

## Construction of Unique Buildings and Structures



journal homepage: [www.unistroy.spb.ru](http://www.unistroy.spb.ru)



### Комплекс виртуальных лабораторных работ для студентов направления «Строительство» с применением ПК SCAD

А.А. Семенов<sup>1</sup>, И.А. Порываев<sup>2</sup>, М.Н. Сафиуллин<sup>3</sup>

ФГБОУ ВПО Уфимский государственный нефтяной технический университет, 450062, Россия,  
Республика Башкортостан, Уфа, ул. Космонавтов, 1.

#### ИНФОРМАЦИЯ О СТАТЬЕ

Методическая статья

УДК 378.147.88:624.07+004.942

#### История

Подана в редакцию 5 декабря 2013

#### Ключевые слова

виртуальная лабораторная работа  
физический эксперимент  
компьютерная модель  
аналитическая модель  
расчетные комплексы  
напряженно-деформированное  
состояние

#### АННОТАЦИЯ

Тенденция к использованию численных методов расчета при решении практических и научно-исследовательских задач строительства делает актуальным вопрос внедрения расчетных комплексов в учебный процесс ВУЗа. В статье рассмотрен разработанный авторами комплекс лабораторных работ для студентов направления «Строительство». В основе лабораторных работ лежит принцип сравнения результатов, полученных при рассмотрении различных моделей исследуемого объекта: аналитической, физической и численной.

#### Содержание

1. Введение	5
2. Общий методический подход	5
3. Лабораторные работы по дисциплине «Металлические конструкции, включая сварку»	6
4. Лабораторные работы по дисциплине «Железобетонные конструкции»	11
5. Лабораторные работы по дисциплине «Конструкции из дерева и пластмасс»	13
6. Заключение	18

Контактный автор:

<sup>3</sup> +7 (917) 440 6683, [safiullinmarat@list.ru](mailto:safiullinmarat@list.ru) (Сафиуллин Марат Нуритдинович, ассистент)

<sup>1</sup> +7 (917) 343 4337, [asfugntu@yandex.ru](mailto:asfugntu@yandex.ru) (Семенов Александр Александрович, к.т.н, профессор)

<sup>2</sup> +7 (917) 401 1118, [iporivaev@gmail.com](mailto:iporivaev@gmail.com) (Порываев Илья Аркадьевич, ассистент)

## 1. Введение

Лабораторные работы являются неотъемлемой частью процесса образования в вузе. Их проведение предусматривается Федеральным государственным образовательным стандартом. В основе классического подхода к проведению лабораторной работы лежит физический эксперимент. В современном мире практическая деятельность, как инженера проектировщика, так и исследователя, занимающихся анализом напряженно-деформированного состояния строительных конструкций зданий и сооружений, связана с использованием расчетных комплексов [1]. Основным методом расчета становится метод конечных элементов [2, 3].

С развитием расчетных программных комплексов появилась возможность создания расчетных моделей конструкций практически любой сложности [4-7]. При этом максимально эффективно и быстро решать практические [8-12] и научно-исследовательские [13-20] задачи. Конкурентоспособность выпускника строительного ВУЗа во многом зависит от уровня знания теоретических основ конечно-элементного анализа напряженно-деформированного состояния строительных конструкций и наличия практических навыков работы с современными расчетными комплексами. Программные продукты активно внедряются в учебный процесс при выполнении расчетно-графических работ, курсового и дипломного проектирования [21-24]. Этот процесс не может быть полным без внедрения расчетных программ в лабораторный практикум. В статье описаны разработанные авторами комплексные и виртуальные лабораторные работы для студентов бакалавриата и магистратуры по направлению 270800 «Строительство» с применением ПК SCAD Office [25, 26].

## 2. Общий методический подход

Обязательным атрибутом любого лабораторного эксперимента является единство двух категорий знаний: эмпирических и теоретических.

К эмпирическим методам исследования относятся наблюдение, сравнение, измерение и эксперимент. К теоретическим – аналогию, идеализацию, формализацию. При использовании в лабораторной работе программных комплексов интересным и перспективным становится сравнение результатов, полученных:

- классическими инженерными методами;
- непосредственно физическим экспериментом;
- при помощи расчетных комплексов.

