

Scientific journal  
**PHYSICAL AND MATHEMATICAL EDUCATION**  
 Has been issued since 2013.

ISSN 2413-158X (online)  
 ISSN 2413-1571 (print)

Науковий журнал  
**ФІЗИКО-МАТЕМАТИЧНА ОСВІТА**  
 Видається з 2013.

<http://fmo-journal.fizmatsspu.sumy.ua/>



*Щелкунова Л.И., Емец М.С. Интеграция методов теории графов в архитектурно-строительное проектирование. Фізико-математична освіта. 2020. Випуск 1(23). С. 157-163.*

*Shchelkunova L., Yemets M. Integration of methods of theory of graphs in architectural-construction design. Physical and Mathematical Education. 2020. Issue 1(23). P. 157-163.*

DOI 10.31110/2413-1571-2020-023-1-026  
 УДК 372.851

**Л.И. Щелкунова**  
 Харьковский национальный университет строительства и архитектуры, Украина  
 lshelkunovam@gmail.com  
 ORCID: 0000-0002-4386-5413

**М.С. Емец**  
 Одесская национальная академия пищевых технологий, Украина  
 mshelkunchik@gmail.com  
 ORCID: 0000-0002-3995-5125

## ИНТЕГРАЦИЯ МЕТОДОВ ТЕОРИИ ГРАФОВ В АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ

### АННОТАЦИЯ

**Формулирование проблемы.** Решение актуальной образовательной задачи формирования междисциплинарных знаний у будущих проектировщиков тормозится существующим несоответствием содержания математического образования студентов архитектурных специальностей требованиям современного архитектурного проектирования. Это, в первую очередь, связано с проблемой отсутствия в программах математических дисциплин студентов-архитекторов многих разделов математики, методы которых широко используются в современной проектной практике, в частности, методов теории графов.

**Материалы и методы.** В работе использованы методы сбора, систематизации, классификации и обобщения информации относительно поставленной проблемы, метод сравнительного анализа разновидностей педагогических подходов, синтеза и анализа результатов собственной педагогической интегративной деятельности.

**Результаты.** Осуществлён поиск области применения математической теории графов к решению задач архитектурно-строительного проектирования. Обоснована необходимость включения в образовательные программы математического цикла студентов архитектурных специальностей спецкурса «Методы теории графов в архитектурном проектировании» на основе интегративных технологий и разработаны подходы к созданию тематического плана спецкурса.

Выработаны подходы к систематизации графов путём выделения существенных классификационных признаков в контексте их применения в проектной практике. Выделены основные типы задач, связанные с использованием методов теории графов в проектной деятельности, и составлены учебные модельные задачи, наполненные практическим содержанием, по всем выявленным направлениям.

**Выводы.** Широкий спектр прикладной направленности математической теории графов в проектной практике указывает на необходимость пересмотра стандартов математического образования студентов архитектурных специальностей. Такая работа связана с внедрением интегративных технологий обучения, направлена на приобретение студентами междисциплинарных знаний, что способствует усовершенствованию организации и проведения образовательного процесса.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** граф, операции над графами, алгоритмы на графах, архитектурно-строительное проектирование, интегрированное обучение.

### ВВЕДЕНИЕ

**Постановка проблемы.** Одним из главных признаков качества современного образования является приобретение междисциплинарных знаний как одной из ключевых компетенций современного специалиста. Перспективным средством достижения качества образования является интеграция учебных дисциплин через создание интегрированных технологий обучения. При этом возникает проблема отбора и способа подачи актуальных современных знаний (Щелкунова&Шульгина, 2011).

Математическую теорию графов можно выделить, как широко востребованную на разных этапах архитектурного проектирования, методы которой, однако, не включены в образовательные программы будущих проектировщиков. Поэтому возникает проблема поиска возможностей приобретения будущими специалистами знаний и навыков по теории

графов, прежде всего связанных с их практической направленностью. Решение поставленной проблемы требует совместных усилий математиков, архитекторов и IT-специалистов для разработки интегрированных курсов и соответствующего методического обеспечения.

