DOI: 10.25198/1814-6457-247-84
УДК 378; 531

Дырдина Е.В.
Оренбургский государственный университет, г. Оренбург, Россия
E-mail: dyrdinaev@mail.osu.ru

ПОТЕНЦИАЛ ГРАФИЧЕСКИХ МЕТОДОВ РАСЧЕТА КОНСТРУКЦИЙ В РАЗВИТИИ ИНЖЕНЕРНОЙ ИНТУИЦИИ У БУДУЩИХ АРХИТЕКТОРОВ И СТРОИТЕЛЕЙ

Формирование инженерного мышления является ключевой задачей в изучении теоретической и строительной механики. Графические методы расчета конструкций влияют на развитие инженерной интуиции у студентов архитектурных и строительных направлений подготовки. Методы графической статики, такие как построение силовых и веревочных многоугольников, способствуют развитию интуитивного понимания распределения сил, навыков критической проверки цифровых расчетов и развития «чувства конструкции» через ее геометрию. При этом для их использования не требуется глубокой математической подготовки и специальных инструментов. При преподавании механики мы сталкиваемся с проблемой растущей роли численного моделирования в строительном проектировании. Высоки риски «слепого» доверия результатам программных комплексов без понимания базовых принципов. Целью исследования было обоснование преимуществ использования графических методов в формировании и развитии инженерной интуиции у студентов архитектурных и строительных направлений подготовки. Предлагаются шесть дидактических приемов, направленных на развитие инженерной интуиции, включая связь теории с практикой, использование эвристических методов, компьютерные инструменты и их критику, развитие пространственного мышления, проблемное обучение и изучение исторического контекста. В педагогическом эксперименте приняло участие 138 студентов архитектурных направлений подготовки. Его результаты показывают, что использование графических методов значительно улучшает понимание принципов работы конструкций и повышает интерес к курсу. Таким образом, графические методы не утратили своей актуальности и могут эффективно сочетаться с современными численными методами при подготовке будущих архитекторов и инженеров.

Ключевые слова: инженерное мышление, инженерная интуиция, методика преподавания теоретической и строительной механики, методы графической статики.

Dyrdina E.V.
Orenburg state university, Orenburg, Russia
E-mail: dyrdinaev@mail.osu.ru

THE POTENTIAL OF STRUCTURAL CALCULATION GRAPHICAL METHODS IN THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING INTUITION IN FUTURE ARCHITECTS AND BUILDERS

Formation of engineering thinking is a key moment in studying theoretical and construction mechanics. Visual methods of calculation of structures for development of engineering intuition in students of architectural and construction works. Methods of graphical statics, such as construction of force and rope polygons, provide development of understanding of distribution of force, skills of critical checking of digital calculations and development of "sensory constructions" through its geometry. At the same time, their use does not require deep mathematical training and special tools. When teaching mechanics, we are faced with the problem of growing roller model in construction design. Risks of "blind" trust in results of software packages without understanding of basic solutions are high. The purpose of the study was to substantiate advantages of using graphical methods in the near future and development of engineering science among students of architectural and construction organizations. Six didactic techniques aimed at development of engineering theory are proposed, including connection of theories with historical, use of heuristic methods, computer tools and their criticism, development of spatial thinking, problem-based learning and study of historical context. The pedagogical experiment involved 138 students of architectural training. Its results show that the use of graphic methods significantly improves the understanding of the work of structures and increases interest in the course. Thus, graphic methods have not lost their relevance and can effectively compete with the modern listed methods in the training of future architects and engineers.

Keywords: engineering thinking, engineering intuition, methods of teaching theoretical and construction mechanics, methods of graphic statics.

Целью данной статьи является обоснование преимуществ использования графических методов в формировании и развитии инженерной интуиции у студентов архитектурных и строительных направлений подготовки. Описывается опыт использования графических методов в рамках преподавания дисциплин «Теоретическая механика» и «Строительная механика». Названые дисциплины изучаются на младших курсах и являются базовыми для формирования профессиональных компетенции будущих архитекторов и инженеров-строителей. В настоящее время преподавание в вузе теоретической и строительной механики сталкивается с определенными вызовами. К ним относятся:

– растущая роль численного моделирования в строительном проектировании;

– риски «слепого» доверия результатам программных комплексов без понимания базовых принципов;

– необходимость развития инженерной интуиции и критического мышления у будущих специалистов;

– дефицит часов (катастрофически малое количество часов, отводимых в учебных планах архитектурных и строительных направлений подготовки на изучение механики).

