

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. Математические методы и нелинейная архитектура в системе интегративного обучения. *Фізико-математична освіта*. 2019. Випуск 3(21). С. 163-169.

Shchelkunova L., Yemets M. Mathematical methods and nonlinear architecture in the system of integrative learning. *Physical and Mathematical Education*. 2019. Issue 3(21). P. 163-169.

DOI 10.31110/2413-1571-2019-021-3-024  
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

## МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ И НЕЛИНЕЙНАЯ АРХИТЕКТУРА В СИСТЕМЕ ИНТЕГРАТИВНОГО ОБУЧЕНИЯ

### АНОТАЦІЯ

В статье поднят вопрос междисциплинарности пространства знаний нелинейной архитектуры, среди которых выделены математические методы и модели. Предложены подходы включения современных математических знаний в образовательный процесс путём внедрения интегративных технологий.

**Формулирование проблемы.** Работа направлена на устранение противоречий, связанных с несоответствием содержания математического образования студентов архитектурных специальностей требованиям современного архитектурного проектирования.

**Материалы и методы.** В работе использованы следующие методы: сбор, систематизация, классификация и обобщение информации относительно поставленной проблемы, сравнительный анализ разных педагогических подходов, синтез и анализ результатов собственной педагогической интегративной деятельности.

**Результаты.** В статье обосновано, что нелинейная архитектура носит междисциплинарный характер и в этом пространстве одну из ведущих ролей играют математические методы и модели. Среди основных методов выделены методы фрактального, геометрического и параметрического моделирования, причём указано на то, что во многих случаях области их применения пересекаются. Такой характер архитектурной деятельности обосновывает необходимость создания условий для приобретения студентами междисциплинарных знаний, соответствующих требованиям современного проектирования. Эту задачу предложено решать на основе интегрированных технологий путём разработки и внедрения спецкурсов прикладной направленности. Опыт такой работы указывает на необходимость объединения усилий математиков, архитекторов и IT-специалистов. В качестве альтернативного пути решения поставленной задачи предлагается работа в рамках студенческого научного общества, причём указано на то, что опыт такой деятельности демонстрирует положительный результат.

**Выводы.** Внедрение интегративных форм обучения способствует приобретению междисциплинарных знаний, что способствует оптимизации образовательного процесса.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** нелинейная архитектура, фрактальное моделирование, параметрическое моделирование, геометрическое моделирование, интегрированное обучение.

### ВВЕДЕНИЕ

Архитектурные формы на протяжении многих веков определялись (проектировались) на языке геометрии. Математические модели, описывающие геометрические фигуры, ложились в основу образования архитектурных форм. С появлением и развитием компьютерных наук трансформировались и методы формообразования архитектурных объектов. Современные компьютерные методы проектирования формы опираются на язык математических формул и геометрических построений.

Термин «нелинейная архитектура» появился в конце прошлого века. Развитие этого направления связывают с освоением новых динамических принципов формообразования, в основе которых заложена математическая парадигма нелинейности. Появлению такого направления способствовало развитие, как компьютерных технологий, так и таких

наук о сложных системах (sciences of complexity), как фрактальная геометрия, нелинейная динамика, теория сложности (основоположник И. Пригожин), хаоса (основоположник Э. Лоренс), катастроф и др.

Однако наличие в архитектурном проектировании таких современных междисциплинарных областей знаний никак не отражено в образовательном процессе студентов. Включение новых актуальных знаний в образовательные программы на основе интегративных технологий обучения могут открыть новые возможности повышения качества образования студентов-архитекторов. Актуальность такой работы обусловлена направлением на оптимизацию образовательного процесса путём устранения противоречий, связанных с несоответствием содержания математического образования студентов архитектурных специальностей требованиям современного архитектурного проектирования (Щелкунова, 2011).

Развитие «нелинейной архитектуры», становление которой относят к концу XX века, сопровождалось моделированием разных криволинейных конструкций. По сравнению с классическими архитектурными формами эти конструкции во многих случаях выявлялись более эффективными. Речь идёт, например, о минимизации расходных материалов или повышении устойчивости конструкции. При этом процесс моделирования базируется на математических алгоритмах, лежащих в основе геометрических, параметрических, алгоритмических и других методов проектирования.

