее подходит для обучающихся, чтобы студенты, пройдя все этапы курса, увидели эту взаимосвязь.

Исходя из роли в учебном процессе дисциплины «Теория информации» [1], можно сделать следующий вывод: эта дисциплина наиболее наглядно демонстрирует взаимосвязь в широком смысле математики и информатики. Например, в рамках «Теории информации» показана взаимосвязь положений математики и теории построения алгоритмов (применение соответствующих знаний из линейной алгебры, теории многочленов, теории вероятностей).

Приведем пример соответствия дисциплины вышеобозначенным требованиям. В «Теории информации» есть раздел, изучающий помехоустойчивое кодирование. В рамках раздела имеется в том числе задача программной реализации QR-кодов, вычислений контрольных сумм. Чтобы это выполнить, необходимо изучить следующие алгоритмы: кодирование Хемминга, BCH-коды. А серьёзным математическим аппаратом в данном случае будет являться теория конечных полей.

Такое органичное сочетание математической базы и ее приложений в виде алгоритмов не позволяет отнести дисциплину «Теория информации» только к одной области знания (математике или информатике), это невозможно точно определить. Однако, на взгляд автора, это является преимуществом и наглядно демонстрирует стык двух смежных областей науки. Данная дисциплина интегрирует в себе знания обоих данных крупных направлений. В широком понимании «в информатике — математика».

Например, в «Теории информации» берутся за основу математическое понятие и инструменты математики и применяются наглядно в конкретных случаях при построении алгоритмов, при этом поясняется необходимость соответствующих знаний. Длинная арифметика, теория чисел и теория конечных полей — все необходимые знания и их применение в «Теории информации» из данных областей наглядно демонстрируются в арифметическом кодировании и при построении помехоустойчивых кодов. Также это подтверждается примерами использования математического аппарата при необходимости использования библиотек с поддержкой длинной арифметики в арифметическом кодировании.

Всё это взаимодействие от использования серьезного математического аппарата (базы, инструментария), который задействован в дисциплине, через алгоритмы, которые опираются на этот инструментарий, до программной реализации и поясняется наглядно в задачах «Теории информации».

Таким образом, данная дисциплина интегрирует в себе знания обеих данных крупных и востребованных областей знания (математики и информатики в широком смысле — Computer Science). Причем она органично сочетает в себе важные этапы разработки алгоритма на основе

теоретического инструментария, его программной реализации, в том числе вплоть до разработки прототипа программного продукта. Ключевой особенностью дисциплины является формирование математико-алгоритмической компетентности, суть которой состоит в умении применять необходимый математический аппарат на всех этапах разработки алгоритма и его программной реализации, включая выбор подходящего языка программирования (или их эффективного сочетания), отладку и тестирование программного продукта.

Более наглядно формирование данной компетентности можно продемонстрировать на примере задания «Разработка и программная реализация алгоритма сжатия JPEG» в рамках дисциплины «Теория информации» по специальностям и направлению бакалавриата УГСН 10.00.00 «Информационная безопасность».

Этот алгоритм на сегодняшний день является одним из наиболее популярных и достаточно мощных в области сжатия изображений фотографического качества. Алгоритм основан на удалении избыточной информации, которая не воспринимается визуально человеческим глазом [2]. После подобного сжатия изображение занимает гораздо меньше места в отличие от исходного. Однако подобный алгоритм сжатия будет пригоден только в случае конечного представления графики. Для хранения промежуточных данных он не годится, т. к. после каждой итерации сохранения часть графической информации теряется. Но по сравнению с другими алгоритмами сжатия изображений JPEG считается одним из наиболее эффективных.

Рассмотрим достоинства данного алгоритма, используемого в обучении, с точки зрения использования конкретного математического аппарата.

Задача разработки и программной реализации алгоритма сжатия JPEG — комплексная, и тем самым способствует формированию математико-алгоритмической компетентности и позволяет подойти с разных сторон к процессу усвоения знаний по предмету.