Научно-методическим аспектам преподавания теоретической и строительной механики в вузах посвящено достаточно большое количество публикаций. Большая часть из них посвящена использованию современных информационно-коммуникационных технологий в обучении механике. Так, например, в работах [1]–[5] рассматриваются проблемы, посвященные разработке электронных обучающих курсов по механике, а также моделей обучения, сочетающих традиционное обучение «лицом к лицу» и технологии электронного обучения. Своим опытом разработки такой модели автор данной статьи делился в работе [6].

В данной статье, хотелось бы заострить внимание на том, что какие бы технологии: педагогические и информационно-коммуникационные, мы не использовали, одной из важнейших целей преподавания теоретической и строительной механики является формирование и развитие инженерной интуиции и критического мышления у будущих специалистов.

Интуиция здесь понимается, как способность быстро оценивать, прогнозировать и принимать решения на основе фундаментальных знаний и опыта.

Поиск дидактических приемов, способствующих развитию инженерной интуиции и критического мышления, также активно обсуждается в педагогическом сообществе. Некоторые оригинальные идеи на этот счет сформулированы в работах [7]–[15].

Анализ публикаций позволил выделить 6 основных приемов формирования инженерной интуиции и критического мышления в рамках преподавания механики.

Связь теории и практики. Этот прием основан на использовании реальных конструкций (мосты, здания, механизмы) для объяснения абстрактных понятий. Понять важность расчетов и границ применимости теорий помогает также разбор аварий и ошибок (например, обрушений мостов, зданий и сооружений). Физическое моделирование – эксперименты с моделями (равновесие висячего моста, устойчивость арок из мелкоразмерных элементов) развивают «чувство» поведения конструкций.

2. Эвристические методы и упрощения. К ним относятся формирование таких навыков, как «оценка порядков величин» – умение прикидывать нагрузки, напряжения, деформации «на пальцах» до того, как будут выполнены вычисления. Полезно также использовать «принцип «что будет, если…»» (например, как изменится прогиб балки при увеличении ее длины (или других геометрических и силовых параметров) в 2 раза?). Помогают интуитивно понимать сложные явления различные физические аналогии (например, сравнение распределения внутренних усилий с потоком жидкости).

3. Компьютерные инструменты и их критика. Совмещение расчетов в программных комплексах (SCAD, LIRA) и визуализации полученных результатов позволяет студентам увидеть поля напряжений, формы потери устойчивости. В тоже время, необходимо формировать понимание, что компьютерная программа лишь инструмент и «слепое доверие к ПО» – порочная практика. Ставя задачу компьютерной программе, инженер должен предвидеть результаты

4. Развитие пространственного мышления. Использование графических методов расчета

(построение веревочных многоульников, диаграмм Максвелла-Кремоны, линий влияния, эпюр внутренних силовых факторов) тренируют умение «видеть» распределение внутренних сил в элементах конструкций. Создание и анализ конструкций в CAD-системах («3D-моделирование») позволяет лучше понимать работу пространственных конструкций.

5. Проблемное обучение и кейсы. Эти педагогические технологии стимулируют поиск неочевидных решений. (Например, «открытые задачи» – «как усилить балку без увеличения веса?», «проектный подход» – от идеи до расчета конструкции, с обсуждением альтернатив.)

6. Исторический контекст. Изучение теоретической и строительной механики как «эволюции инженерной мысли» при проектировании и строительстве большепролетных сооружений в зависимости от доступных в определенную эпоху строительных материалов (от римских арочных мостов до современных вантовых систем) повышает осознанность и вовлеченность студентов.

Резюмируя выше сказанное, делаем вывод, что инженерная интуиция – это синтез знаний, опыта и творчества. Для ее формирования в преподавании важно обеспечить:

– глубокое понимание основ механики конструкций (без этого интуиция превращается в догадки),

– практическую проверку теоретических расчетов,

– формирование критического мышления – умения сомневаться в результатах и искать альтернативы.

По нашему мнению, большой потенциал для решения этих дидактических задач имеют графические методы.

Графические методы расчёта в механике – это способы решения инженерных задач, где основные зависимости между параметрами (усилия, напряжения, деформации, геометрия) выражаются не аналитическими формулами, а через геометрические построения: чертежи, диаграммы, эпюры, векторные планы.