Сегодня существует немало публикаций, связанных с определением круга задач архитектуры и градостроительства, решение которых базируется на использовании математических методов и моделей. В этих исследованиях появился термин «архитектурная математика». Однако содержание и структура этого понятия остаются неопределёнными, поскольку информация о математических методах и моделях в архитектурно-градостроительном проектировании до сих пор является разрозненной (Щелкунова, 2011).

Включение математических знаний в структуру архитектурного образования представляет собой сложную, многогранную и зачастую противоречивую систему. В части вузов преподавание высшей математики ограничивается небольшим базовым курсом, объём которого в последние годы постоянно уменьшается. По мнению авторов, в настоящее время во многих вузах объём учебного материала, включённого в рабочие программы дисциплины «Высшая математика», является совершенно недостаточным, поскольку в нём не учтены новые разделы математики, методы которых применяются в современной практике архитектурного проектирования и градостроительства.

Процесс интеграции в образовании и науке как научное понятие появился в конце прошлого столетия, и является ведущей тенденцией последних лет. Целью интеграции в образовании является построение таких взаимосвязей элементов образовательного процесса, которые бы создали его полноту и целостность.

Актуальность появления связанной с понятием интеграции интегративной педагогической деятельности основывается на необходимости формирования личностей с полифоническим мышлением как условия глубокого понимания взаимосвязей в процессах окружающего мира.

Инструментом осуществления интегративно-педагогической деятельности являются интегративно-педагогические технологии, которые базируются на соответствующих концепциях.

Существуют разные подходы к классификации интегративной деятельности в системе образования. Среди основных её видов (форм) можно выделить поиски в области внутрипредметной и межпредметной интеграции с целью оптимизации учебного процесса. Основа такой интегративно-педагогической деятельности базируется на концепциях внутрипредметной (В.И. Загвязинский) и межпредметной интеграции педагогического знания (основоположник Джон Дьюи), интеграции общего и профессионального образования (М.Н. Берулова, Ю.С. Тюнников) и др.

Особенность межпредметной интеграции состоит в том, что она способствует такой организации учебного процесса, при котором взаимодействуют разные учебные дисциплины, причём внутрипредметная интеграция также включена в эту деятельность.

Авторами изучен опыт преподавания высшей математики в родственных вузах. В некоторых из них обучение математическим методам студентов-архитекторов опирается на сохранение образовательных традиций с обновлением некоторых блоков.

Интересен опыт преподавания высшей математики в Уральской государственной архитектурно-художественной академии. Тут осуществлено взаимодействие специалистов разных областей, что позволило решать задачи по анализу архитектурных ситуаций с использованием математических методов. Основным научно-методическим направлением является разработка новых методов преподавания математики и компьютерных дисциплин применительно к образованию архитекторов и дизайнеров (Щелкунова, 2011).

**Целью** данной работы является исследование области взаимодействия математики и нелинейной архитектуры как составляющей системы интегративного обучения (в контексте применения математических методов и моделей, а архитектурно-градостроительной практике). Такая работа является основой для интегративной образовательной деятельности, направленной на реализацию межпредметных связей.

Авторы определяют следующие задачи исследования: 1) изучение опыта преподавания высшей математики студентам архитектурных специальностей в родственных вузах; 2) исследование основных математических методов и моделей, применяемых в современной нелинейной архитектуре; 3) выявление основных принципов фрактального, параметрического и геометрического моделирования (основанных на науках о сложных системах) при создании архитектурных объектов; 4) определение подходов к внедрению в образовательное пространство студентов архитектурных специальностей междисциплинарного принципа обучения (в контексте преподавания математических дисциплин).

## МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В работе использованы следующие методы: сбор, систематизация, классификация и обобщение информации относительно поставленной проблемы, сравнительный анализ разных педагогических подходов, синтез и анализ

результатов собственной педагогической интегративной деятельности; осуществлялось обобщение результатов отечественного и зарубежного опыта.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Авторы на протяжении многих лет занимаются поиском подходов к включению новых математических знаний в систему подготовки специалистов-архитекторов. Решение этой задачи осуществляется путём разработки элективных курсов, предназначенных для магистров и студентов старших курсов. Такие спецкурсы содержат интегрируемые блоки математических, компьютерных и архитектурных знаний.

Особенностью такого подхода является упор на прикладную направленность содержания учебного материала. Помимо математических основ соответствующей теории тематический план спецкурса обязательно содержит основные направления практического применения математических методов в архитектурно-градостроительной практике.

Использование компьютерных технологий в формообразовании привело к понятию цифровой архитектуры, создающей вычислительные архитектурные объекты. Анализ литературы свидетельствует о наличии разных подходов к описанию и систематизации методов компьютерного моделирования в нелинейной архитектуре. Так, выделяют такие широко используемые в современной архитектурной практике методы, как компьютерное параметрическое, фрактальное, алгоритмическое, геометрическое моделирование и их комбинации (Щелкунова & Емец, 2019). Области применения этих методов часто пересекаются, благодаря совпадению принципов, на которых они базируются.

Всё вышесказанное демонстрирует междисциплинарный характер современной архитектурной деятельности. Такое направление требует отражения в образовательном процессе путём создания условий для интегративной деятельности специалистов разных областей.

Метод геометрического моделирования в архитектурно-градостроительной практике позволяет построить геометрический объект по заданным свойствам и характеристикам с использованием компьютерных программ. В современной проектной практике используют множество пакетов прикладных программ (ArchiCAD, AutoCAD, Компас, Лира, MicroFe, ANSYS и другие), однако, заложенные в них алгоритмы порой требуют доработки под индивидуальные параметры. Вместе с тем, применение таких универсальных математических программных продуктов, как Mathematica, Maple, Matlab, Mathcad, может привести к построению множества различных поверхностей с помощью изменения параметров их аналитического задания.

В нелинейной архитектуре важное место занимают алгоритмы образования и трансформации архитектурной формы. Авторы считают необходимым поиск возможности знакомства студентов с математическими основами геометрического моделирования. Речь идёт об аналитических методах и алгоритмах построения математических моделей поверхностей и их развёрток (каркасов, оболочек, сводов и др.). Однако, в соответствии с существующими программами математического образования студентов-архитекторов единственной базой для такого изучения является школьная евклидова и аналитическая геометрии.

По мнению авторов, студентам архитектурных факультетов полезно, интересно и важно предлагать спецкурсы по аналитическим поверхностям, нашедшим применение в современной архитектурно-строительной практике. Изучение разнообразия и свойств таких поверхностей, на наш взгляд, может помочь будущим конструкторам в поисках новых форм в архитектуре. По мнению известного архитектора и инженера Э. Торроха, именно форма, обеспечивающая надёжность сооружения, является критерием его качества.

Существует справочная и энциклопедическая литература по использованию аналитических поверхностей в архитектурно-градостроительной практике (Кривошапко&Иванов, 2010). Авторы издания выделяют большое количество классов и подклассов поверхностей, среди которых в базовом курсе дисциплины «Высшая математика» для архитектурных специальностей рассматриваются только поверхности второго порядка, цилиндрические и поверхности вращения. Совсем не включены в программу важные темы, связанные с моделированием поверхностей вращения с использованием в качестве образующих и направляющих не только простых геометрических образов (прямой линии, дуги окружности, эллипса, параболы, гиперболы), но и других произвольных кривых. А такой подход предоставляет неограниченные возможности в формообразовании (например, куполов и сводов), что способствует достижению архитектурной выразительности конструкций (Гушина, 2016).

За пределами внимания студентов остаются такие распространённые в архитектурной практике поверхности, как цепные, спиральные, поверхности высших порядков. Также не включены в программу математического образования и элементы дифференциальной геометрии, а значит, остаются неизученными локальные свойства геометрических объектов.

Трансформацию поверхностей, заданных аналитически, можно осуществлять с помощью применения как линейных, так и нелинейных преобразований. На рис. 1 приведены образы эллипсоида, полученные в результате преобразований, заданных разными матрицами.