Для получения этих результатов целесообразно рассматривать три модели исследуемого объекта:

1. Теоретическая (упрощенная) модель – идеализированная модель объекта, основанная на классическом инженерном подходе (на основных теоретических положениях сопротивления материалов и строительной механики).
2. Механическая (физическая) модель – лабораторный образец, имитирующий натурную конструкцию или ее часть (возможно, в определенном масштабе).
3. Математическая (компьютерная) модель – конечно-элементная модель, расчет которой реализуется в вычислительном комплексе.

Принципиальная схема комплексной лабораторной работы приведена на рисунке 1.

При невозможности постановки физического эксперимента лабораторный практикум проводится в форме виртуальных лабораторных работ (исследование теоретической и математической моделей).

Рекомендуемая тематика лабораторных работ определяется примерными рабочими программами дисциплин. В целом, при сравнении рабочих программ ведущих строительных вузов России, тематика лабораторных работ совпадает.

Авторами разработаны комплексные и виртуальные лабораторные работы по следующим дисциплинам: «Металлические конструкции, включая сварку», «Железобетонные конструкции» и «Конструкции из дерева и пластмасс». Ниже представлено краткое описание предлагаемых работ. Для создания и анализа математических моделей во всех работах использован программный комплекс SCAD Office [19].



Рисунок 1. Принципиальная схема комплексной лабораторной работы

### 3. Лабораторные работы по дисциплине «Металлические конструкции, включая сварку»

Разработаны следующие виртуальные лабораторные работы:

1. Анализ устойчивости центрально-сжатой стойки сквозного сечения;
2. Работа и расчет угловых сварных швов;
3. Распределение усилий в многоболтовых соединениях на высокопрочных болтах;
4. Анализ местной устойчивости стенок и поясных листов металлических балок;
5. Анализ напряженно-деформированного состояния узлов металлических конструкций.

#### **Анализ устойчивости центрально-сжатой стойки сквозного сечения**

Постановка физического эксперимента по анализу устойчивости связана с рядом трудностей: необходимость использования дорогостоящих экспериментальных установок и чувствительных контрольно-измерительных приборов, сложность постановки эксперимента, невозможность многократного использования лабораторных образцов. Схема выполнения виртуальной лабораторной работы представлена на рисунке 2.



Рисунок 2. Схема выполнения виртуальной лабораторной работы «Анализ устойчивости центрально-сжатой стойки сквозного сечения»

В процессе выполнения работы студент получает краткие теоретические сведения о проблеме устойчивости металлических конструкций, общие сведения о различных теориях устойчивости. В процессе выполнения работы необходимо определить критическую силу и форму потери устойчивости по классической теории Эйлера (в ПК SCAD и в ручную), а также по методике, реализованной в СП 16.13330.2011. На последнем этапе строится зависимость критической силы от какого-либо из параметров системы (например, высота стойки, размеры сечения и т.д.).

Результаты работы представляются в форме основных выводов и графиков. Одна из зависимостей представлена на рисунке 3.



Рисунок 3. Пример представления результатов виртуальной лабораторной работы (зависимость критической силы  $P_{кр}$  от гибкости стойки  $\lambda$ )

### Работа и расчет угловых сварных швов

Расчетная модель образца с угловыми сварными швами, создается из объемных конечных элементов (рисунок 4). Модель, соответствующая варианту, создается с использованием моделей-заготовок (рисунок 5).