Частным случаем графических методов в механике являются методы графической статики. Это раздел графических методов, специально разработанный для определения усилий в статически определимых системах (балки, фермы, арки) путём построения силовых и веревочных многоугольников (замкнутых векторных диаграмм). Истоки этих методов можно найти в инженерных изысканиях Леонардо да Винчи, Галилео Галилея и математика Симона Стевина, который первым представил силу как вектор и правильно интерпретировал параллелограмм сил (около 1600 года). . Графическое представление распределения сил с помощью геометрических схем конструкций, выполненных в масштабе, и диаграммы сил развивалось в течение последующих столетий, и его усовершенствованный вид был представлен Дж. К. Максвеллом (1864), К. Кульманном (1866), Л. Кремоной (1872) и Х. Боу (1873). С именами этих ученых связаны основные термины графической статики: «диаграмма Максвелла-Кремоны», «обозначения по Боу».

Основной принцип графической статики заключается в том, чтобы связать геометрию конструкции, представленную расчетной схемой, с графическим представлением ее внутренних сил, называемым диаграммой сил. Благодаря этому можно легко объяснить связь между геометрической формой конструкции и распределением внутренних сил (сжатия и растяжения) в ее элементах. Для использование методов графической статики не требуется ни глубоких математических знаний, ни специализированных инструментов. Нужно только умение составлять графические диаграммы. Эти факты делают их весьма привлекательными для студентнов архитектурных направлений подготовки, которые обладают значительными навыками рисования, визуального мышления, и при этом их математическая подготовка оставляет желать лучшего. Даже среди профессиональных инженеров-строителей, которые проектируют и проверяют конструкции с использованием методов конечных элементов, графическая статика служит инструментом для оценки напряженного состояния конструкции в первом приближении.

Базовые положения графической статики заключаются в следующем:

– уравнения равновесия ($\Sigma F=0$, $\Sigma M=0$) заменяются построением замкнутых силовых треугольников или многоугольников;

– между «силовым многоугольником» (абстрактные векторные диаграммы) и «веревоч-

ным многоугольником» (реальная геометрия конструкции) существует взаимно однозначное соответствие.

Вплоть до середины 20 века значительная часть статических расчетов конструкций зданий и сооружений выполнялась с использованием методов графической статики, поэтому они широко использовались в инженерно-техническом и, особенно, в архитектурном образовании вплоть до 1980-х годов.

Классическими примерами использования методов графической статики являются:

– определение реакций опор – через построение силового треугольника;

– расчет гибких нитей: определение формы нити под действием сосредоточенных сил и усилий в сегментах нити между точками приложения сил – через построение веревочного многоугольника;

– анализ арок – использование веревочного многоугольника для нахождения линии давления

– расчёт ферм – метод Максвелла-Кремоны (построение диаграммы усилий).

Нетрудно заметить, что перечисленные темы являются ключевыми в курсах теоретической и строительной механики. Однако, к сожалению, изложение методов графической статики в части расчета висячих систем, арочных конструкций и ферм практически отсутствует в современной отечественной учебной литературе по теоретической и строительной механике. В последние десятилетия 20 века начался период активного использования ЭВМ для инженерного анализа и проектирования. Соответствующие методы расчета конструкций стали частью образовательных программ по механике, практически вытеснив графические подходы к исследованию механического поведения конструкций. Визуализацию и анализ стало быстрее и точнее выполнять с помощью систем автоматизированного проектирования (САПР) и вычислительных комплексов на основе метода конечных элементов (САЕ-систем). Кроме того, с помощью САПР и САЕ-систем можно решать более широкий спектр задач, в том числе в трехмерной (пространственной) постановке. Соответственно, в преподавании строительной механики предпочтение отдается аналитическим и численным методам расчета, как наиболее востребованным в современную компьютерную эпоху. Учитывая тенденцию сокращения часов, отводимых на изучение указанных дисциплин в учебных планах, на рассмотрение графических методов расчета не остается ни времени на лекциях, ни места в учебниках. Это приводит не только к утере большого пласта знаний по расчету конструкций в докомпьютерную эру, но лишает современных студентов эффективного инструмента визуального мышления. За целесообразность возвращения разделов графической статики в качестве модулей в традиционные курсы статики для студентов архитектурно-строительных направлений подготовки ратуют авторы статей [16]–[17]. Учебник «Введение в функционирование строительных конструкций» от архитектурной школы в Швейцарской Лозанне полностью опирается на использование методов графической статики [18]. С большим энтузиазмом приведено современное изложение этих методов, включая большое количество примеров и задач, в книге Эдмонда Саликлиса «Конструкции. Геометрический подход. Графическая статика и анализ», изданной в 2019 году [19] (Department of Architectural Engineering California Polytechnic State University San Luis Obispo, CA, USA)

Автором данной статьи подготовлено и издано учебное пособие и разработан авторский курс, в котором значительное место уделено изложению графических методов расчета [21]. Разумеется, автор ни в коей мере не противопоставляет эти методы современным способам численного моделирования напряженного состояния конструкций, но считает включение их образовательный процесс значительно повысит его эффективность. Была выдвинута гипотеза, что использование графических методов обладает значительным потенциалом в формировании и развитии инженерной интуиции.

