

**Анастасія Ігоревна Жук¹, Елена Николаевна Зашчук²,
Людмила Александровна Ярмолик³, Вероника Андреевна Шеина⁴**
^{1,2}канд. физ.-мат. наук, доц., доц. каф. математики и информатики
Брестского государственного технического университета
^{3,4}студент 3-го курса факультета инженерных систем и экологии
Брестского государственного технического университета
Anastasia Zhuk¹, Helena Zashchuk², Lyudmila Yarmolik³, Veronica Sheina⁴
^{1,2}Candidate of Physics and Mathematics Sciences, Associate Professor,
Associate Professor at the Department of Mathematics and Informatics
of Brest State Technical University
^{3,4}Student 3-d Year of the Faculty of Engineering Systems and Ecology
of Brest State Technical University
e-mail: ¹aizhuk85@mail.ru; ²shvichkina@tut.by;
³askinglop@gmail.com; ⁴veronikaseina78@gmail.com

ВНЕДРЕНИЕ ИННОВАЦИОННЫХ ПОДХОДОВ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ДИСЦИПЛИНЫ «ТЕОРИЯ ГРАФОВ» С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИСТЕМ КОМПЬЮТЕРНОЙ АЛГЕБРЫ

Рассматриваются методы интеграции системы компьютерной алгебры Mathematica в процесс изучения дисциплины «Теория графов». Описаны основные методологические принципы внедрения данной системы в учебный процесс. Приведен пример одного из разработанных интерактивных программных модулей для изучения графов по теме «Классификация и характеристика графа». Представлены примеры двух вариантов лабораторной работы для базового и продвинутого уровней знаний по данной теме. Показаны изменения в уровне знаний студентов до и после использования разработанных модулей. Материал будет полезен для преподавателей и студентов, интересующихся эффективными методами визуализации и анализа графов в рамках курса «Теория графов», а также для специалистов, использующих графы для решения прикладных задач.

Ключевые слова: теория графов, методология обучения, программные модули, программная среда Mathematica.

Implementation of Innovative Approaches in Teaching the Discipline «Graph Theory» Using Computer Algebra Systems

The article explores methods for integrating computer algebra system Mathematica into the study of the discipline «Graph Theory». It outlines the key methodological principles for incorporating this CAS into the educational process. An example of one of the developed interactive software modules for graph analysis, focused on the topic «Graph Classification and Characterization» is provided. The paper includes two sample laboratory assignments tailored for basic and advanced levels of knowledge on the subject. Additionally, it demonstrates changes in students' knowledge levels before and after using the developed modules. This work will be useful for educators and students interested in effective methods of graph visualization and analysis within the «Graph Theory» course, as well as for specialists who apply graphs to solve applied problems.

Key words: graph theory, educational methodology, program modules, software environment Mathematica.

Введение

Современные методы преподавания математических дисциплин требуют не только теоретического освоения материала, но и практического применения инструментов для анализа и визуализации сложных структур. В рамках изучения теории графов использование специализированных программных средств значительно облегчает восприятие ключевых концепций и разви-

тие навыков аналитического мышления. Одним из наиболее мощных инструментов для работы с графами является система компьютерной алгебры Mathematica, которая предоставляет широкий спектр возможностей для их моделирования, визуализации и анализа.

В данной статье рассмотрены основные способы задания графов [1–4], предложены методы их анализа, а также приведен

один из вариантов лабораторной работы, которая внедрена в учебный процесс. Акцент сделан на интуитивное понимание студентами графовых структур, включая такие характеристики, как степени вершин, связность, матрицы смежности и инцидентности и др.

Внедрение системы Mathematica в учебный процесс позволяет студентам не только лучше освоить абстрактные математические модели [5; 7–15], но и применить их к реальным задачам, таким как анализ социальных сетей, оптимизация транспортных систем и моделирование потоков данных. Визуальное представление графов и доступные алгоритмы обработки способствуют более глубокому пониманию предмета, а интерактивные инструменты помогают применять теоретические знания на практике [6].

Настоящая работа предназначена для преподавателей и студентов, интересующихся эффективными методами визуализации и анализа графов в рамках курса «Теория графов», а также для специалистов, использующих графовые методы для решения прикладных задач.