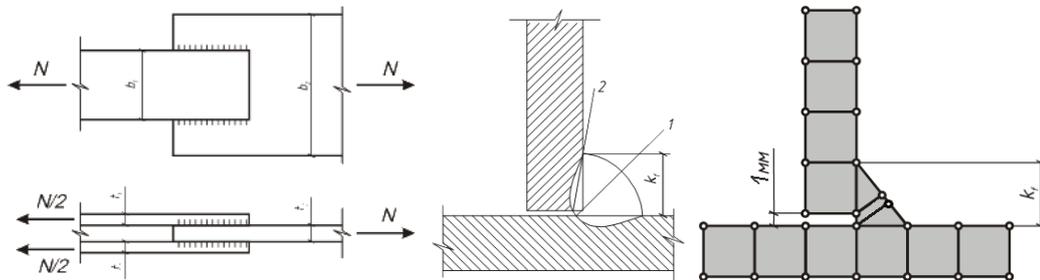


Рисунок 4. Образец с угловыми сварными швами и его расчетная модель

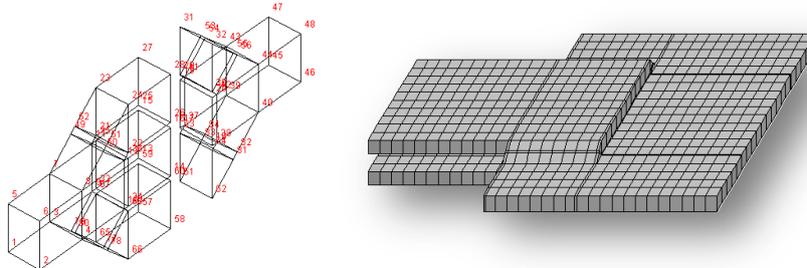


Рисунок 5. Модель заготовка и, полученная на ее основе, модель соединения

После создания модели и расчета студент анализирует распределение напряжений в металле сварного шва, определяет среднее напряжение, коэффициенты концентрации, строит графики (рисунок 6).

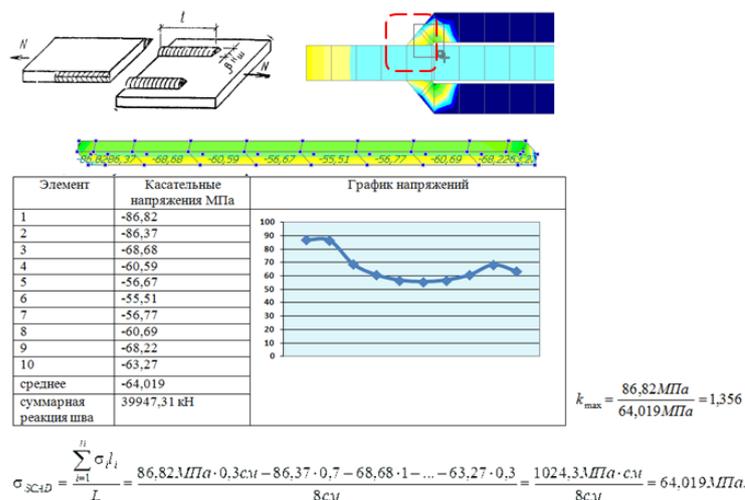
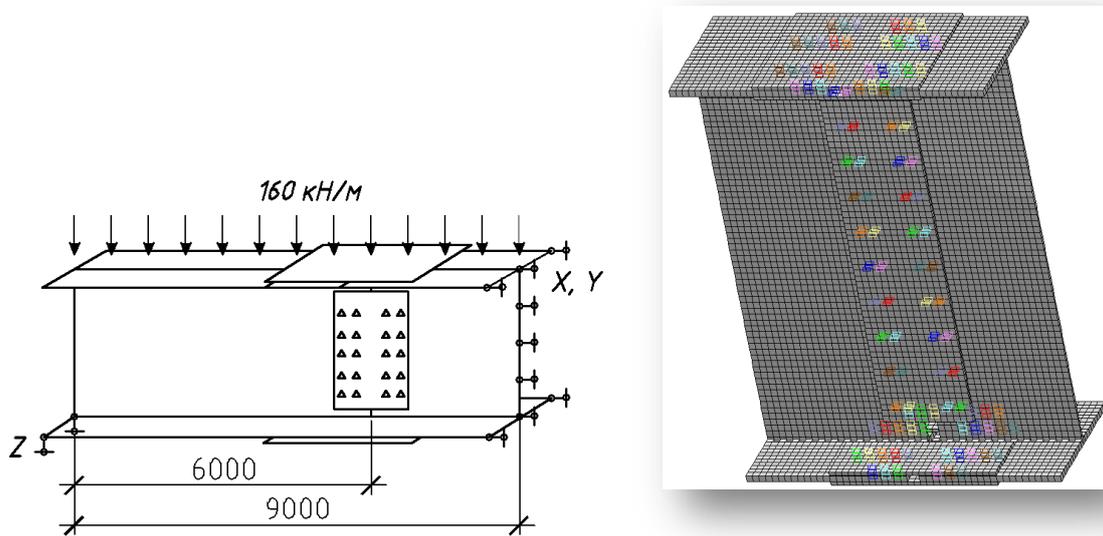