Далее приведем несколько конкретных задач и кейсов, которые показывают, что методы графической статики не только упрощают расчеты, но и прокачивают инженерную интуицию.

Пример 1. На рисунке 1 показано как графическим способом определить усилия в ветвях гибкой нити под действием одной сосредоточенной силы, приложенной в центре пролета. Строятся замкнутые силовые треугольники для

узлов C, A и B, наглядно показывающая величину и направление усилий в каждом сегменте троса и реакций опор. Это позволяет сразу оценить максимальное натяжение в сегментах нити и его горизонтальную составляющую реакций опор A и B (распор). Яркую визуализацию зависимости этих величин от величины провиса получаем, выполнив построения векторных диаграмм для разных значений провиса.

Студенты, используя показанный фрагмент теоретического материала, не испытывают затруднений при ответе на вопросы:

В каком варианте расчетной схемы горизонтальная составляющая реакции опор (распор) будет самой большой? (расстояние между опорами и значение силы Q одинаковы во всех вариантах).

Как изменятся усилия в ветвях нити при увеличении нагрузки вдвое.

Пример 2. На рисунке 2 показано как графическим способом определить форму, которую примет нить под действием системы сосредоточенных сил, а также усилия в ветвях гибкой нити между точками приложения сил.

Для троса с сосредоточенными нагрузками (например, точки подвеса покрытия): Строится диаграмма, наглядно показывающая величину и направление усилий в каждом сегменте троса и реакций опор. Это позволяет сразу оценить максимальное натяжение (обычно у опор) и его горизонтальную составляющую (распор). На основе полученной диаграммы сил на расчетной схеме строится многоугольник, соответствующий форме, которую примет нить под действием приложенных сил (веревочный многоугольник).

Заметим, что проектирование висячих конструкций, механическое поведение которых под нагрузкой чаще всего моделируются гибкими нитями (пример 2), традиционно требует применения сложных программных комплексов, основанных на методах конечных элементов (МКЭ) и нелинейном анализе (учет геометрической нелинейности из-за изменения формы троса под

Рисунок 1 – Гибкая нить, свободно висящая в поле сил тяжести под действием одной сосредоточенной силы (слайд из презентации к лекции)

нагрузкой). Это создает серьезный барьер для проектировщиков на ранних, концептуальных этапах проектирования, когда необходимо быстро проанализировать несколько вариантов форм, оценить принципиальную работоспособность и приблизительные значения усилий. Загрузка данных в сложные САПР на этом этапе часто избыточна и отнимает время.

При этом понимание базовых принципов статики висячих систем остается критически важным. Без него архитектор рискует:

– предложить принципиально неработоспособные или крайне неэффективные формы на этапе эскиза;

– некорректно интерпретировать результаты компьютерного моделирования;

– упустить возможности для оптимизации и создания выразительной конструкции.

Еще одним примером, когда использование графических методов расчета является весьма эффективным является анализ работы арочных конструкций.

На рисунке 3 представлен фрагмент студенческой работы, в котором приведено решение следующей задачи.

Пример 3. Арочный мост

– постройте рациональную форму арочного моста (многоугольник давления), полагая, что эта линия должна проходить через точки A, C и B. Значения и направление заданной постоянной нагрузки показаны на рисунке;

– определите максимальные и минимальные значенияусилий, возникающих в сегментах арки;

– определите реакции опор: вертикальные и горизонтальные составляющие.

Глядя на это решение, отмечаем его компактность, высокую наглядность. Кроме того, студент, выполнивший пару таких упражнений, интуитивно понимает, что чем «круче» арка (чем больше стрела подъема), тем меньше распор – это видно по углам наклона лучей на диаграмме сил.

На рисунке 4 представлен фрагмент студенческой работы, выполненной в соответствии со следующим заданием.

Пример 4. Для плоских ферм, схемы которых представлены в задании:

– изобразить ферму в выбранном масштабе. Обозначить действующие на нее силы.

Расчетная схема конструкции

Диаграмма сил

Рисунок 2 – Равновесие гибкой нерастяжимой нити под действием двух вертикальных сосредоточенных сил (слайд из презентации к лекции)

– определить реакции опор.