Методологические принципы внедрения Mathematica в учебный процесс при изучении теории графов

Методологические принципы интеграции системы компьютерной алгебры Mathematica позволяют сделать процесс изучения дисциплины более динамичным, практико-ориентированным и наглядным [6]. Такой подход повышает вовлеченность студентов, развивает их исследовательские навыки и готовит к решению реальных задач в научной и профессиональной деятельности.

Принцип интерактивности и визуализации. Использование систем компьютерной алгебры позволяет уйти от абстрактных представлений, обеспечивая динамическую визуализацию графов, их структуры и свойств. Авторами разработаны интерактивные манипуляторы, с помощью которых студенты могут изменять параметры графа и наблюдать их влияние на другие его характеристики и свойства. Авторские программные модули визуализируют также изучаемые в процессе обучения

алгоритмы, что облегчает понимание сложных концепций.

Принцип алгоритмического мышления. Применение Mathematica при изучении данной дисциплины способствует развитию у студентов навыков работы с алгоритмами. В процессе обучения студенты осваивают базовые и продвинутые алгоритмы, такие как Dijkstra, Kruskal, DFS, BFS др. В рассматриваемой системе существует возможность самостоятельного программирования изучаемых алгоритмов, а также возможность использования встроенных функций для решения поставленных задач. Студентам предоставляется возможность изучить встроенные функции, их принцип работы и область применения, а затем уже на основании этого создавать пользовательские функции, которые адаптированы под реализуемую задачу. Авторами были разработаны программные модули разных уровней сложности для изучения каждой темы дисциплины. Отметим, что при использовании таких модулей студентам предоставляется возможность автоматизированной проверки знаний и результатов проделанной работы. Таким образом, при внедрении Mathematica в учебный процесс реализуется *принцип адаптивного обучения*.

Принцип интеграции с практическими задачами. При изучении «Теории графов» студенты не только изучают базовые алгоритмы обработки графов, но и решают конкретные прикладные задачи с использованием этих алгоритмов. Зачетной работой по данной дисциплине является исследовательский проект, моделирующий реальную сеть, и полный ее анализ, с использованием знаний, полученных в ходе изучения предмета. Например, провести анализ транспортной или социальной сети: построить программный модуль в СКА Mathematica для поиска кратчайшего пути между выбранными узлами сети, модуль для выявления ключевых узлов, для оптимизации маршрутов, для анализа сообществ и др. Без использования средств компьютерной алгебры это достаточно трудоемкий проект. Использование Mathematica позволяет решить задачу с минимальными временными затратами и обеспечивает более глубокую связь между теорией и применением знаний на практике. В Интернете существует большое число баз данных реальных транспорт-

ных и социальных сетей имеющих графовую структуру (SNAP, KONECT, Network Repository). Таким образом, студенты могут работать над индивидуальными проектами, связанными с анализом реальных данных. Для исследования сложных сетей можно использовать групповую работу. Практическое применение Mathematica способствует развитию творческого мышления и реализует *принцип проектного исследовательского обучения*.

Принцип междисциплинарного подхода. Теория графов является разделом дискретной математики, при этом в информатике графы используются в алгоритмах, в экономике – в моделировании распределительных сетей и логистики. СКА Mathematica поддерживает все вышеперечисленные объекты и может интегрироваться с другими дисциплинами.

Для успешного внедрения Mathematica в учебный процесс необходимо обеспечить *принцип непрерывного совершенствования методики*. Необходимо постоянно поддерживать связь студентов и преподавателей, проводить анализ успеваемости до и после использования систем компьютерной

алгебры, обновление методических модулей по мере необходимости.

Интеграция Mathematica в учебный процесс

Для интеграции системы Mathematica в учебный процесс по дисциплине «Теория графов» были разработаны интерактивные лекции и соответствующие им программные модули для визуального представления графов и алгоритмов для решения конкретных задач. Преподаватель вводит на лекциях основные теоретические понятия, такие как матрицы смежности, инцидентности, весов, компоненты связности и др., демонстрирует их вычисление вручную. Затем на практических занятиях преподаватель показывает, как построенный программный модуль автоматически генерирует эти результаты. Такой переход помогает связывать теорию с практикой и дает возможность студентам проверить себя.

На рисунке представлено пользовательское окно авторского программного модуля «GraphAnalyzer» для изучения темы «Классификация и характеристики графа».