**Анализ актуальных исследований.** Сегодня существует немало публикаций, связанных с областью взаимодействия архитектуры и математики. Речь идет об определении круга задач архитектуры и градостроительства, которые целесообразно решать с помощью математических методов. В этих исследованиях появился термин «архитектурная математика». Однако содержание и структура этого понятия остаются неопределенными, поскольку информация о математических методах и моделях в архитектурно-строительном проектировании остается разрозненной и несистематизированной (Щелкунова&Емец, 2019).

Тем не менее, в последнее время наблюдается тенденция использования математических методов в сочетании с возможностями компьютерного моделирования и их интеграции в архитектурное проектирование. Показано, например, что понятийный аппарат дисциплины «Объемно-пространственная композиция», который преподаётся в архитектурных вузах, тесно связан с понятийным аппаратом математики, в частности, с теорией графов (Горнева&Титов, 2013).

Следует отметить появление таких фундаментальных исследований, в которых осуществляется построение новых концепций в становлении и развитии теории высшей структурной целостности, предъявляемой ко всякому завершённому произведению архитектуры (Сазонов, 2015). Автор создаёт основы графоаналитической теории архитектурной гармонии двумя взаимодополняющими способами: строгим языком графоаналитики (геометрии и алгебры) и «эмоционально-смысловым» способом (по И. Шехтеру). По Сазонову сущность графоаналитической версии Гармонии предполагает единство и целостность такой формы изложения текста.

Проблемам интегративной педагогической деятельности, в рамках которой возможно решение задачи включения актуальных математических знаний в образовательный процесс, посвящены работы многих авторов. Выделяют такие основные формы интеграции: внутрипредметная, межпредметная, интеграция общего и профессионального образования и др.

На кафедре высшей математики ХНУСА постоянно проводится работа по отбору актуальных для архитектурного проектирования математических знаний и поиска способа их подачи (Щелкунова, 2019). Особое внимание уделяется вопросам построения (создания) таких методических приёмов и заданий, внедрение которых представило бы учебный процесс не просто как формальную передачу математической информации, а наполнило его практическим и мировоззренческим содержанием (Щелкунова, 2005).

Проблема реализации межпредметных связей в процессе обучения многократно поднималась в мировой педагогике и отразилась в создании интегрированных технологий обучения. В качестве мощного инструментария осуществления интегративной деятельности рассматривается создание спецкурсов, объединяющих усилия разных специалистов и включающих модельные задачи соответствующей тематики от простых до приближённых к реальным (Щелкунова, 2016).

**Цель статьи.** Целью данной работы является определение области применения в архитектурно-строительном проектировании методов теории графов как инструмента моделирования и оптимизации взаимосвязи между элементами проектируемого объекта, и построение подходов к внедрению этих методов в учебный процесс. Возникающие при этом задачи связаны с изучением опыта преподавания высшей математики студентами архитектурных специальностей в родственных вузах и разработкой инструментария осуществления интегративной образовательной деятельности.

## МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В работе использованы методы сбора, систематизации, классификации и обобщения информации относительно поставленной проблемы, метод сравнительного анализа разновидностей педагогических подходов, синтеза и анализа результатов собственной педагогической интегративной деятельности.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Одной из форм внедрения математических знаний по теории графов в учебный процесс является создание спецкурсов. Такая работа обычно требует долгосрочных усилий, поэтому ее альтернативой можно считать работу в рамках студенческого научного общества (Щелкунова&Емец, 2019).

В таблице 1 приведено краткое содержание авторской программы спецкурса «Методы теории графов в архитектурном проектировании». Важной составляющей такого курса является его прикладная направленность.

Из таблицы 1 видно, что в первой части спецкурса внимание уделяется математическим основам теории графов в сочетании с компьютерными возможностями их моделирования, а во второй – практическому применению этой теории в градостроительстве и архитектурном проектировании.

Среди программного обеспечения визуализации графов выделяют следующие среды: GraphViz, Mathematica, MathCAD, Python, MS Excel и др. Также существуют такие бесплатные аналоги приведенных прикладных пакетов, как Graph Online, Maxima, Scilab и др.