Интересными и полезными являются вопросы моделирования составных конструкций, каждый элемент которой может быть представлен разными аналитическими выражениями (рис. 2). Благодаря возможностям геометрического моделирования осуществляют объединение этих частей с использованием группы аффинных преобразований движения, к которым относятся преобразования поворота и параллельного переноса (Беляева, 2015).

Среди актуальных в архитектурной практике математических знаний можно выделить методы фрактальной геометрии, которые сегодня приобретают всё большее значение в прикладных исследованиях. К основным свойствам фрактальных структур в архитектуре и градостроительстве можно отнести следующие: самоподобие, способность к развитию и непрерывному движению, дробная размерность, проявление хаоса и порядка одновременно.

Следует отметить, что фрактальная геометрия не включена не только в рабочие программы дисциплин математического цикла, но и в образовательные стандарты обучения. А это означает, что будущие конструкторы в процессе обучения в университете не имеют возможности приобретения базовых основ по использованию метода фрактального моделирования в будущей проектной деятельности.

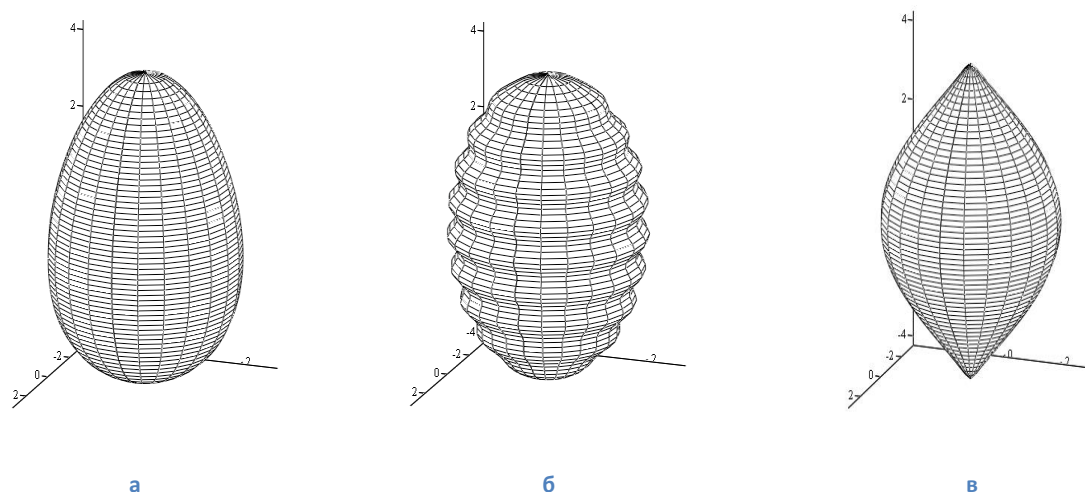


Рис. 1. Трансформации эллипсоида в результате гладких нелинейных преобразований [Беляева, 2015]

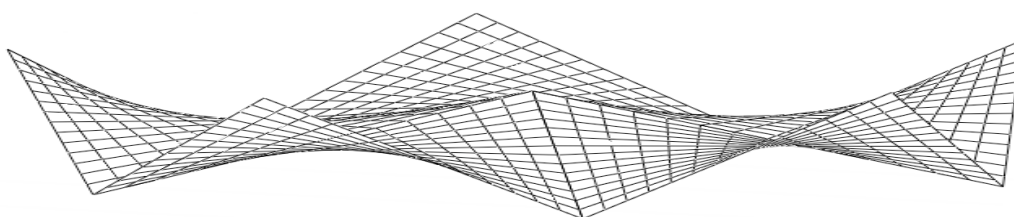


Рис. 2. Составная поверхность из элементов в форме гипаров [Беляева, 2015]

Для устранения такого разрыва между математикой-дисциплиной и математикой-наукой авторы разработали интегрированный спецкурс для студентов старших курсов и магистрантов «Фрактальная геометрия и архитектурное проектирование» (Щелкунова, 2017). Структура и содержание авторской программы спецкурса отражают поиск возможностей приобретения студентами навыков построения фракталов с помощью программных средств. Авторы рассчитывают, что в результате такой работы будущие специалисты приобретут опыт современных видов деятельности и расширят свои возможности в области создания различных математических моделей в архитектурном проектировании.