Рисунок 6. Представление результатов расчета КЭ модели

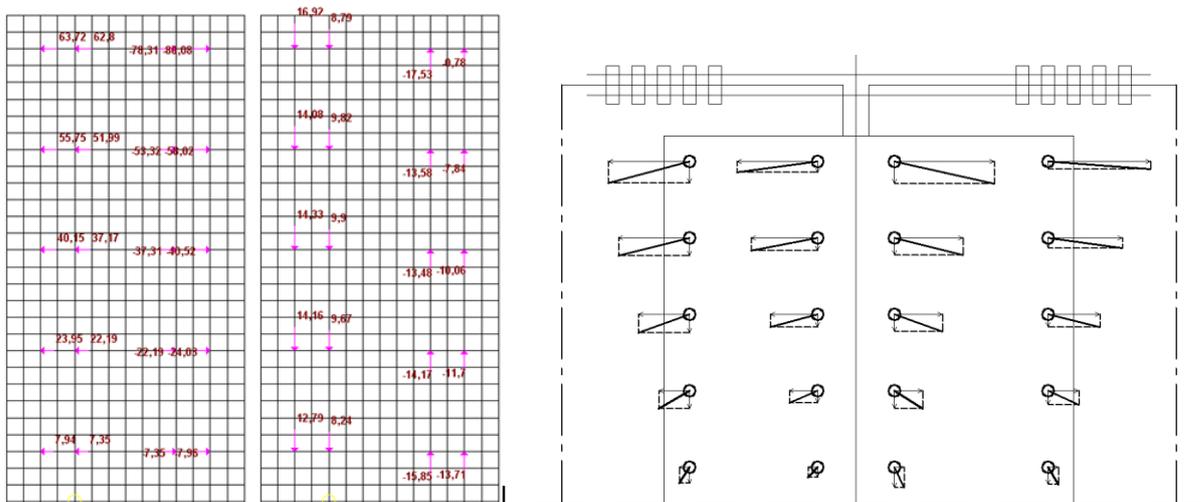
Далее студент выполняет расчет сварного соединения по нормам проектирования и сравнивает полученные результаты.

**Распределение усилий в многоболтовых соединениях на высокопрочных болтах**

На первом этапе студенту необходимо создать расчетную модель монтажного стыка балки при помощи оболочечных конечных элементов (рис. 7). После выполнения расчета определяется величина и характер распределения усилий в болтах (рис. 8)



**Рисунок 7. Схема монтажного стыка балки и его КЭ модель**



**Рисунок 8. Величина и характер распределения усилий в болтах**

После определения усилий в болтах по правилам строительной механики, сравниваются полученные результаты (рисунок 9).

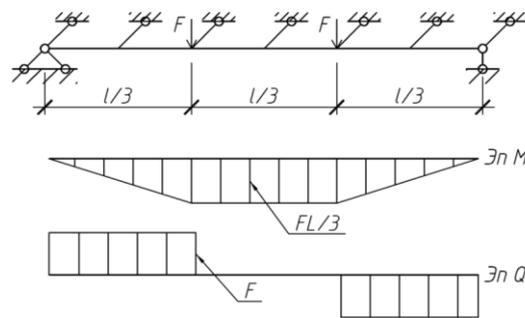
Фактор	Значение	
	теоретическое	экспериментальное
Максимальное усилие N от момента	202,40 кН	127,44
Среднее значение поперечной силы Q	23,74 кН	24 кН
Суммарный момент, воспринимаемый вертикальными накладками	1114,84	721,50
Среднее усилие в болте поясных накладок	175,95 кН	101,11 кН
Суммарное усилие на поясной полунакладке	2815,25 кН	3235,60 кН
Суммарный момент, воспринимаемый поясными накладками	4645,16 кНм	5338,74 кНм
Общее усилие Q	480 кН	474,80 кН
Общий момент M	5760 кНм	6060,24 кНм

Рисунок 9. Представление результатов работы

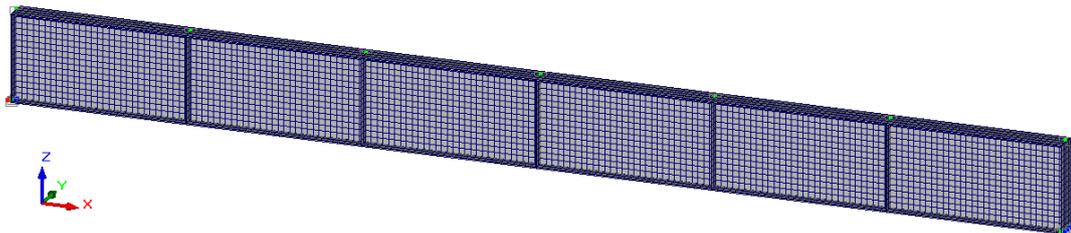
**Анализ местной устойчивости стенок и поясных листов металлических балок**

На первом этапе создается оболочечная модель двутавровой балки. После выполнения статического расчета проводится расчет на устойчивость и определяется форма потери устойчивости стенки или поясного листа и коэффициент запаса устойчивости (рисунок 10).