*Если математическим основам теории графов посвящено много научно-методических работ, то в отношении определения и исследования круга задач проектирования, в которых возможно применение инструментария методов теории графов, нет системных подходов.*

В прикладном аспекте граф представляет собой математическую модель системы, в которой ее элементы называют вершинами, а ребра указывают на наличие взаимосвязи между ними. Любую архитектурную композицию, которая является структурой, объединяющей определённые части с определёнными отношениями между ними, можно представлять в виде графа.

Таблиця 1

Тематический план дисциплины

№	Тема занятия	Использование ИКТ - технологий
1	Графы и их свойства	Презентация «Классификация графов»
2	Способы задания графов. Операции над графами	Презентации: «Графическое построение графов», «Построение графов с помощью матрицы смежности и матрицы инцидентности»
3	Построение графов с использованием программных пакетов	Maple, MathCAD, Math lab EXCEL
4	Алгоритмы на графах	Редакторы: Графические СУБД, Graf Viz, Python, MS Excel
5	Математические модели в виде графов	Презентации: «Граф дорог», «Граф улиц», «Граф проекта», «Сетевой граф» и т.д.
6	Применение графов в градостроительстве и архитектурном проектировании	Собственные программные продукты

Возможности теории графов можно использовать с различными целями на разных этапах архитектурного проектирования. Например, графы применяют для функционального зонирования помещений и дальнейшей корректировки, для анализа доступности различных зон, для упрощения анализа взаимосвязей между выбранными элементами. В прикладном наполнении такими связями могут быть физические или визуальные доступы в помещения (двери, окна), общие стены или зоны и т.д.

В архитектурно-строительном проектировании графы применяют при планировании проектно-строительных работ. Такой подход оптимизирует процесс функционирования предприятия.

Методы теории графов дают широкие возможности для решения оптимизационных задач. В частности, метод критического пути позволяет определить оптимальный вариант планирования производства работ. С помощью инструментария поиска решения можно решать задачи коммивояжера (которые описываются полным графом), задачи минимальных затрат транспортной сети, нахождение цикла Эйлера и др. (Щелкунова&Емец, 2018).

Известный американский архитектор и преподаватель Кристофер Александер в конце XX века предложил идею применения графов вместе с возможностями компьютерных наук для рационализации задач урбанистики и анализа архитектурных проектов. В работе «Заметки о синтезе формы» известный учёный при анализе форм использовал графы. Кристофер Александер считает, что город, который естественно развивается, нельзя представить как граф-дерево. Древовидную структуру имеют искусственные города, а естественный город должен иметь более сложное строение (Christopher Alexander, 2017).

Математическую теорию графов применяют в методологических подходах к оценке роли и места расположения столиц. В частности, графы используют в осмыслении теории центральности и множественности центров, понимании различных функций различных центров с помощью теорий сетей и сетевых взаимодействий (Росман, 2013). Теоретики графов рассматривают центральность как физическую близость, общее количество взаимодействий или центральность объема, а также как центральность по значимости взаимодействий. К теории сетевых взаимодействий также тесно примыкают теории городских сетей и иерархии.

Задачи, связанные с использованием методов теории графов, можно условно поделить на такие основные группы:

1. Построение графа, как совокупности вершин и связей между ними, и определение их основных свойств. Анализ любой практической задачи с применением теории графов начинается с определения вершин и рёбер (дуг) графа. Причём этот выбор зависит от условий и целей задачи.

2. Выполнение операций над графами.

2.1 Добавление и удаление вершин и рёбер графа (увеличение или уменьшение количества помещений и их перепланировка);

2.2 Слияние вершин (объединение помещений или объёмов работ);

2.3 Объединение, пересечение, соединение и декартово произведение графов.

3. Алгоритмы (задачи) на графах.

3.1 Задача о критическом пути (при планировочном решении);

3.2 Задача построения минимального остовного дерева (поиск сетевого графика с минимальным весом..);

3.3 Задача о максимальном потоке в сети;

3.4 Задача о раскраске графа.

4. Вычисление характеристик графа.

5. Исследование специальных видов графов (Эйлеров граф, гамильтонов граф, деревья, лес).