Основа алгоритма сжатия JPEG — дискретное косинус-преобразование, которое впервые было предложено Насиром Ахмедом в качестве метода сжатия изображений в 1972 году. Позднее Н. Ахмед совместно с другими исследователями разработал практический алгоритм дискретного косинусного преобразования [3], привлекая внимание других ученых [4–6], общий вклад которых стал основополагающим для стандарта сжатия JPEG [7].



Алгоритм JPEG можно разделить на несколько этапов [8]:

1. Предварительная обработка. На этом шаге данные пикселей преобразуются из цветового пространства RGB в цветовое пространство YCbCr.

2. Дискретное косинусное преобразование. Изображения JPEG сжимаются в блоки 8*8 пикселей, которые называются единицами данных. Дискретное косинусное преобразование преобразует единицы данных в сумму косинусных функций. На рис. 1 представлены исходное растровое монохромное квадратное изображение (512×512 пикселей) и результат применения описанной выше процедуры блочного дискретного косинусного преобразования (8×8 пикселей).



Рис. 1. Результат применения процедуры блочного дискретного косинусного преобразования. Слева — исходное изображение, справа — блочное

3. Квантование. На этапе квантования сжатия изображения происходит отбрасывание коэффициентов дискретного косинусного преобразования, которые несущественны для восстановления изображения, достаточно близкого к оригиналу. Квантование — основной процесс, при выполнении которого теряются данные в методе JPEG-сжатия.

4. Кодирование Хаффмана. На этой стадии кодируются коэффициенты дис-

кретизации, при этом исключаются серии нулевых значений. В стандарте JPEG эта фаза называется кодированием энтропии, поскольку вместо кодирования Хаффмана допускается использование арифметического кодирования. На рис. 2 в качестве примера демонстрируются результаты JPEG-сжатия изображения (512×512 пикселей) при различных коэффициентах сжатия $R = 1, 4, 8$ [9–11].



Рис. 2. Результаты сжатия с использованием DCT для $R = 1, 4, 8$

Но если сравнить в процентном соотношении к исходной картинке, то результаты и эффективность работы алгоритма сжатия JPEG очевидна. Ниже представлен пример результата работы алгоритма сжа-

тия JPEG на 48% (см. рис. 3). Как можно увидеть, при сжатии практически в половину качество изображение почти не пострадало. При этом итоговый объем картинки уменьшился с 3,22 МБ до 93,1 КБ.



Рис. 3. Результат работы алгоритма сжатия JPEG. Слева — исходное изображение, справа — сжатое

Именно поэтому алгоритм сжатия JPEG столь популярен в применении, а также эффективен в качестве наглядности взаимосвязи математических и информатических дисциплин.

После реализации основного алгоритма студентам предлагается более сложный уровень задания.

Поскольку стандарт JPEG постоянно модернизируется в соответствии с запросами, то появились и другие его версии [12]. Так, в настоящее время разработан метод сжатия без потерь, известный как JPEG-LS, что сделало первоначальный формат сжатия без потерь морально устаревшим

для всех практических сфер применения. Но и на этом разработчики не остановились. Сейчас имеет место и продолжает совершенствоваться алгоритм сжатия JPEG2000.

Рассмотрим основные блоки, входящие в структурную схему алгоритма сжатия JPEG2000 [13–15].

1. Предварительная обработка.
2. Вейвлет-преобразование (вместо дискретного косинусного преобразования в алгоритме сжатия JPEG).
3. Квантование.
4. Энтропийное кодирование. Применяется адаптивный арифметический кодер (а в JPEG был кодер Хаффмана).

5. Сжатый поток данных упаковывается в пакеты. Именно благодаря гибкой и продуманной структуре пакетов возможно достижение целей разработки стандарта [16–20].

Таким образом, математические компоненты разработки и алгоритмы программной реализации формата JPEG будут выглядеть следующим образом:

- алгоритм сжатия JPEG. Математические составляющие: оцифровка, квантование, дискретное косинус-преобразование (в основе которого также преобразование Фурье). В рамках дисциплины «Теория информации» изучают новые объекты: кодирование Хаффмана;

- алгоритм сжатия JPEG2000. Математические составляющие: оцифровка, работа с неотрицательными целыми числами. В рамках дисциплины «Теория информации» появляются новые понятия: вейвлет-преобразование, энтропийное кодирование, арифметическое кодирование;

- алгоритмические составляющие предыдущих двух пунктов: написание и программная реализация алгоритма сжатия.