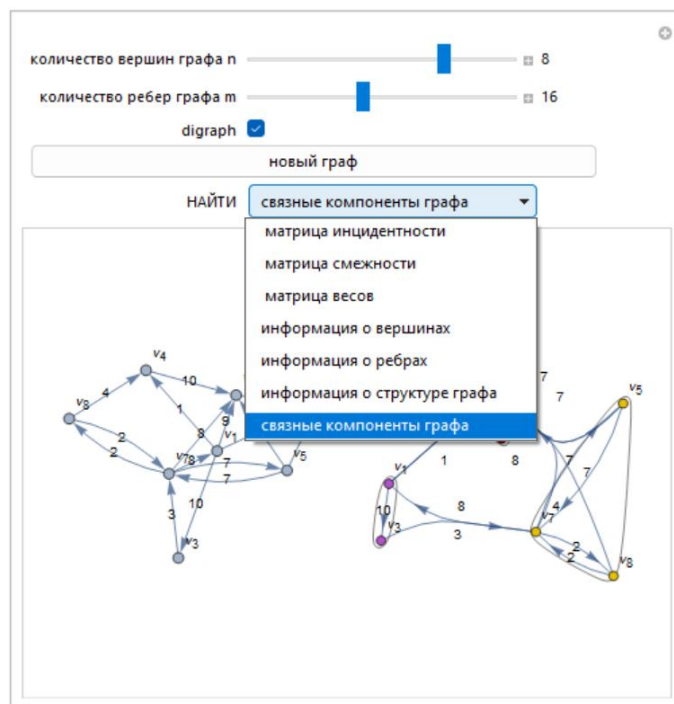


Рисунок – Пользовательское окно программного модуля для изучения темы «Классификация и характеристики графа»

Данный модуль генерирует взвешенный граф случайным образом по количе-

ству вершин и ребер. У студентов есть возможность выбора генерации ориентирован-

ного и неориентированного графа. Далее при выборе необходимой строки из списка операций модуль выводит на экран соответствующую информацию о графе. Использование модуля «GraphAnalyzer» позволяет студентам наблюдать, как меняются матрицы смежности, инцидентности и др. при изменении исходного графа.

Использование данного программного модуля значительно упрощает объяснение сложных концепций теории графов, делая процесс обучения наглядным, интерактивным и динамичным. Преподаватель может использовать модуль для визуализации ключевых аспектов графов, демонстрации математических представлений и быстрого анализа структур. Например, вместо абстрактного описания при выводе на экран матрицы смежности и инцидентности студенты сразу видят структуру связи между вершинами и ребрами.

Следует отметить, что отличительной особенностью таких программных модулей является их адаптивность. Преподаватель может с легкостью модифицировать их функциональность в зависимости от учебных задач, а студенты могут персонализировать выводимые характеристики для углубленного анализа. Благодаря динамическим параметрам и интуитивно понятному интерфейсу модули могут служить универсальным инструментом для изучения

теоретических концепций графов и их практического применения в различных областях.

В условиях сокращения аудиторных часов интерактивные программные модули играют ключевую роль в формировании навыков самостоятельного усвоения учебного материала. Они способствуют развитию самостоятельности студентов, стимулируя их к глубокой аналитической деятельности, самостоятельному поиску информации и критическому осмыслению изучаемых концепций. Таким образом, разработанные авторами программные модули не только облегчают теоретическое освоение дисциплины «Теория графов», но и способствуют развитию методологической самостоятельности обучающихся, повышая их академическую мобильность и готовность к непрерывному самообразованию.

Для закрепления пройденного материала в учебный процесс были внедрены лабораторные работы по каждой теме дисциплины, при выполнении которых студенты, используя разработанные авторами интерактивные модули в системе компьютерной алгебры Mathematica, изучают операции над графами в рамках определенной темы и при необходимости создают свои пользовательские функции для решения поставленных задач.

Лабораторная работа 1 ***«Классификация и характеристики графа»*** ***(базовый уровень)***

Цели работы:

- 1) освоить основные типы графов и их классификацию;
- 2) научиться определять основные характеристики графа;
- 3) ознакомиться с методами построения матриц смежности, инцидентности и весов;
- 4) применить алгоритмы проверки связности.

План лабораторной работы:

- 1) знакомство с теоретическим материалом;
- 2) выполнение заданий;
- 3) ответы на контрольные вопросы.

Теоретическая часть

Определение графа, основные термины (вершины, ребра, степень вершины, связность и др.), классификация графов (ориентированные и неориентированные, взвешенные графы, двудольные, планарные, деревья, циклы и др.), представление графов (матрица смежности, инцидентности, весов, списки ребер и вершин).