– построить диаграмму Максвелла-Кремоны, определить усилия в стержнях фермы;

– еще раз нарисовать схему ферму, нанеся на нее полученные результаты: растянутые стержни изобразить красным цветом, сжатые – синим; при этом толщина линий должна быть пропорциональна усилию, возникающему в стержне (чем больше значение усилия, тем толще линия),

– решив каждую задачу, ответьте на вопросы: в каких элементах фермы возникают наибольшие растягивающие усилия; в каких элементах – наибольшие сжимающие; какие усилия возникают в раскосах ферм. Сравните полученные результаты для разных условий.

Особо обращаю внимание на последние два пункта задания. Их дидактическая ценность состоит в том, что они направлены на рефлексию, заостряют внимание студентов на анализе полученных результатов, тренируют навык формулировать выводы, используя профессиональную лексику. Как показывает опыт использования заданий такого типа, именно эти пункты вызывают наибольшие затруднения. Что касается конкретного задания, решение которого приведено на рисунке 4, студент должен увидеть, что при таком закреплении фермы (один конец – шарнино-неподвижная опора, другой – шарнирно-подвижная) верхний пояс фермы сжат, стержни нижнего пояса – растянуты; при заданной нагрузке наибольшие усилия по абсолютному значению возникают в стержнях, примыкающих к левой опоре. Сравнив решения для трех ферм разной высоты, когда все другие параметры остаются неизменными, студент должен сделать вывод, что, чем выше ферма, меньше значения усилий, возникающие в ее стержнях.

После решения 2–3 таких задач студент начинает предсказывать знаки усилий в стержнях без расчетов!

Приведенные выше и аналогичные им, примеры использования графических методов для анализа работы конструкций, начиная с 2020 года, были включены в курсы «Теоретическая механика» и «Строительная механика», которые преподаются автором статьи студентам архитектурных направлений подготовки (07.03.01 Архитектура (бак.) и 07.03.03 Дизайн архитектурной среды (бак.)) в Оренбургском государственном университете. В общей сложности в этом многолетнем эксперименте приняло участие 138 студентов (пять потоков). Напомним, что одной из задач эксперимента являлось повышение инженерной интуиции,

Рисунок 3 – Определение рациональной формы арочного моста (фрагмент студенческой работы)

Рисунок 4 – Определение реакций опор и усилий в стержнях плоской фермы графическим способом (фрагмент студенческой работы)

за счет более глубокого понимания базовых принципов работы конструкций. Для выполнения поставленной задачи были использованы такие общепедагогические методы исследования, как: наблюдение, изучение опыта, сбор материала, анализ, систематизация, сравнение и обобщение. В момент завершения изучения курса студентам предлагалось заполнить анкету, ответив на несколько вопросов: Каковы ваши главные результаты? Что вы поняли? Чему научились? Какие задания вызвали наибольший интерес и почему? С какими трудностями вы столкнулись и как вы их преодолевали? Каковы замечания и предложения на будущее (себе, преподавателю)? Меня раздражало....

Основная цель анкетирования состояла в организации процесса рефлексии: заставить студентов поразмышлять о своем собственном обучении, опыте и действиях в процессе изучения дисциплины. С точки зрения преподавателя, результаты анкеты должны были ответить на два основных вопроса:

1. Облегчило ли использование графических методов понимание принципов работы конструкций?

2. Влияет ли использование графических методов на качество преподавания и интерес к курсу?

Анализ анкет, показал, что на оба эти вопроса можно ответить положительно.

В качестве иллюстрации процетируем несколько типичных студенческих ответов на вопрос: Какие задания вызвали наибольший интерес?

«Больший интерес вызвали задания требующие графического решения», «У меня интерес вызвало тема связанная с фермами, так как это очень интересно и легко в изучении», «Наибольший интерес у меня вызвала тема «Расчет гибких нитей», потому что было легко, понятно и интересно», «Любимая тема «Арки»», «Этот курс дал мне глубокое понимание того, «как это работает», и пробудил ещё больший интерес к инженерному делу. Возможность разобраться в механике ферм и арок была особенно увлекательной». (Заметим, эти ответы дали студенты-будущие архитекторы, которые на входе вообще не понимали, зачем им изучать теоретическую механику).

Таким образом, результаты проведенного педагогического эксперимента показали, что использование методов графический статики в преподавании механики для студентов-архитекторов дает положительные результаты и имеет значительный потенциал для развития инженерной интуиции, поскольку:

– развивает пространственное мышление – визуализация сил помогает «ощутить» их распределение;

– учит видеть аналогии и различия между разными типами конструкций (например, арка – зеркальное отражение нити, висячие конструкции и арки создают распор, а арка с затяжкой и ферма –конструкции безраспорные).