Данный формат задания является комплексным и представлен авторами статьи в качестве проектной работы (как индивидуально, так и в группах).

На этом примере студенты также понимают суть сжатия с потерями, кроме того, какие параметры будут влиять на качество сжатия и от чего это зависит.

Так, в рамках дисциплины «Теория информации» ставится задача рассмотрения более оптимальных алгоритмов при условии всё возрастающей скорости развития аппаратной части. А на этом, в свою очередь, отражаются качественно усвоенные знания по математическим и информатическим дисциплинам более ранних курсов, что также скажется и на более качественном усвоении дисциплин на старших курсах.

Результаты и выводы

Дисциплина «Теория информации» подходит для демонстрации взаимосвязи математических и информатических дисциплин. В «Теории информации» эта взаимосвязь очевидна: связующим фактором в данном случае выступают алгоритмы как таковые и их построение. В учебном плане, как правило, «Теория информации» — это одна из первых дисциплин, демонстрирующих эту связь, и обучающиеся по специальностям и направлению бакалавриата УГСН 10.00.00 «Информационная безопасность» проходят её обычно на третьем курсе, к этому времени дисциплины базового математического блока уже завершены, а профильные дисциплины старших курсов только начинаются.

Кроме того, в рамках дисциплины «Теория информации» имеется подходящая база для простых задач, которые собираются в более сложные и могут выступать для студентов в качестве комплексного задания, опирающегося на различные области знания. При этом практическая часть дисциплины «Теория информации» предусматривает возможность различных форматов работы для студентов.

Также при должном подходе при подаче учебного материала по «Теории информации» у студентов формируется соответствующее понимание взаимосвязи, которое они впоследствии могут также применять и в рамках профильных дисциплин более старших курсов, что важно на междисциплинарном уровне и особенно в задачах профессионального цикла.

И поскольку было выявлено, что ключевой особенностью дисциплины «Теория информации» является формирование математико-алгоритмической компетентности, суть которой состоит в умении применять необходимый математический аппарат на всех этапах разработки алгоритма и его программной реализации

(включая выбор подходящего языка программирования, отладку и тестирование программного продукта), качественной подаче учебного материала по «Теории информации», в полной мере раскрывающей эти связи, должно уделяться должное внимание.

Поэтому формирование математико-алгоритмической компетентности в рамках дисциплины «Теория информации» —

важная составляющая образовательного процесса обучающихся по специальностям и направлению бакалавриата УГСН 10.00.00 «Информационная безопасность», поскольку дисциплина является «пограничной».