В программе спецкурса интегрированы блоки знаний из фрактальной геометрии, компьютерной, в частности, фрактальной графики, и практики архитектурного проектирования. Проблема выбора интегративных образовательных форм связана с построением модели установления, прежде всего межпредметных связей. Перспективными представляются, так называемые предшествующие связи, при которых в занятие включается материал, ранее изученный в другой дисциплине и сопутствующие связи, при которых материал из разных дисциплин изучается в одно и то же время.

Особенностью построения интегрированного спецкурса является создание программно-методического обеспечения: интегрированных универсальных сред, пособий, презентаций. Например, для раскрытия темы «Алгоритмы построения фракталов» подготовлены презентации на темы «Построение фракталов с помощью  $L$ -систем», «Построение фракталов на комплексной плоскости», «Построение фракталов с помощью аффинных преобразований». При использовании  $L$ -систем в качестве подсистем вывода используется тертл-графика.

Как уже отмечалось, особое внимание в такой интегративной деятельности уделяется прикладным вопросам. Авторы изучили работы, связанные с анализом применения фрактальных структур в архитектурном проектировании. Так, по мнению доктора архитектуры С.Б. Поморова, существует два пути для применения фрактальных структур в архитектурной проектной практике. Первый путь связан с использованием известных фрактальных моделей, разработанных известными учеными. К таким структурам можно отнести салфетку Серпинского, губку Мегера, множество Кантера, кривую Коха и др. Так, например, фрактальные структуры в форме салфетки и треугольника Серпинского можно обнаружить в реальной проектной практике: работах Нормана Фостера (Hearst Tower), Кендзо Танге (Здание штаб-квартиры Fuji TV на острове Одайба) и других (табл.1).

Современная архитектура зданий и сооружений, основанная на использовании квазифракталов и мультифракталов (определяющихся несколькими алгоритмами), демонстрирует множество разнообразных форм: от природных (каплевидных, волнообразных) до совершенно причудливых.

Второй путь – использование алгоритма природных систем в создаваемом архитектурном проекте. Этот путь требует компьютерного программного обеспечения, во-первых, для обнаружения данного алгоритма в природных объектах с помощью компьютерного анализа, во-вторых, для применения алгоритма в проектировании (Поморов & Альдин, 2014).



Таблиця 1

Архитектурные примеры фрактальных структур (Patrik Schumacher, 2008)

№	Фрактальные структуры	Примеры применения
1	 <p data-bbox="459 510 726 542">Треугольник Серпинского</p>	 <p data-bbox="949 497 1364 555">Хёрст-тауэр (Hearst Tower) – здание, спроектированное Норманом Фостером</p>

Появление математических моделей городов с динамической структурой как сложной самоорганизованной системы (отход от статичных моделей) явилось результатом использования фрактального принципа построения в градостроительстве. Поскольку свойство «самоподобие» в математических моделях реализуется через рекурсивные формулы, то в каждом фрактале в любом масштабе можно воспроизводить неограниченное число аналогичных фрактальных структур (Щелкунова&Емец, 2019). Такой подход в проектировании предполагает наличие междисциплинарной согласованности элементов градостроительной системы.

Принципы фрактальной геометрии создали новые перспективные возможности не только в моделировании городской среды, но и в изучении архитектурных композиций зданий, что особенно ценно в отношении культурного наследия.

Одной из основных характеристик фрактальной геометрии является фрактальная размерность, которая служит мерой структурированности и самоподобия объекта.

Область применения фрактального анализа размерности в современной архитектурной практике и градостроительстве включает исследование памятников архитектуры, что помогает раскрыть специфику их формообразования, выявить новые характеристики, адаптировать опыт зодчества прошлого в современном архитектурном и градостроительном проектировании (что способствует эффективному проведению реставрационных работ) (Schumacher, 2008).