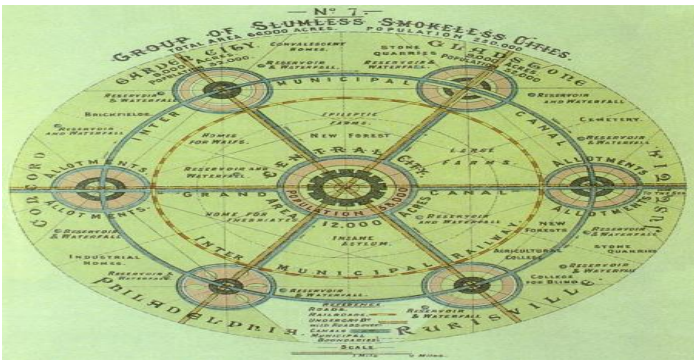
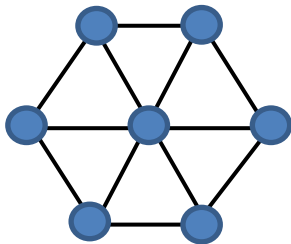
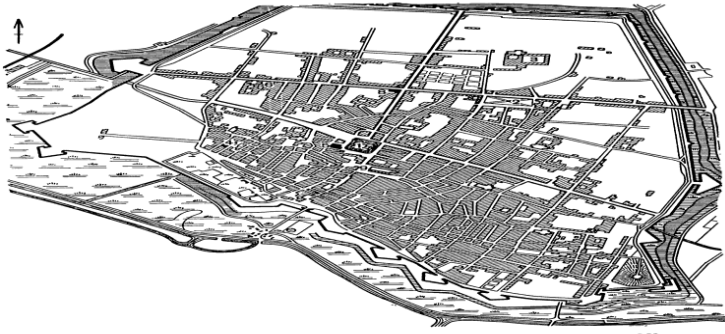
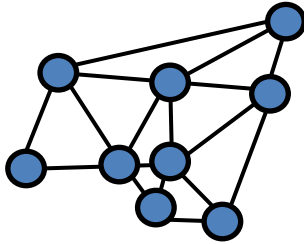
Содержание спецкурса включает рассмотрение примеров, связанных с внедрением методов теории графов в проектирование по перечисленным ранее основным видам. Поскольку время на изучение дисциплины «Высшая математика» для студентов-архитекторов за последние годы заметно сократилось, большинство студентов архитектурных специальностей не обладают достаточными знаниями и навыками работы с математическим материалом (Щелкунова, 2017). Это обуславливает необходимость построения учебных заданий, наполненных практическим содержанием, но упрощённых по своей постановке. Ниже авторы приводят примеры таких заданий.

Задание 1. Построение графов известных архитектурных проектов, среди которых можно выделить графы идеальных городов Феррара и города-сада Говарда.

Их известные схематичные изображения приведены в таблице 2. В третьем столбце показаны возможные варианты построения соответствующих графов. Например, для идеально города-сада Говарда граф похож на картинку-изображение. Вершины графа соответствуют центральной площади (место пересечения шести бульваров, окружённых кольцами озеленения и каналами) и пересечения границ бульваров с внешним кольцом города, где по проекту Говарда должны быть сосредоточены фабрики, склады, маслодельни, рынки, угольные дворы, дворы древесины и т.д. В проекте Феррара пересечения улиц акцентировались дворцами и церквями. В графе, построенном на основе плана города, вершинами обозначены исторические места (замок д’Эсте, площадь Ариосто, картезианский монастырь, церковь Санта Мария Нуова дельи Альдигьери, церковь Сан Джулиано, церковь Сан Бенедетто, церковь Сан Франческо, палаццо де Диаманти). Авторы считают, что такой подход к организации учебного процесса способствует его активизации.

Таблица 2

Архитектурные примеры графов

Название	Изображение	Соответствующий граф
Идеальный город-сад Говарда		
Идеальный город Феррара		

Задание 2. Даны 10 вузов Харькова, которые будем считать вершинами графа. Вершины соединены рёбрами тогда и только тогда, когда от одного вуза до другого можно добраться на общественном транспорте не более, чем за 30 мин. Изобразить соответствующий граф, отметив степени вершин и построить матрицу смежности.