А)



Б)



В)

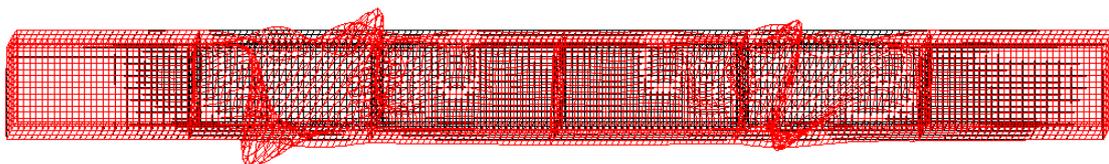


Рисунок 10. Расчетная схема балки (А), расчетная модель (Б) и первая форма потери устойчивости (В)

После проверки устойчивости по нормам проектирования и в сателлите ПК SCAD КРИСТАЛЛ, полученные результаты сравниваются (рисунок 11).

Зона	Коэффициент устойчивости			$\Delta_{scad/СП}$ %
	SCAD	СП 16.13330	КРИСТАЛЛ	
Чистый изгиб	0,88	0,87	0,86	1,13
Момент и поперечная сила	0,81	0,82	0,82	1,22

Рисунок 11. Форма представления результатов лабораторной работы

#### **Анализ напряженно-деформированного состояния узлов металлических конструкций**

В работе предлагается провести анализ узлов металлических конструкций. Расчетные модели некоторых узлов показаны на рис. 12.

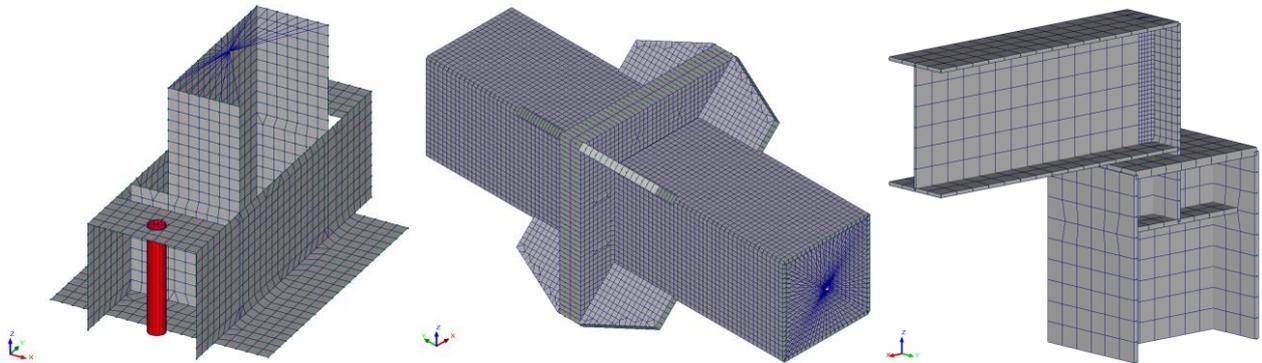


Рисунок 12. Расчетные модели узлов

Схема выполнения работы аналогична описанным выше (анализ расчетной модели, расчет по нормам проектирования, сравнение результатов).

Данная виртуальная лабораторная работа может выполняться наиболее подготовленными студентами бакалавриата или магистрантами при изучении дисциплины «Металлические конструкции. Специальный курс».

## **4. Лабораторные работы по дисциплине «Железобетонные конструкции»**

Разработаны следующие виртуальные лабораторные работы:

1. Испытание железобетонной балки с одиночной арматурой на изгиб с разрушением по нормальному сечению;
2. Испытание железобетонной балки с двойной арматурой на изгиб с разрушением по нормальному сечению;
3. Испытание предварительно напряженной железобетонной балки с одиночной арматурой на изгиб с разрушением ее по нормальному сечению.