Задания

Задание 1. Сгенерировать ориентированный граф случайным образом при помощи разработанного модуля «GraphAnalyzer». Найти матрицу смежности, инцидентности, матрицу весов. Определить число вершин, входящую и выходящую степень каждой вершины. Определить

число ребер и составить их список. Определить, является ли граф связным, полным, деревом, содержит ли цикл. Найти связные компоненты в графе. Используя модуль «GraphAnalyzer» проверить все полученные вычисления.

Задание 2. Сгенерировать неориентированный граф случайным образом при помощи модуля «GraphAnalyzer» и провести его анализ, как и для случая ориентированного графа. Проверить себя, используя модуль.

Контрольные вопросы

1. Какие вершины графа являются смежными?
2. В чем отличие матрицы смежности от матрицы инцидентности?
3. Проанализируйте характеристики ориентированного и неориентированного графа.

Лабораторная работа 1 **«Классификация и характеристики графа»** **(продвинутый уровень)**

Цели работы:

- 1) приобрести навыки использования стандартных функций системы компьютерной алгебры Mathematica для задания графов и выполнения операций над ними;
- 2) закрепить знания по теоретическим понятием рассматриваемой темы.

План лабораторной работы:

- 1) знакомство с теоретическим материалом;
- 2) выполнение заданий;
- 3) ответ на контрольные вопросы.

Теоретическая часть

Определение графа, основные термины (вершины, ребра, степень вершины, связность и др.), классификация графов (ориентированные и неориентированные, взвешенные графы, двудольные, планарные, деревья, циклы и др.), представление графов (матрицы смежности, инцидентности, весов, списки ребер и вершин).

Задания

Задание 1. Используя встроенный помощник в системе компьютерной алгебры Mathematica, изучить следующие функции для работы с графами: Graph, RandomGraph, EdgeRules, EdgeCount, EdgeList, VertexCount, VertexDegree, VertexInDegree, VertexOutDegree, ConnectedGraphQ, TreeGraphQ, CompleteGraphQ, AcyclicGraphQ, FindGraphCommunities, AdjacencyGraph.

Задание 2. Написать авторский программный модуль на основе программного кода модуля «GraphAnalyzer», который генерирует граф по матрице смежности (инцидентности).

Контрольные вопросы

1. В чем отличие матрицы смежности от матрицы инцидентности?
2. Какими характеристиками должна обладать матрица, чтобы быть матрицей смежности и инцидентности некоторого графа?
3. Проанализировать, как различные типы графов отражаются в матричных представлениях.

Зачетной работой по данной дисциплине является проектная работа, при выполнении которой студенты работают с реальными данными, анализируя сети и оптимизируя маршруты. Студентам необходимо импортировать граф в подходящем формате (GML, GraphML и др.), проверить корректность представления, провести предварительный анализ графа, определить компоненты связности, вычислить центральности узлов, проанализировать критические точки, провести глубокий анализ сети. Всю эту работу студент осуществляет с

использованием интерактивных модулей и лабораторных работ, которые он изучил и выполнил в процессе обучения. Для проведения расширенного анализа сети студенту необходимо разработать дополнительные авторские программные модули. Например, модуль для оптимизации маршрутов и минимальных путей, модуль для определения мостов и др.

По результатам анализа сети студентам необходимо сформировать отчет с анализом ее структурных особенностей, внести

предложения оптимизационных решений для улучшения ее функциональности.

Такой проект позволяет студентам проявить как аналитические способности, так и способности к программированию, а также научиться адаптировать математические инструменты под конкретные исследовательские задачи.

Заключение

Разработанные учебные материалы были внедрены в образовательный процесс при изучении курса «Теория графов» студентами Брестского государственного тех-

нического университета факультета электронно-информационных систем специальности 6-05-0612-03 «Системы управления информацией». До внедрения программных модулей в учебный процесс был проведен диагностический тест, чтобы определить начальный уровень понимания структуры графов и их основных характеристик. После нескольких учебных недель с активным использованием системы компьютерной алгебры Mathematica проводилось повторное тестирование. Результаты проверки приведены в таблице.