Следует отметить, что в задачах можно менять прикладное наполнение как вершин графа, так и связей между ними. Например, ребро может устанавливать связь между вершинами, если расстояние по дорогам между вузами не более 1 км. Вершинами графа могут выступать культурные или административные заведения города.

Задание 3. Проектируется офисное помещение, состоящее из различных отделов, коридоров, лестниц, санитарных узлов и т.д. Необходимо построить граф взаимосвязей между этими частями проекта (вершинами) для анализа степени их доступности.

На основе построенного графа можно осуществлять корректировку функциональных связей элементов объекта (путём добавления или удаления вершин и рёбер) и тем самым способствовать оптимизации проектного решения.

Задача 4. Построить связный, планарный, взвешенный граф производства архитектурно-строительных работ, в котором вершинам соответствует определённая проектная информация, а рёбрам сопоставлены сроки производства работ.

Путём введения дополнительных или удаления (слияния) существующих вершин и связей можно оптимизировать проект с точки зрения времени выполнения, затрат на производство работ, снижения производственных рисков и т.д.

Задача 5. Построить граф Эйфелевой башни, вершинами которого являются, например, пересечения балок, а рёбра указывают на связь между ними.

Задача построена в контексте покраски башни вручную, как завещал Г. Эйфель. Задача минимизации используемой краски аналогична задаче о семи мостах и сводится к отысканию эйлеровых циклов (т.е. путей прохода по всем вершинам графа так, чтобы по каждому ребру пройти только один раз).

Авторами предпринята попытка систематизации графов, используемых в архитектурном проектировании, путём выделения существенных классификационных признаков (таблица 3). К основным классификационным признакам были отнесены следующие: правила построения, общие свойства вершин и рёбер, виды ориентации, типы связей, мощность множества элементов и др.

Одним из ключевых классификационных признаков графа является понятие связности. В архитектурно-планировочных схемах объекта, где вершинами являются отдельные зоны (квартиры, комнаты, офисы, коммуникации и

т.д.), а рѣбра указывают на возможность взаимосвязи между ними, связность означает доступность любой зоны объекта. В частности, если существует прямой доступ между всеми зонами объекта, то граф является полным.

Анализ архитектурной композиции на основе построенного графа в контексте, например, оптимизации функционального зонирования, может привести к операциям над графами в виде появления дополнительных вершин и (или) рѣбер. Такая реорганизация может соответствовать появлению новых зон путѣм разбиения протяженных коридоров на отсеки, организации дополнительных дверных проѣмов и т.д.

Таблица 3

**Основные виды графов (классификация)**

Признак классификации	Название
Направленность (Ориентация)	Орграф
	Неорграф
	Смешанный граф
Взвешенность	Взвешенный (типы взвешенности: рѣберная; вершинная; смешанный вариант)
	Невзвешенный
	Смешанный вариант
Степень вершины	Регулярный
	Нерегулярный
По числу рѣбер, соединяющих пару вершин	<i>p</i> -граф: При $p = 1$ <i>p</i> -граф называется <i>униграфом</i> , При $p > 1$ – <i>мультиграфом</i> ; При $p = 0$ граф <i>вырожденный</i> или <i>пустой</i> .
По наличию связей между вершинами	Связный
	Несвязный
По связанности всех вершин	Полный
	Неполный
По типу связей	Граф без петель (без циклов)
	Граф с петлями (с циклами)
	Простой (обыкновенный) граф
По топологии	Планарный
	Непланарный
По принципам построения (возможность обхода вершин (рѣбер) при дополнительных условиях)	<i>Эйлеров граф</i>
	<i>Гамильтонов граф</i>
	<i>Двудольный граф</i>
	<i>Дерево</i>
Частные случаи	Подграф
	Суграф
	Кусок графа
По мощности множеств элементов	Конечный
	Бесконечный

Для описания и оптимизации функционально-пространственных взаимосвязей удобно использовать так называемые двойственные графы. При таком подходе рассматривают граф, поставленный в соответствие с другим графом так, что вершины одного из них являются гранями другого. Такой способ изображения архитектурного объекта помогает описывать его структуру в контексте множества разнообразных пространственных и функциональных связей.