Во всех лабораторных работах используется модель железобетонной балки в зоне чистого изгиба (рисунок 13).

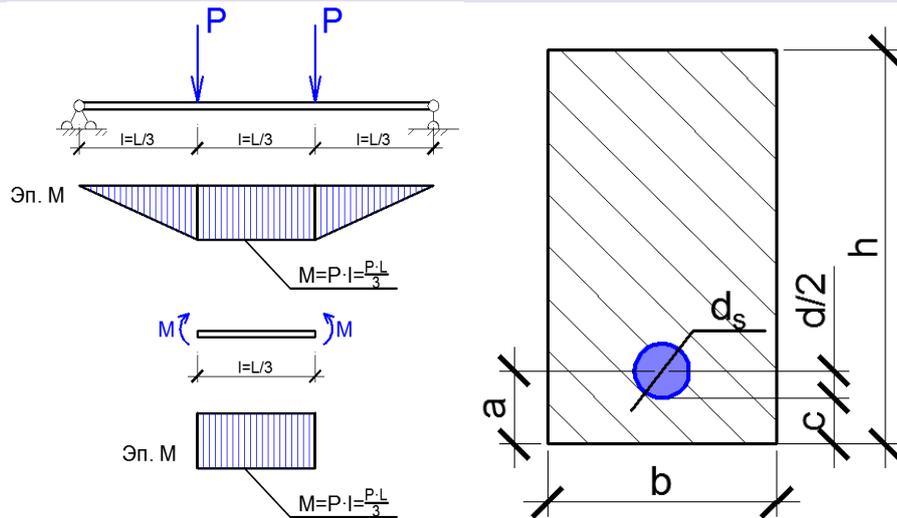


Рисунок 13. Расчетная схема образца и основные параметры поперечного сечения балки

Бетон моделируется оболочечными конечными элементами. Для учета нелинейного поведения бетона используются специальные конечные элементы типа односторонняя связь. Арматура моделируется стержневыми элементами (рисунок 14).

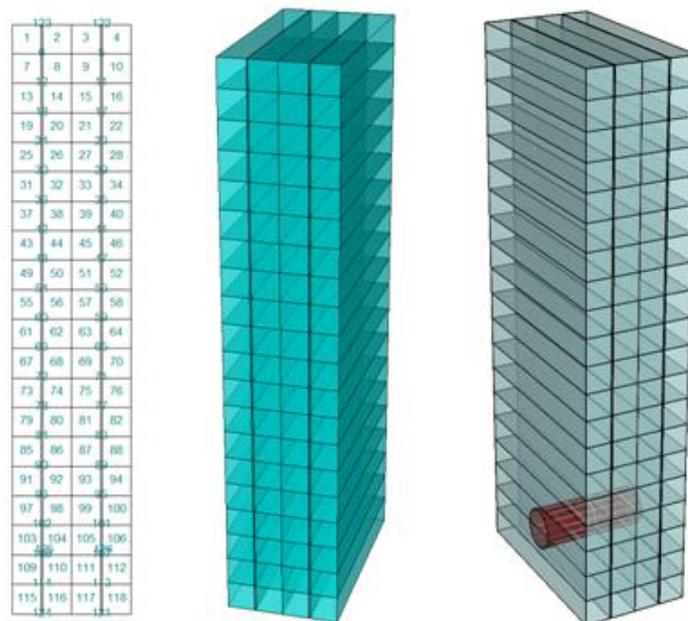


Рисунок 14. Фрагмент расчетной модели железобетонной балки

После создания модели выполняется нелинейный расчет, и строятся эпюры напряжений в бетоне и эпюры усилий в арматуре, анализируются прогибы (рисунок 15). Предварительное напряжение арматуры моделируется температурными воздействиями.