Например, в институте архитектуры и дизайна ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова» проводился фрактальный анализ 17-ти памятников исламской архитектуры, расположенных в разных странах и созданных в разное время (Исмаил Халед., 2013). Впервые был осуществлен фрактальный композиционный анализ памятников средневековой культуры: Тадж-Махал в Индии, мечеть Султана Ахмада в Турции, мечеть Альджумма в Иране, Тилля Кари Медресе в Узбекистане и другие.

В результате исследований была обоснована прямая зависимость высокой степени фрактальности памятников исламской архитектуры и их художественных качеств. Фрактальность выступила одним из важнейших средств раскрытия композиционной согласованности частей зданий, а также единства структур памятника архитектуры и окружающего пространства.

В анализе основных проекций Тадж-Махала фрактальная размерность плана города, ландшафтного плана, фасада, разреза и орнамента высокая и описывается следующим математическим отношением  $1 < D < 2$ . В результате комплексного фрактального анализа Тадж-Махала выявилась высокая степень фрактального согласования на градостроительном и на архитектурном уровнях. По мнению авторов, это дает одно из возможных объяснений целостности, единства, высокой художественной выразительности ансамбля Тадж-Махал (Исмаил Халед, 2013).

С помощью методов фрактальной геометрии также возможна оценка и прогнозирование планировочных структур на городском и агломерационном уровнях. Такой подход позволяет учесть разнообразие и сложность факторов, влияющих на геометрию пространственных явлений, в отличие от моделей городской планировки, базирующихся на законах евклидовой геометрии. Фрактальный анализ помогает в проектировании транспортных сетей, системы размещения плотностей населения, общегородских подцентров, мест приложения труда и др. (Гущина, 2016). Такой подход призван максимизировать синергетический эффект от взаимодействия частей городской агломерации.

Метод параметрического моделирования уже достаточно давно получил широкое распространение в архитектурной практике. Связано это со значительно большими возможностями, возникающими в процессе такого подхода в проектировании, по сравнению с традиционными методами. Параметрическое моделирование предполагает проектирование на основании алгоритма самоорганизации формы, учитывающего параметры элементов модели и их соотношений. С помощью варьирования параметров можно достаточно быстро получать множество различных конструктивных решений.

Основой современного параметрического моделирования являются BIM технологии. BIM (Building Information Modeling) – это информационное моделирование здания, особенностью которого является то, что объект проектируется фактически как единое целое. Причём моделируемые сложные поверхности базируются на математических моделях, включающих параметрические уравнения.

Среди основных приёмов параметрического метода выделяют создание сетки. Эту сетку создают через оставляющие её точки с возможностью дальнейшей трансформации различными способами (вытяжение, вдавливание, изгибание) и при этом любое выполненное действие параметризуют. Для таких приёмов существует технология MESH, заложенная во многих программных пакетах, в которой через категорию сетей генерируется любая форма. К таким

программным средам относятся Corel Draw, Grasshopper, CATIA, 3D Max. В них любую форму можно преобразовать в таких инструментах как Editable Mesh (Редактируемая поверхность), Creation Mesh (Создание поверхности) и менять форму, изменяя координаты и свойства каждой точки поверхности. Также генерацию сложных форм в параметрическом методе можно осуществлять на основе использования неоднородных рациональных B-сплайнов (NURBS) и на основе порций поверхностей Безье (Editable Patch) (Волынский, 2012).

Следует отметить, что в нелинейной архитектуре концепции параметрического проектирования приобретает всё большее распространение и могут пересекаться с фрактальным проектированием.

#### ОБСУЖДЕНИЕ

Предложенный в данной работе подход по сокращению разрыва между математикой-наукой и математической дисциплиной в процессе обучения студентов-архитекторов требует совместных усилий специалистов нескольких областей, а также согласования на разных уровнях.

Процесс создания и внедрения любого нового образовательного курса требует долгих и кропотливых усилий. Кроме разработки тематического плана и методического обеспечения дисциплины, возникает проблема поиска возможностей включения нового курса в учебный процесс.