Многие архитектурно-планировочные решения представимы в виде плоских графов, рѣбра которых пересекаются только в его вершинах. Однако существуют такие многоуровневые объекты, которые представимы графами, рѣбра которых пересекаются не только в его вершинах. При этом возникает задача поиска такого изображения графа на плоскости, при котором его рѣбра пересекались бы только в вершинах, либо требуется установить, что такого изображения не существует. С такими проблемами сталкиваются, например, при прокладке различных коммуникаций, где требуется, чтобы их линии не пересекались. В этих задачах вершинами считают точки, соединяемые коммуникациями, а сами коммуникации рассматривают в качестве рѣбер.

Для формализации такой задачи вводится понятие планарного графа, который по определению должен быть изоморфен плоскому графу. Таким образом, в задаче о прокладке коммуникаций, возникает проблема поиска хотя бы одного плоского изображения графа. В теории графов существуют разные подходы к исследованию этого вопроса. Например, доказано, что любой выпуклый многогранник, рассматриваемый как граф, планарен.

Выявление свойств графов и их использование при решении задач является первоочередной задачей спецкурса. Например, граф, построенный на рис. 1 и соответствующий городу-саду Говарда, является связным, неполным, невзвешенным, без петель, планарным, конечным.

**ОБСУЖДЕНИЕ**

Такой широкий спектр прикладной направленности математической теории графов указывает на необходимость пересмотра стандартов математического образования студентов-архитекторов с последующим включением современных актуальных математических знаний в образовательный процесс.

Для устранения проблемы несоответствия содержания дисциплины «Высшая математика» уровню современного развития архитектурно-строительного проектирования требуются совместные усилия математиков, архитекторов и специалистов по компьютерным наукам. Объединение их усилий, в свою очередь, выявляет необходимость в согласовании на разных уровнях, а также выбора форм междисциплинарной интеграции.

В педагогической науке существуют разные виды интегративной образовательной деятельности. Авторы считают работу в рамках студенческих научных обществ, а также по созданию элективных курсов эффективной формой интеграции междисциплинарных знаний в образовательный процесс. При этом большое внимание уделяется разработке содержания и формированию структуры и учебных заданий таких спецкурсов.

**ВЫВОДЫ**

1. Выявлена проблема, связанная с отсутствием в программах математических дисциплин студентов-архитекторов разделов высшей математики, методы которых широко используются в современной проектной практике (в частности, методов теории графов).
2. Выявлены возможности, связанные с применением математического аппарата методов теории графов в архитектурно-строительном проектировании.
3. Обоснована необходимость включения в образовательные программы математического цикла студентов архитектурных специальностей спецкурса «Методы теории графов в архитектурном проектировании» на основе интегративных технологий и разработаны подходы к созданию тематического плана спецкурса.
4. Выделены основные типы задач, связанные с использованием методов теории графов в проектной деятельности, и составлены учебные модельные задачи, наполненные практическим содержанием, по всем выявленным направлениям.
5. Выработаны подходы к систематизации графов на основе классификационных признаков в контексте их применения в архитектурно-строительном проектировании.

Всё перечисленное даёт основания сделать вывод о необходимости дальнейших совместных усилий специалистов разных областей знаний по выявлению актуальных в архитектурной практике знаний и поиску форм и инструментария интегративной деятельности по внедрению этих знаний в образовательный процесс.