Таблица – Результаты тестирования студентов до и после внедрения модулей, %

Показатель	До внедрения модулей	После внедрения модулей	Изменение
Средний балл по теоретическим вопросам	65	80	+15
Средний балл по лабораторным работам	70	85	+15
Вовлеченность студентов (опрос)	60	90	+30

Такие изменения свидетельствуют о том, что использование разработанных авторами программных модулей позволило углубить понимание материала, активизировать работу студентов на занятиях, повысить качество выполнения практических заданий.

Было также проведено анкетирование студентов, чтобы узнать, насколько интерактивный подход помог им, и 85 % студентов указали, что визуализация графов и матрицы помогли им лучше понять взаимосвязи между теоретическими понятиями. Преподаватели отметили, что студенты стали активнее задавать вопросы и самостоя-

тельно предлагать методы оптимизации при решении задач по теории графов.

Интеграция программных модулей в учебный процесс дает конкретные результаты: повышается успеваемость студентов, улучшаются их показатели вовлеченности и мотивации, формируется глубокое понимание сложных структурных понятий через динамическое взаимодействие с материалом. Такой подход не только помогает объективно измерять успехи студентов, но и стимулирует преподавателей к дальнейшему совершенствованию интерактивных методов обучения.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Емеличев, В. А. Лекции по теории графов / В. А. Емеличев, О. И. Мельников, В. И. Сарванов [и др.]. – М. : Наука, 1990. – 390 с.
2. Карнаухова, А. А. Использование теории графов при решении задач в экономике / А. А. Карнаухова, А. Ф. Долгополова // Международный студенческий научный вестник. – 2015. – № 3, ч. 4. – С. 468–469. – URL: <https://eduherald.ru/ru/article/view?id=14128> (дата обращения: 05.05.2025).
3. Меркулова, Ю. В. Теоретико-методологические подходы к моделированию экономических стратегий на основе использования графов / Ю. В. Меркулова // Фундаментальные исследования. – 2022. – № 8. – С. 75–88.
4. Кузьмич, П. М. Расчет календарных планов с вероятностными временными параметрами работ / П. М. Кузьмич, Л. П. Махнист, Н. В. Михайлова // Вестник Брестского государственного технического университета. Серия: Строительство и архитектура. – 2013. – № 1 (79). – С. 139–142.

5. Чичурин, А. В. Применение системы Mathematica при решении дифференциальных уравнений и в задачах математического моделирования : курс лекций для студентов специальности 1-31 03 01 «Математика (по направлениям)» : в 3 ч. / А. В. Чичурин, Е. Н. Швычкина. – Брест : Брест. гос. ун-т, 2016. – Ч. 1. – 62 с.

6. Швычкина, Е. Н. Использование СКА Mathematica при математической подготовке студентов в техническом университете / Е. Н. Швычкина // Математическое моделирование и новые образовательные технологии в математике – 2015 : сб. докл. респ. науч.-практ. конф., Брест, 23–24 апр. 2015 г. / Брест, гос. ун-т им. А. С. Пушкина ; под общ. ред. А. В. Чичурина. – Брест : БрГУ, 2015. – С. 110–113.

7. Швычкина, Е. Н. Использование математического пакета в лекции «Знакопеременные ряды» / Е. Н. Швычкина, Е. Н. Рубанова // Вычислительные методы, модели и образовательные технологии : сб. материалов Междунар. науч.-практ. конф., Брест, 21 окт. 2016 г. / Брест. гос. ун-т им. А. С. Пушкина ; под общ. ред. О. В. Матысика. – Брест : БрГУ, 2016. – С. 148–149.

8. Зашук, Е. Н. Использование математического пакета в лекции «Ряды Фурье» / Е. Н. Зашук, А. И. Жук // Вычислительные методы, модели и образовательные технологии : сб. материалов IX Респ. науч.-практ. конф., Брест, 22 окт. 2020 г. / Брест. гос. ун-т им. А. С. Пушкина ; под общ. ред. А. А. Козинского. – Брест : БрГУ, 2020. – С. 66–67.

9. Зашук, Е. Н. Компьютерная визуализация тел вращения на лекциях для студентов технических специальностей / Е. Н. Зашук, А. И. Жук // Математические и физические методы исследований: научный и методический аспекты : сб. материалов Респ. науч.-практ. конф., Брест, 22–23 апр. 2021 г. / Брест. гос. ун-т им. А. С. Пушкина ; под общ. ред. Н. Н. Сендера. – Брест : БрГУ, 2021. – С. 38–39

10. Зашук, Е. Н. Моделирование «Полярной розы» в системах компьютерной алгебры / Е. Н. Зашук, А. И. Жук // Современные проблемы математики и вычислительной техники : сб. материалов XII Респ. науч. конф. молодых ученых и студентов, Брест, 18–19 нояб. 2021 г. / Брест. гос. техн. ун-т ; редкол.: В. А. Головки (гл. ред.) [и др.]. – Брест : БрГТУ, 2021. – С. 69–70.