Авторы, в качестве одного из возможных направлений внедрения новых знаний в образовательный процесс студентов архитектурных специальностей, предлагают работу в рамках студенческого научного общества. И опыт такой деятельности демонстрирует положительный результат. Студенты, впервые ознакомившись с принципами фрактальной геометрии, говорят о том, что это новое знание меняет всё их представление о мире. Также, по мнению авторов, такую работу целесообразно проводить и на старших курсах.

Авторы считают, что давно назрела необходимость пересмотра содержания образовательных программ для студентов специальности «Архитектура и градостроительство».

#### ВЫВОДЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕГО ИССЛЕДОВАНИЯ

1. Обоснована необходимость устранения разрыва между математикой-дисциплиной и математикой-наукой в контексте существующего несоответствия содержания математического образования студентов архитектурно-градостроительной специальности требованиям современного проектирования.

2. Указано на междисциплинарный характер нелинейной архитектуры, принципы и правила которой базируются на математических методах и моделях, приобретающих всё большую значимость в процессе проектирования. Всё это обосновывает необходимость создания условий для получения студентами междисциплинарных знаний путём внедрения интегрированных технологий.

3. Определена область основных математических методов и моделей, применяемых в современной нелинейной архитектуре, выявлены основные принципы фрактального, геометрического и параметрического моделирования архитектурных объектов.

4. Указано на ограниченный характер присутствия современных математических знаний в существующих образовательных программах и исследованы возможности внедрения этих знаний в образовательный процесс.

5. Предложены подходы, направленные на приобретение будущими проектировщиками междисциплинарных знаний путём организации научной работы в рамках студенческих научных обществ, а также внедрения спецкурсов прикладной направленности на основе интегративных технологий.

Следует отметить, что любой новый курс должен образовывать целостную педагогическую систему. Предложенная в статье концепция по созданию спецкурсов предполагает пересмотр подходов к отбору, расположению учебного материала, а также выбора стиля преподавания, что, в первую очередь, связано с прикладной направленностью таких курсов.

С учётом современных тенденций, связанных с усилением междисциплинарного характера образовательного процесса, для органичного «вплетения» математического знания в учебное проектирование необходимы совместные усилия математиков, архитекторов и IT-специалистов.

#### Список использованных источников

1. Беляева З.В. Геометрическое моделирование пространственных конструкций: дисс. ... канд. техн. наук: 05.13.18 / УрФУ имени первого президента России Б.Н. Ельцина. Екатеринбург, 2015. 175 с.
2. Волынский Э.В. Информационно-технологические методы проектирования в архитектурном формообразовании: автореф. дисс. ... канд. арх.: 05.23.20/ МАрХИ. Москва, 2012. 25 с.
3. Гущина Е.С., Смогунов В.В. Фрактальная размерность в оценке планировочной структуры крупного города/ *Современные научные исследования и инновации*, 2016. № 2. С. 110- 116.
4. Кривошапко С.Н., Иванов В.Н. *Энциклопедия аналитических поверхностей*. Москва: Книжный дом "ЛИБРОКОМ", 2010. 556 с.
5. Поморов С.Б., Исмаил Халед Д. Альдин. Терминология нелинейной архитектуры и аспекты её применения. Вестник ТГАСУ. Томск, 2014. № 3. 78-87 с.
6. Patrik Schumacher. Parametricism - A New Global Style for Architecture and Urban Design. AD Architectural Design - Digital Cities. 2009. Vol. 79. №4. P. 14-23.
7. Исмаил Х.Д.А. Фрактальные построения в композиции архитектурных объектов (на примере памятников исламской архитектуры): дисс. ... канд. арх.: 05.23.20/Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова. Барнаул, 2013. 202 с.
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. 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.
10. Щелкунова Л.И., Емец М.С. Фрактальный анализ динамики международных прибытий в туризме / *Бизнес Информ*. 2019. №1. С. 178-183.