– даёт «контрольный инструмент» для проверки цифровых расчётов (например, с помощью онлайн-калькулятора).

Резюмируя выше сказанное, подчеркнем, что использование графических методов для предварительного исследования поведения конструкций под действием заданной нагрузки, может

– помочь студентам лучше понять работу конструкций: видеть какие элементы конструкций работают на сжатие, какие – на растяжение, в каких частях конструкций возникают максимальные внутренние усилия;

– получить значения ключевых параметров в первом приближении (оценить порядок искомых величин).

Имея эти данные, проектировщик может

– с одной стороны, принять обоснованные решения на первом этапе проектирования конструкции – рождении архитектурной идеи;

– с другой стороны, сравнить результаты численного моделирования конструкций в программных комплексах с полученными предварительными расчетами, выявить возможные ошибки (которые могут возникнуть из-за некорректного ввода исходных данных, неверного выбора расчетной схемы и тому подобное).

Сказанное позволяет сделать вывод, что графические методы расчета не потеряли своей актуальности и имеют значительный потенциал в развитии инженерной интуиции и критического мышления студентов. Сочетание графических методов с современными технологиями численного моделирования в рамках преподавания теоретической и строительной механики позволит сделать процесс подготовки будущих архитекторов и инженеров-строителей более эффективным.

30.06.2025

Список литературы:
1. Машкин А.Л. Некоторые вопросы разработки электронных обучающих курсов по механике / А.Л. Машкин, В.М. Борисов, Ю.В. Борисов // Педагогика,психология, общество: от теории к практике: материалы II Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. – Чебоксары,2023. – С. 76–79. – EDN NTNKW
2. Мущанов, В.Ф. О методике преподавания теоретической механики в строительном вузе / В.Ф. Мущанов, С.А. Фоменко // Техническая эксплуатация водного транспорта: проблемы и пути развития. – 2022. – №V. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/o-metodike-prepodavaniya-teoreticheskoy-mehaniki-v-stroitelnom-vuze (дата обращения: 25.06.2025).
3. Ponomareva, Ye.V. Development of theoretical and methodological approaches in the study of theoretical mechanics by students of civil engineering / Ye.V. Ponomareva, O.A. Khokhlova, K.V. Kulemina, A.V. Sinelshchikov // Инженерно-строительный вестник Прикаспия: научно-технический журнал. – Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань :ГАОУ АО ВО «АГАСУ», 2022. – № 4 (42). – С. 46–54.
4. X. Lei, Исследование практики и опыта преподавания теоретической механики на основе МООС / X. Lei // 2-я Международная конференция по искусственному интеллекту и образованию (ICAIE). – Дали, Китай, 2021. – С. 380-383. – DOI: 10.1109/ICAIE53562.2021.00086.
5. Чжифан Тянь Новая модель преподавания курса строительной механики для студентов-строителей в информационную эпоху / Чжифан Тянь // ICISCAE 2021: 4-я Международная конференция по информационным системам и компьютерному образованию 2021 года, Юньяньский университет технологий и бизнеса, Китай. – Китай, 2021. – С. 1486–1490.
6. Дырдина, Е.В. Модель смешанного обучения в преподавании механики будущим архитекторам / Е.В. Дырдина // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2024. – № 3 (243). – С. 93-102.
7. Белоновская, И.Д. Эвристические подходы в решении машиностроительных задач будущими технологами и конструкторами / И. Д. Белоновская, С. Д. Петрова, В. В. Кузнецов // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2023. – № 2(238). – С. 71-77. – DOI 10.25198/1814-6457-238-71. – EDN KPRCIS.