11. Зашук, Е. Н. Компьютерная визуализация трехмерных систем координат в чтении лекций по дисциплине «Математика» / Е. Н. Зашук, А. И. Жук // Математическое моделирование и новые образовательные технологии в математике : сб. материалов Респ. науч.-практ. конф., Брест, 28–29 апр. 2022 г. / Брест. гос. ун-т им. А. С. Пушкина ; под общ. ред. А. И. Басика. – Брест : БрГУ, 2022. – С. 56–57.

12. Зашук, Е. Н. Использование методов компьютерной алгебры в лекциях «Предел числовой последовательности и функции» / Е. Н. Зашук, А. И. Жук, Л. П. Махист // Вестник Брестского государственного технического университета. – 2023. – № 1 (130). – С. 125–128.

13. Зашук, Е. Н. Вычислительная визуализация определения эллипса / Е. Н. Зашук, А. И. Жук // Вычислительные методы, модели и образовательные технологии : сб. материалов Респ. науч.-практ. конф., Брест, 20 окт. 2023 г. / Брест. гос. ун-т им. А. С. Пушкина ; под общ. ред. Д. В. Грицука. – Брест : БрГУ, 2023. – С. 45–46.

14. Зашук, Е. Н. Вычислительная визуализация определений кривых второго порядка / Е. Н. Зашук, А. И. Жук // Математическое моделирование и новые образовательные технологии в математике : сб. материалов Междунар. науч.-практ. конф., Брест, 25–27 апр. 2024 г. / Брест. гос. ун-т им. А. С. Пушкина ; под общ. ред. А. И. Басика. – Брест : БрГУ, 2024. – С. 145–148.

15. Wolfram Demonstrations Project. – URL: <https://demonstrations.wolfram.com> (date of access: 08.05.2025).

REFERENCES

1. Emelichev, V. A. Lektsii po teorii grafov / V. A. Emelichev, O. I. Mel'nikov, V. I. Sarvanov [i dr.]. – М. : Nauka, 1990. – 390 s.

2. Karnaukhova, A. A. Ispol'zovanie teorii grafov pri reshenii zadach v ehkonomike / A. A. Karnaukhova, A. F. Dolgoplova // Mezhdunarodnyi studencheskii nauchnyi vestnik. – 2015. – № 3, ch. 4. – S. 468–469. – URL: <https://eduherald.ru/ru/article/view?id=14128> (data obrashcheniya: 05.05.2025).