Таким образом, в условиях имеющихся разрывов и противоречий важно разработать методику, которая бы формировала данную компетентность.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ И ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Кытманов, А.А., Лазарева, В.А.* Роль и место дисциплины «Теория информации» в подготовке специалистов направления «Компьютерная безопасность» через призму сравнительного анализа образовательных стандартов // Проблемы современного педагогического образования. 2019. № 64 (1). С. 188–191.
2. *Тропченко, А.Ю., Тропченко, А.А.* Методы сжатия изображений, аудиосигналов и видео: учебное пособие. СПб.: СПбГУ ИТМО, 2009. 108 с.
3. *Ahmed, N., Natarajan, T., and Rao, K.R.* Discrete Cosine Transform // IEEE Transactions on Computers. 1974. P. 90–93.
4. *Chen, W., Pratt, W.K.* Scene Adaptive Coder // IEEE Transactions on Communications. 1984. P. 225–232.
5. *Chen, W., Smith, C., and Fralick, S.* A Fast Computational Algorithm for the Discrete Cosine Transform // IEEE Transactions on Communications. 1977. P. 1004–1009.
6. *Ahmed, N., Rao, K.R.* Orthogonal Transforms for Digital Signal Processing. New York: Springer Verlag, 1975. 264 p.
7. *Волчков, В.П., Асирян, В.М.* Возможности преобразования Вейля-Гейзенберга в стандарте сжатия JPEG // Экономика. Информатика. 2021. Т. 48. № 1. С. 188–200.
8. *Миано, Дж.* Форматы и алгоритмы сжатия изображений в действии. М.: Триумф, 2003. 336 с.
9. *Asiryany, V.M., Volchkov, V.P., Papulovskaya, N.V.* Image Compression Using Discrete Weyl-Heisenberg Transform // Proceedings — 2020 Ural Symposium on Biomedical Engineering, Radioelectronics and Information Technology. 2020. P. 399–402.
10. *Wexler, J., Raz, S.* Discrete Gabor Expansions // Signal Processing. 1990. Vol. 21. No. 3. P. 207–220.
11. *Сэлмон, Д.* Сжатие данных, изображений и звука. М.: Техносфера, 2004. 368 с.
12. *Battiato, S.A.* Color Reindexing Algorithm for Lossless Compression of Digital Images / S.A. Battiato, G. Gallo, G. Impoco, F. Stanco // Proceedings of the 17th Spring Conference on Computer Graphics. Visual Computing Laboratory. 2001.
13. *Rabbani, M., Joshi, R.* An Overview of the JPEG 2000 Still Image Compression Standard. 2001. 46 p. URL: <http://www.autex.spb.ru/wavelet/index.htm> (дата обращения: 17. 03.2023).
14. *Полетаев, А.А., Корелин, О.Н., Соколова, Э.С.* Оптимизация алгоритма сжатия JPEG2000 для задачи обработки текста // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. 2012. Т. 6. № 1. С. 159–163.

15. Pennebaker, W.B., Mitchell, J.L. JPEG Still Image Data Compression Standard. New York: Van Nostrand Reinhold, 1993. 638 p.
16. Daubechies, I. Ten Lectures on Wavelets. Philadelphia, Pa.: Society for Industrial and Applied Mathematics, 1992. 378 p.
17. Демьянович, Ю.К., Ходаковский, В.К. Введение в теорию вэйвлетов. СПб., 2007. 49 с.
18. Jin, Li. Image Compression: The Mathematics of JPEG 2000. Modern Signal Processing // MSRI Publications. 2003. Vol. 46. P. 185–221.
19. Taubman, D.S. and Marcellin, M.W. JPEG 2000: Image Compression Fundamentals, Standards and Practice. Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 2001. 776 p.
20. Taubman, D., Ordentlich, E., Weinberg, M. Embedded Block Coding in JPEG 2000. 2002.
21. Bolcskei, H. Efficient Design of OFDM/OQAM Pulse Shaping Filter // Proceedings of IEEE International Conference on Communications (ICC 99). Vol. 1. 1999. P. 559–564.

REFERENCES

1. Kytmanov, A.A., Lazareva, V.A. Rol i mesto discipliny “Teoriya informacii” v podgotovke specialistov napravleniya “Kompyuternaya bezopasnost” cherez prizmu sravnitel'nogo analiza obrazovatel'nykh standartov [The Role and Place of the Discipline «Information Theory» in the Training of Specialists in the Direction of «Computer Security» Through the Prism of Comparative Analysis of Educational Standards], *Problemy sovremennogo pedagogicheskogo obrazovaniya = Problems of Modern Pedagogical Education*, 2019, No. 64 (1), pp. 188–191. (in Russ.)
2. Tropchenko, A.Yu., Tropchenko, A.A. *Metody szhatiya izobrazhenij, audiosignalov i video* [Methods of Image Compression, Audio Signals and Video: Textbook]. St. Petersburg, Sankt Peterburgskij gosudarstvennyj universitet informacionnykh tekhnologij, mekhaniki i optiki, 2009, 108 p. (in Russ.)
3. Ahmed, N., Natarajan, T., and Rao, K.R. Discrete Cosine Transform, *IEEE Transactions on Computers*, 1974, pp. 90–93.
4. Chen, W., Pratt, W.K.. Scene Adaptive Coder, *IEEE Transactions on Communications*, 1984, pp. 225–232.
5. Chen, W., Smith, C., and Fralick, S. A Fast Computational Algorithm for the Discrete Cosine Transform, *IEEE Transactionson Communications*, 1977, pp. 1004–1009.
6. Ahmed, N, Rao, K.R. *Orthogonal Transforms for Digital Signal Processing*. New York, Springer Verlag, 1975, 264 p.
7. Volchkov, V.P., Asiryanyan, V.M. Vozmozhnosti preobrazovaniya Vejlya-Gejzenberga v standarte szhatiya JPEG [Possibilities of Weyl-Heisenberg Transformation into JPEG Format], *Ekonomika. Informatika = Kinematics. Computer Science*, 2021, vol. 48, No. 1, pp. 188–200. (in Russ.)
8. Miano, Dzh. *Formaty i algoritmy szhatiya izobrazhenij v dejstvii* [Formats and Algorithms of Image Compression in Action]. Moscow, Triumpf, 2003, 336 p. (in Russ.)
9. Asiryanyan, V.M., Volchkov, V.P., Papulovskaya, N.V. Image Compression Using Discrete Weyl-Heisenberg Transform. *Proceedings — 2020 Ural Symposium on Biomedical Engineering, Radioelectronics and Information Technology*, 2020, pp. 399–402.
10. Wexler, J., Raz, S. Discrete Gabor Expansions, *Signal Processing*, 1990, vol. 21, No. 3, pp. 207–220.
11. Selomon, D. *Szhatie dannyh, izobrazhenij i zvuka* [Compression of Data, Images and Sound]. Moscow, Tekhnosfera, 2004, 368 p. (in Russ.)