8. Хандримайлов, А.А. Исследование организационно-технологических рисков и ресурсов активизации проектной деятельности будущего инженера / А. А. Хандримайлов, И. Д. Белоновская, В. К. Воробьев, М. О. Журавлева // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2023. – № 2(238). – С. 115-120. – DOI 10.25198/1814-6457-238-115. – EDN MSXLGQ.
9. Мирошников, С.А. Проактивная интеграция профессионального образования, индустрии и бизнеса (опыт Оренбургского государственного университета) / С.А. Мирошников, Т.В. Сазонова // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2024. – № 4(244). – С. 105-114. – DOI 10.25198/1814-6457-244-105. – EDN PILPLP.
10. Горяйнова, Т.А. Исследование прогностических умений будущих инженеров методом контент-анализа / Т.А. Горяйнова, И.Д. Белоновская // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2020. – № 5(228). – С. 99-106. – DOI 10.25198/1814-6457-228-99. – EDN CWKXVX.
11. ЛихолетовЮ В.В. Идеальный кейс: поиск эффективных дидактических средств системной подготовки будущих инженеров / В.В. Лихолетов // Инженерное образование. – 2021. – Вып. 30. – С. 7–25.
12. Рожик, А.Ю. Исторические этапы решения проблемы формирования инженерного мышления / А.Ю. Рожик // Вестник ЮУрГУ. Серия «Образование. Педагогические науки». – 2017. – Т. 9, № 2. – С. 98–113. DOI: 10.14529/ped170210
13. Дырдина, Е.В. Компетентностно-ориентированный подход в преподавании механики для студентов архитектурных направлений подготовки / Е.В. Дырдина // Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры : сб. материалов Всерос. науч.-метод. конф., Оренбург, 1-3 февр. 2024 г. / Оренбург. гос. ун-т ; ред. А. В. Зайцев. – Оренбург : ОГУ,2024. – С. 3025-3036.
14. Пояркова, Е.В. Использование интерактивных инженерных моделей для формирования ключевых навыков / Е.В. Пояркова, Е.В. Дырдина // Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры : сборник материалов Всероссийской научно-методической конференции, Оренбург, 26–27 января 2023 года. – Оренбург: Оренбургский государственный университет, 2023. – С. 726-732. – EDN LSQKLR.
15. Дырдина, Е.В. Картирование курса: мощный инструмент для рефлексии и усвоения знаний / Е.В. Дырдина // Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры : материалы Всерос. науч.-метод. конф., посвящ. 70-летию Оренбург. гос. ун-та, Оренбург, 30 янв. – 1 февр. 2025 г. / Оренбург. гос. ун-т ; ред. А. В. Зайцев. – Оренбург : ОГУ, 2025. С. 75-85.
16. Baxter, S.C.Revisiting Graphical Statics / S.C. Baxter, A. Johnson, B.S. Fralick // 2015 ASEE Annual Conference & Exposition. – Seattle, Washington, 2015. – 10.18260/p.24681
17. Martin Pospíšil*New Ways of Teaching Statics and Applied Structural Mechanics to Architects / Martin Pospíšil*, Markéta Vavrušková, Eva Veřtátová // Mechanics and Materials. – 2015. – Vol. 732. – С. 417-420
18. The methods of graphical statics and their relation to the structural // Proceedings of the First International Congress on Construction History, Madrid, 20th-24th January 2003 / Ed. S. Huerta. – Madrid: I. Juan de Herrera, SEdHC, ETSAM, A. E. Benvenuto, COAM, F. Dragados, 2003.
19. Muttoni, A. L'art des structures: Une introduction au fonctionnement des structures en architectur / A. Muttoni. – PU POLYTECHNIQU, 2012. – 2nd edition. – 270 p.
20. Saliklis, E. Structures: A Geometric Approach. Graphical Statics and Analysis / E. Saliklis. – Springer International Publishing, 2019. – 336 p.
21. Дырдина, Е.В. Основы статики сооружений: теоретическая и строительная механика для архитекторов: учебное пособие : в 2 томах. Том I / Е.В. Дырдина; Оренбургский гос. ун-т. – Оренбург: ОГУ, 2023. – 359 с.