3. Merkulova, Yu. V. Teoretiko-metodologicheskie podkhody k modelirovaniyu ehkonomie-skikh strategii na osnove ispol'zovaniya grafov / Yu. V. Merkulova // Fundamental'nye issledovaniya. – 2022. – № 8. – S. 75–88.
4. Kuz'mich, P. M. Raschet kalendarnykh planov s veroyatnostnymi vremennymi parametrami rabot / P. M. Kuz'mich, L. P. Makhnist, N. V. Mikhailova // Vestnik Brestskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arkhitektura. – 2013. – № 1 (79). – S. 139–142.
5. Chichurin, A. V. Primenenie sistemy Mathematica pri reshenii differentsial'nykh uravnenii i v zadachakh matematicheskogo modelirovaniya : kurs lektsii dlya studentov spetsial'nosti 1-31 03 01 «Matematika (po napravleniyam)» : v 3 ch. / A. V. Chichurin, Ye. N. Shvychkina. – Brest : Brest. gos. un-t, 2016. – Ch. 1. – 62 s.
6. Shvychkina, Ye. N. Ispol'zovanie SKA Mathematica pri matematicheskoi podgotovke studentov v tekhnicheskoy universitete / Ye. N. Shvychkina // Matematicheskoe modelirovanie i novye obrazovatel'nye tekhnologii v matematike – 2015 : sb. dokl. resp. nauch.-prakt. konf., Brest, 23–24 apr. 2015 g. / Brest, gos. un-t im. A. S. Pushkina ; pod obshch. red. A. V. Chichurina. – Brest : BrGU, 2015. – S. 110–113.
7. Shvychkina, Ye. N. Ispol'zovanie matematicheskogo paketa v lektsii «Znakocheduyushchi- esya ryady» / Ye. N. Shvychkina, Ye. N. Rubanova // Vychislitel'nye metody, modeli i obrazova- tel'nye tekhnologii : sb. materialov Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., Brest, 21 okt. 2016 g. / Brest. gos. un-t im. A. S. Pushkina ; pod obshch. red. O. V. Matysika. – Brest : BrGU, 2016. – S. 148–149.
8. Zashchuk, Ye. N. Ispol'zovanie matematicheskogo paketa v lektsii «Ryady Fur'ye» / Ye. N. Zashchuk, A. I. Zhuk // Vychislitel'nye metody, modeli i obrazovatel'nye tekhnologii : sb. materialov IX Resp. nauch.-prakt. konf., Brest, 22 okt. 2020 g. / Brest. gos. un-t im. A. S. Pushkina ; pod obshch. red. A. A. Kozinskogo. – Brest : BrGU, 2020. – S. 66–67.
9. Zashchuk, Ye. N. Komp'yuternaya vizualizatsiya tel vrashcheniya na lektsiyakh dlya stu- dentov tekhnicheskikh spetsial'nostei / Ye. N. Zashchuk, A. I. Zhuk // Matematicheskie i fizicheskie metody issledovaniy: nauchnyi i metodicheskii aspekty : sb. materialov Resp. nauch.-prakt. konf., Brest, 22–23 apr. 2021 g. / Brest. gos. un-t im. A. S. Pushkina ; pod obshch. red. N. N. Sendera. – Brest : BrGU, 2021. – S. 38–39.
10. Zashchuk, Ye. N. Modelirovanie «Polyarnoi rozy» v sistemakh komp'yuternoi algebry / Ye. N. Zashchuk, A. I. Zhuk // Sovremennyye problemy matematiki i vychislitel'noi tekhniki : sb. materialov XII Resp. nauch. konf. molodykh uchenykh i studentov, Brest, 18–19 noyab. 2021 g. / Brest. gos. tekhn. un-t ; redkol.: V. A. Golovko (gl. red.) [i dr.]. – Brest : BrGTU, 2021. – S. 69–70.
11. Zashchuk, Ye. N. Komp'yuternaya vizualizatsiya trekhmernykh sistem koordinat v chtenii lektsii po distsipline «Matematika» / Ye. N. Zashchuk, A. I. Zhuk // Matematicheskoe modelirovanie i novye obrazovatel'nye tekhnologii v matematike : sb. materialov Resp. nauch.-prakt. konf., Brest, 28–29 apr. 2022 g. / Brest. gos. un-t im. A. S. Pushkina ; pod obshch. red. A. I. Basika. – Brest : BrGU, 2022. – S. 56–57.
12. Zashchuk, Ye. N. Ispol'zovanie metodov komp'yuternoi algebry v lektsiyakh «Predel chis- lovoi posledovatel'nosti i funktsii» / Ye. N. Zashchuk, A. I. Zhuk, L. P. Makhnist // Vestnik Brest- skogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. – 2023. – № 1 (130). – S. 125–128.
13. Zashchuk, Ye. N. Vychislitel'naya vizualizatsiya opredeleniya ellipsa / Ye. N. Zashchuk, A. I. Zhuk // Vychislitel'nye metody, modeli i obrazovatel'nye tekhnologii : sb. materialov Resp. nauch.-prakt. konf., Brest, 20 okt. 2023 g. / Brest. gos. un-t im. A. S. Pushkina ; pod obshch. red. D. V. Gritsuka. – Brest : BrGU, 2023. – S. 45–46.
14. Zashchuk, Ye. N. Vychislitel'naya vizualizatsiya opredelenii krivykh vtorogo poryadka / Ye. N. Zashchuk, A. I. Zhuk // Matematicheskoe modelirovanie i novye obrazovatel'nye tekhnologii v matematike : sb. materialov Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., Brest, 25–27 apr. 2024 g. / Brest. gos. un-t im. A. S. Pushkina ; pod obshch. red. A. I. Basika. – Brest : BrGU, 2024. – S. 145–148.
15. Wolfram Demonstrations Project. – URL: <https://demonstrations.wolfram.com> (date of access: 08.05.2025).