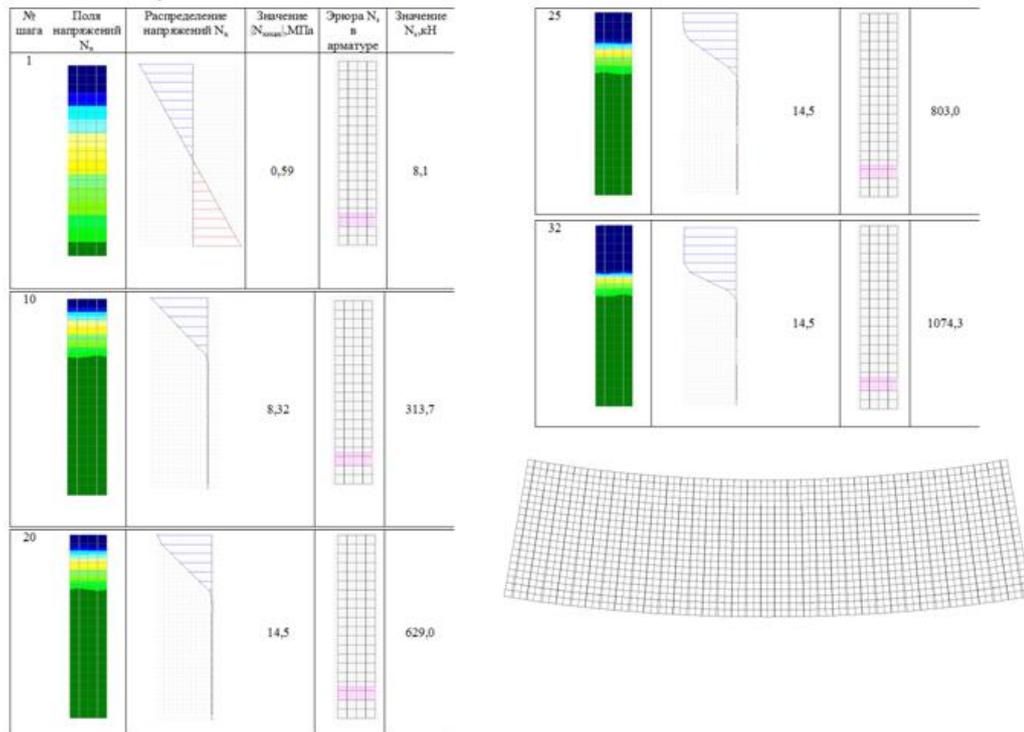


Рисунок 15. Результаты нелинейного расчета на некоторых шагах и деформированная схема балки

На втором этапе студент выполняет расчет нормального сечения балки по нормам проектирования и сравнивает полученные результаты (высота сжатой зоны, уровень напряжений в бетоне и арматуре, прогибы, ширина раскрытия трещин).

Аналогично выполняются исследования балок с двойной арматурой и предварительно напряженной арматурой.

## 5. Лабораторные работы по дисциплине «Конструкции из дерева и пластмасс»

Разработаны следующие лабораторные работы:

1. Комплексная лабораторная работа «Исследование напряженно-деформированного состояния клеедеревянной изгибаемой балки»;
2. Опорный узел деревянной фермы на лобовой врубке;
3. Соединение на пластинчатых нагелях.

### **Комплексная лабораторная работа «Исследование напряженно-деформированного состояния клеедеревянной изгибаемой балки»**

В ходе выполнения комплексной лабораторной работы студенты используют:

- a. Инженерные методы расчета (нормы проектирования);
- b. Программы сателлиты ПК SCAD;

- c. Конечно-элементную модель балки (ПК SCAD);
- d. Результаты натурных испытаний лабораторного образца.

Схема исследуемой балки показана на рисунке 16.