**Список использованных источников**

1. Горнева О.С., Титов С.С. Проблемы интеграции математических методов в архитектурное проектирование. Архитектон: известия вузов. 2013. № 41. С. 22-28.
2. Сазонов В.И. Графоаналитическая теория архитектурной гармонии (как целостная теоретико-прикладная основа формальной грамматики-гармонии предхудожественного языка и инструментария архитектурной композиции): авторефер. дисс. ... докт. арх.: 18.00.01 / Новосибирская гос. архитектурно-художественная акад. Новосибирск, 2002. 54 с.
3. Christopher Alexander. A city is not a tree. Sustasis Press. Off The Common Books, 2017. 200 p.
4. Росман В. Столицы. Их многообразие, закономерности развития и перемещения. Litres, 2013. 336 с.
5. Щелкунова Л.І. Вища математика для архітекторів. Навчальний посібник. – 2-ге вид. переробл. і доповн. – Харків: ФОП Панов А.М., 2019. 150 с.
6. Щелкунова Л.И. Мировоззренческая направленность самостоятельной работы студентов. Эвристическое обучение математике. Тезисы докладов научно-методической конференции (Донецк, 15-17 ноября 2005г.). Изд-во ДонНУ, 2005. С. 292-293.
7. Щелкунова Л.И., Емец М.С. Математические методы и нелинейная архитектура в системе интегративного обучения. Фізико-математична освіта. 2019. Випуск 3(21). С.163-169. DOI: 10.31110/2413-1571-2019-021-3-024.
8. Щелкунова Л.І., Шульгина С.С. Про підходи до вдосконалення змісту навчальної дисципліни «Вища математика» для студентів архітектурних спеціальностей. *Теорія та методика навчання математики, фізики, інформатики*. Кривий Ріг: Вид. відділ НМетАУ, 2011. Вип. ІХ. С. 212-215.
9. Щелкунова Л.И., Емец М.С. Подходы к параметризации оптимизационных задач архитектурно-градостроительного решения. Збірник наукових праць ХДУ. Педагогічні науки. Херсон, 2018. № 81(3). С. 249-254.
10. Щелкунова Л.И., Аршава Е.А., Шульгина С.С. Интегрированное обучение студентов-архитекторов на основе создания спецкурса «Фрактальная геометрия». Тезисы докладов Международной конференции «Современные проблемы естественных наук: Тараповские чтения – 2016» (Харьков, 1-15 марта 2016г.). Цифровая типография №1, 2016. С. 108.
11. Щелкунова Л.И. Дифференциальная геометрия и фрактальный анализ в архитектурном проектировании. *Научно-исследовательские публикации*. Международная научно-практическая конференция «Наука в XXI веке: Проблемы и перспективы развития» (г. Воронеж, 20-22 февраля, 2017). Воронеж, 2017. №2(40). С. 63-69.

**References**

1. Gorneva, O.S. & Titov, S.S. (2013). Problemy integracii matematicheskikh metodov v arhitekturnoe proektirovanie [Integrating of mathematical methods into architectural design]. 2013. № 41. 22-28 [in Russian].
2. Sazonov, V.I. (2002). Grafoanaliticheskaya teoriya arhitekturnoj garmonii (kak celostnaya teoretiko-prikladnaya osnova formal'noj grammatiki-garmonii predhudozhestvennogo yazyka i instrumentariya arhitekturnoj kompozicii) [Grafoanaliticheskaya teoriya arhitekturnoj garmonii (as an integral theoretical and applied basis of formal grammar-harmony