12. Battiato, S.A., Gallo, G., Impoco, G., Stanco, F. Color Reindexing Algorithm for Lossless Compression of Digital Images. *Proceedings of the 17th Spring Conference on Computer Graphics*, Visual Computing Laboratory, 2001.
13. Rabbani, M., Joshi, R. *An Overview of the JPEG 2000 Still Image Compression Standard*, 2001, 46 p. Available at: <http://www.autex.spb.ru/wavelet/index.htm> (accessed: 17. 03.2023).
14. Poletaev, A.A., Korelin, O.N., Sokolova, E.S. Optimizaciya algoritma szhatiya JPEG2000 dlya zadachi obrabotki teksta [Optimization of the JPEG2000 Compression Algorithm for Loading Text Work], *Vestnik Nizhegorodskogo universiteta im. N.I. Lobachevskogo* = Bulletin of the Nizhny Novgorod University Named after N.I. Lobachevsky, 2012, vol. 6, No. 1, pp. 159–163. (in Russ.)
15. Pennebaker, W.B., Mitchell, J.L. *JPEG Still Image Data Compression Standard*. New York, Van Nostrand Reinhold, 1993, 638 p.
16. Daubechies, I. *Ten Lectures on Wavelets*. Philadelphia, Pa., Society for Industrial and Applied Mathematics, 1992, 378 p.
17. Demyanovich, Yu.K., Hodakovskij, V.K. *Vvedenie v teoriyu vejvletov* [Introduction to the Theory of Wavelets]. St. Petersburg, 2007, 49 p. (in Russ.)
18. Jin, Li. Image Compression: The Mathematics of JPEG 2000. *Modern Signal Processing. MSRI Publications*, 2003, vol. 46, pp. 185–221.
19. Taubman, D.S. and Marcellin, M.W. *JPEG 2000: Image Compression Fundamentals, Standards and Practice*. Netherlands, Kluwer Academic Publishers, 2001, 776 p.
20. Taubman, D., Ordentlich, E., Weinberg, M. *Embedded Block Coding in JPEG 2000*, 2002.
21. Bolcskei, H. Efficient Design of OFDM/OQAM Pulse Shaping Filter. *Proceedings of IEEE International Conference on Communications (ICC 99)*, vol. 1, 1999, pp. 559–564.

Лазарева Виктория Александровна, старший преподаватель, кафедра информационной безопасности, Сибирский федеральный университет, lazareva.victoria@mail.ru

138 Victoria A. Lazareva, Senior Lecturer, Information Security Department, Siberian Federal University, lazareva.victoria@mail.ru

Статья поступила в редакцию 17.02.2023. Принята к публикации 21.04.2023
The paper was submitted 17.02.2023. Accepted for publication 21.04.2023