#### References

1. Beljaeva, Z.V. (2015). Geometricheskoe modelirovanie prostranstvennykh konstrukcij [Geometric modeling of spatial structures]. Candidate's thesis. Yekaterinburg: UrFU named after the first president of Russia B. N. Yeltsin [in Russian].
2. Volynskov, Je.V. (2012). Informacionno-tehnologicheskie metody proektirovanija v arhitekturnom formoobrazovanii [Information and technological design methods in architectural shaping]. Extended abstract of candidate's thesis. Moscow: Moscow Architectural Institute [in Russian].
3. Gushhina, E.S. & Smogunov, V.V. (2016). Fraktal'naja razmernost' v ocenke planirovochnoj struktury krupnogo goroda [Fractal dimension in assessing the planning structure of a large city]. *Sovremennye nauchnye issledovanija i innovacii – Modern research and innovation*, 2, 110-116 [in Russian].
4. Krivoshapko, S.N. & Ivanov, V.N. (2010). Jenciklopedija analiticheskikh poverhnostej [Encyclopedia of analytical surfaces]. Moskva: Knizhnyj dom "LIBROKOM"[in Russian].
5. Pomorov, S.B. & Ismail Haled, D. A. (2014). Terminologija nelinejnoj arhitektury i aspekty ejo primenenija [Terminology of nonlinear architecture and aspects of its application]. *Vestnik TGASU – Bulletin TGASU*, 3, 78-87 [in Russian].
6. Patrik Schumacher (2008). Parametricism - A New Global Style for Architecture and Urban Design. *AD Architectural Design - Digital Cities*. Vol 79. №4, 14-23 [in English].
7. Ismail Haled, D. A. (2013). Fraktal'nye postroeniija v kompozicii arhitekturnyh ob'ektov (na primere pamjatnikov islamskoj arhitektury) [Fractal structures in the composition of architectural objects (on the example of monuments of Islamic architecture)]. Candidate's thesis. Barnaul: Altajskij gosudarstvennyj tehničeskij universitet im. I.I. Polzunova – Altai State Technical University named after I.I. Polzunova [in Russian].
8. Shchelkunova, L.I. & Shulhina, S.S. (2011). Pro pidhodi do vdoskonalennja zmistu navchal'noï 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].
10. 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].
11. Shchelkunova, L.I. & Yemets, M.S. (2019). Fraktal'nyj analiz dinamiki mezhdunarodnyh pribytij v turizme [Fractal analysis of the dynamics of international arrivals in tourism]. *Biznes Inform – Business Inform*, 1, 178-183 [in Russian].

#### MATHEMATICAL METHODS AND NONLINEAR ARCHITECTURE IN THE SYSTEM OF INTEGRATIVE LEARNING

Lyubov Shchelkunova, Mariia Yemets

Kharkiv National University of Construction and Architecture,

Odessa National Academy of Food Technologies

**Abstract.** The article raised the issue of interdisciplinarity of the knowledge space of nonlinear architecture, among which mathematical methods and models are highlighted. The approaches to the inclusion of modern mathematical knowledge in the educational process through the introduction of integrative technologies are proposed.

**Formulation of the problem.** The work is aimed at eliminating the contradictions associated with the mismatch of the content of the mathematical education of students of architectural specialties with the requirements of modern architectural design.

**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 own pedagogical integrative activity.

**Results.** The article substantiates that nonlinear architecture is interdisciplinary in nature and in this space one of the leading roles is played by mathematical methods and models. Among the main methods, the methods of fractal, geometric and parametric modeling are highlighted, and it is indicated that in many cases their fields of application intersect. This nature of architectural activity justifies the need to create conditions for students to acquire interdisciplinary knowledge that meets the requirements of modern design. Authors propose to solve this problem on the basis of integrated technologies by developing and implementing special courses of applied orientation. The experience of such work indicates the necessity of combining the efforts of mathematicians, architects and IT specialists. As an alternative way to solve the problem, it is proposed to work within the framework of the student scientific society, and it is indicated that the experience of such activities demonstrates a positive result.

**Conclusions.** The introduction of integrative forms of learning contributes to the acquisition of interdisciplinary knowledge, which helps to optimize the educational process.

**Keywords:** nonlinear architecture, fractal modeling, parametric modeling, geometric modeling, integrated learning.