- of the pre-artistic language and tools of architectural composition)]. *Extended abstract of candidate's thesis*. Novosibirsk: NSAA [in Russian].
3. Christopher Alexander. (2017). *A city is not a tree*. Portland, OR: copyright Sustasis Press, [in English].
  4. Rosman, V. (2013). *Stolicy. Ih mnogoobrazie, zakonmernosti razvitiya i peremeshcheniya* [Their diversity, patterns of development and movement]. Moscow: Litres [in Russian].
  5. Shchelkunova, L.I. (2019). *Vyshcha matematyka dlia arkhitektov* [Higher mathematics for architects: ]. Kharkiv: FOP Panov A.M. [in Ukraine].
  6. Shchelkunova, L.I. (2005). *Mirovozzrencheskaya napravlenost' samostoyatel'noj raboty studentov* [Worldview orientation of students' independent work]. Proceedings from: *Mezhdunarodnaya nauchno-metodicheskaya konferenciya "Evristsicheskoe obuchenie matematike"* - International scientific-methodical conference "Heuristic teaching in mathematics". (pp. 292-293). Donetsk: DonNU [in Russian].
  7. Shchelkunova, L.I. & Yemets, M. S. (2019). *Matematicheskie metody i nelinejnaya arhitektura v sisteme integrativnogo obucheniya* [Mathematical methods and nonlinear architecture in the system of integrative learning]. *Physical and Mathematical Education*. 2019. 3(21). 163-169. DOI: 10.31110/2413-1571-2019-021-3-024 [in Russian].
  8. Shchelkunova, L.I. & Shulhina, S.S. (2011). *Pro pidhodi do vdoskonalennja zmistu navchal'noi disciplini «Vishha matematika» dlja studentiv arhitekturnih special'nostej* [About approaches to improving the content of the subject "Higher Mathematics" for students of architectural specialties]. *Teorija ta metodika navchannja matematiki, fiziki, informatiki – Theory and methodology of teaching mathematics, physics, computer science*, 9, 212-215 [in Ukrainian].
  9. Shchelkunova, L.I. & Yemets, M. S. (2018). *Podhody k parametrizacii optimizacionnyh zadach arhitekturno-gradostroitel'nogo resheniya* [Approaches to the parameterization of optimization problems of architectural and urban planning solutions] – *Zbirnyk naukovykh prats KhDU. Pedagogichni nauky*. Kherson, 81(3), 249-254 [in Russian].
  10. Shchelkunova, L.I., Arshava, E.A. & Shulgina, S.S (2016). *Integrirovannoe obuchenie studentov-arhitektov na osnove sozdaniya speckursa «Fraktal'naya geometriya»* [Integrated training of architectural students based on the creation of a special course "Fractal Geometry"]. Proceedings from: *“Sovremennye problemy estestvennyh nauk: Tarapovskie chteniya-2016”* – International Conference – International Conference «*Modern problems of natural sciences: Tarapov readings-2016*”. (P.108). Kharkov: Digital printing house №1 [in Russian].
  11. Shchelkunova, L.I. (2017). *Differencial'naja geometrija i fraktal'nyj analiz v arhitekturnom proektirovanii* [Differential geometry and fractal analysis in architectural design]. Proceedings of the International Scientific and Practical Conference: *Science in the 21st Century: Challenges and Prospects for Development*, 63-69 [in Russian].

#### INTEGRATION OF METHODS OF THEORY OF GRAPHS IN ARCHITECTURAL-CONSTRUCTION DESIGN

*Lyubov Shchelkunova*

*Kharkiv National University of Construction and Architecture,*

*Mariia Yemets*

*Odessa National Academy of Food Technologies*

**Abstract.**

*The article raises the problem of finding the field of application of the mathematical theory of graphs to solving problems of architectural and structural design and the possibilities of including this knowledge in the educational process by introducing integrative technologies.*

**Formulation of the problem.** *The work is aimed at solving the problem of the absence of many sections of mathematics in the programs of mathematical disciplines of student architects, whose methods are widely used in modern design practice, in particular, in graph theory methods.*

**Materials and methods.** *The following methods were used in the work: collection, systematization, classification, and generalization of information regarding the problem posed a comparative analysis of different pedagogical approaches, synthesis, and analysis of the results of one's pedagogical integrative activity.*

**Results.** *The field of application of the mathematical theory of graphs to the solution of problems of architectural and construction design has been made. The necessity to include in the educational programs of the mathematical cycle of students of architectural specialties of the special course "Methods of graph theory in architectural design" based on integrative technologies and approaches to the creation of the thematic plan of the special course are developed. Approaches to the systematization of graphs have been worked out by highlighting essential classification features in the context of their application in design practice. The main types of problems associated with the use of graph theory methods in the project activity are highlighted, and training model tasks filled with practical content are compiled in all identified areas.*

**Conclusions.** *The wide range of applied orientation of mathematical graph theory in design practice indicates the need to revise the standards of mathematical education of students of architectural specialties. Such work is related to the introduction of integrative learning technologies, aimed at acquiring students with interdisciplinary knowledge, which helps to improve the organization and conduct of the educational process.*

**Keywords:** *graph, graph operations, graph algorithms, architectural and construction design, integrated training.*