References:
1. Mashkin A.L., Borisov V.M. and Borisov Yu.V. (2023) Some issues of developing electronic learning courses in mechanics. *Pedagogy, psychology, society: from theory to practice*: materials of the II All-Russian scientific and practical conference with international participation. Cheboksary, P. 76-79. EDN NTNKW
2. Muschanov V.F. and Fomenko S.A. (2022) On the methodology of teaching theoretical mechanics in a civil engineering university. *Technical operation of water transport: problems and ways of development*, No. V. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/o-metodike-prepodavaniya-teoreticheskoy-mehaniki-v-stroitelnom-vuze (accessed: 25.06.2025).
3. Ponomareva Ye.V., Khokhlova O.A., Kulemina K.V. and Sinelshchikov A.V. (2022) Development of theoretical and methodological approaches in the study of theoretical mechanics by students of civil engineering. *Engineering and construction bulletin of the Caspian region: scientific*

and technical journal. Astrakhan State University of Architecture and Civil Engineering. Astrakhan: GAOU AO VO "AGASU", No. 4 (42), pp. 46-54.
4. X. Lei (2021) A Study on the Practice and Experience of Teaching Theoretical Mechanics Based on MOOC. *2nd International Conference on Artificial Intelligence and Education (ICAIE)*, Dali, China, 2021, pp. 380-383, doi: 10.1109/ICAIE53562.2021.00086.
5. Zhifang Tian (2021) A New Teaching Model of Structural Mechanics Course for Civil Engineering Students in the Information Age. *ICISCAE 2021: The 4th International Conference on Information Systems and Computer Education.* Yunyang University of Technology and Business, China, pp. 1486-1490.
6. Dyrdina E.V. (2024) Blended learning model in teaching mechanics to future architects. *Vestnik of the Orenburg State University*, No. 3 (243), pp. 93-102, 10 p.
7. Belonovskaya I.D., Petrova S.D. and Kuznetsov V.V. (2023) Heuristic approaches to solving mechanical engineering problems by future technologists and designers. *Vestnik of the Orenburg State University,* No. 2 (238), pp. 71-77. DOI 10.25198/1814-6457-238-71. EDN KPRCIS.
8. Khandrimailov A.A., Belonovskaya I.D., Vorobyov V.K. and Zhuravleva M.O. (2023) Research of organizational and technological risks and resources for activating the project activities of a future engineer. *Vestnik of the Orenburg State University,* No. 2(238), pp. 115-120. DOI 10.25198/1814-6457-238-115. EDN MSXLGQ.
9. Miroshnikov S.A. and Sazonova T.V. (2024) Proactive integration of professional education, industry and business (experience of Orenburg State University). *Vestnik of the Orenburg State University,* No. 4 (244), pp. 105-114. DOI 10.25198 / 1814-6457-244-105. EDN PILPLP.
10. Goryainova T.A. and Belonovskaya I.D. (2020) Study of predictive skills of future engineers using content analysis. *Vestnik of the Orenburg State University*. No. 5 (228), pp. 99-106. DOI 10.25198/1814-6457-228-99. EDN CWKXVX.
11. Likholetov V.V. (2021) Ideal case: search for effective didactic means of systematic training of future engineers. *Engineering education,* Issue. 30, Pp. 7–25.
12. Rozhik A.Yu. (2017) Historical stages of solving the problem of forming engineering thinking. *Bulletin of SUSU. Series "Education. Pedagogical Sciences",* Vol. 9, No. 2, Pp. 98–113. DOI: 10.14529/ped170210
13. Dyrdina E.V. (2024) Competence-oriented approach in teaching mechanics to students of architectural training programs. In A.V. Zaitsev (ed.) *University complex as a regional center of education, science and culture*: collection of materials of the All-Russian scientific-methodical conf., Orenburg, February 1-3, 2024. Orenburg: OSU, pp. 3025-3036.
14. Poyarkova E.V. and Dyrdina E.V. Using interactive engineering models to develop key skills. *University complex as a regional center of education, science and culture*: collection of materials of the All-Russian scientific and methodological conference, Orenburg, January 26-27, 2023. Orenburg: Orenburg State University, pp. 726-732. EDN LSQKLR.
15. Dyrdina E.V. (2025) Course mapping: a powerful tool for reflection and knowledge acquisition. *University complex as a regional center of education, science and culture*: materials of the All-Russian scientific and methodological conf., dedicated to the 70th anniversary of Orenburg State University, Orenburg, January 30. – 1 Febr. 2025. Orenburg : OSU, pp. 75-85.
16. Baxter S. C., Johnson A. and Fralick B.S. (2015, June) Revisiting Graphical Statics. *2015 ASEE Annual Conference & Exposition.* Seattle, Washington. 10.18260/p.24681
17. Martin Pospíšil*, Markéta Vavrušková, Eva Veřtátová (2015) New Ways of Teaching Statics and Applied Structural Mechanics to Architects. *Applied Mechanics and Materials,* Vol. 732, pp. 417-420
18. The methods of graphical statics and their relation to the structural form (2003) *Proceedings of the First International Congress on Construction History,* Madrid, 20th-24th January 2003, ed. S. Huerta, Madrid: I. Juan de Herrera, SEdHC, ETSAM, A. E. Benvenuto, COAM, F. Dragados, 2003.
19. Muttoni A. (2012) *L'art des structures: Une introduction au fonctionnement des structures en architecture*. 2nd edition. PU POLYTECHNIQU, 2012, 270 p.
20. Saliklis E. (2019) *Structures: A Geometric Approach. Graphical Statics and Analysis.* Springer International Publishing, 336 p.
21. Dyrdina E.V. (2023) *Fundamentals of statics of structures: theoretical and structural mechanics for architects: a textbook: in 2 volumes*. Volume I.Orenburg State University. Orenburg: OSU, 359 p.

Сведения об авторах:
Дырдина Елена Васильевна, доцент кафедры механики материалов конструкций и машин Оренбургского государственного университета, кандидат технических наук, доцент
E-mail: dyrdinaev@mail.osu.ru