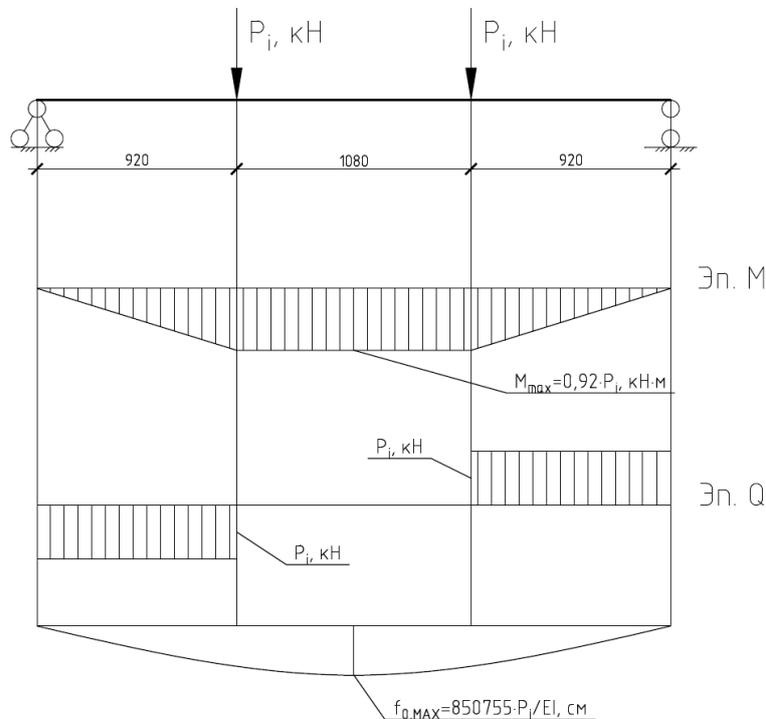


Рисунок 16. Расчетная схема исследуемой балки

На первом этапе студенты определяют максимальные нормальные напряжения и прогиб балки по нормам проектирования (СП 64.13330.2011 «Деревянные конструкции»).

На втором этапе балка рассчитывается в программе ДЕКОР (сателлит ПК SCAD для расчета деревянных конструкций).

На следующем этапе анализируются несколько конечно-элементных расчетных моделей балки:

1. Стержневая модель;
2. Изотропная пластинчатая модель;
3. Ортотропная пластинчатая модель;
4. Модель из объемных элементов.

Общий вид стержневой и пластинчатой моделей показан на рисунке 17.

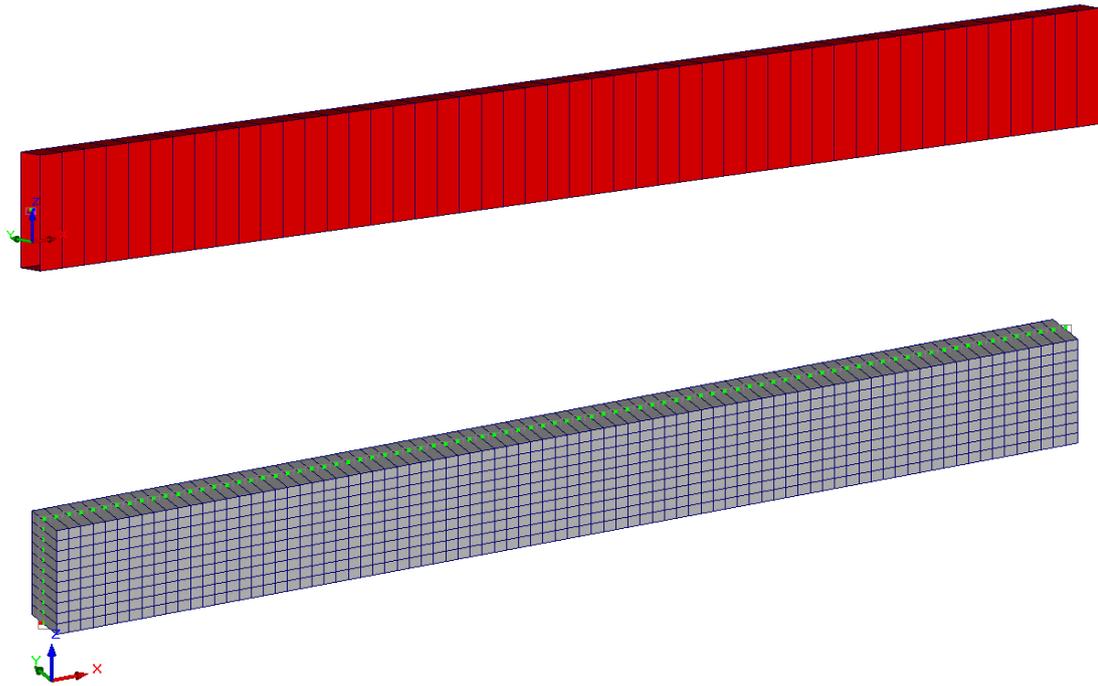


Рисунок 17. Стержневая и пластинчатая модели балки

При создании ортотропной модели учитываются различные деформационные характеристики древесины вдоль и поперек волокон. После выполнения расчета выполняется сравнение полученных на разных моделях результатов.

На четвертом этапе проводится испытание лабораторного образца клеелесной балки. Общий вид и принципиальная схема лабораторного стенда показаны на рисунке 18.

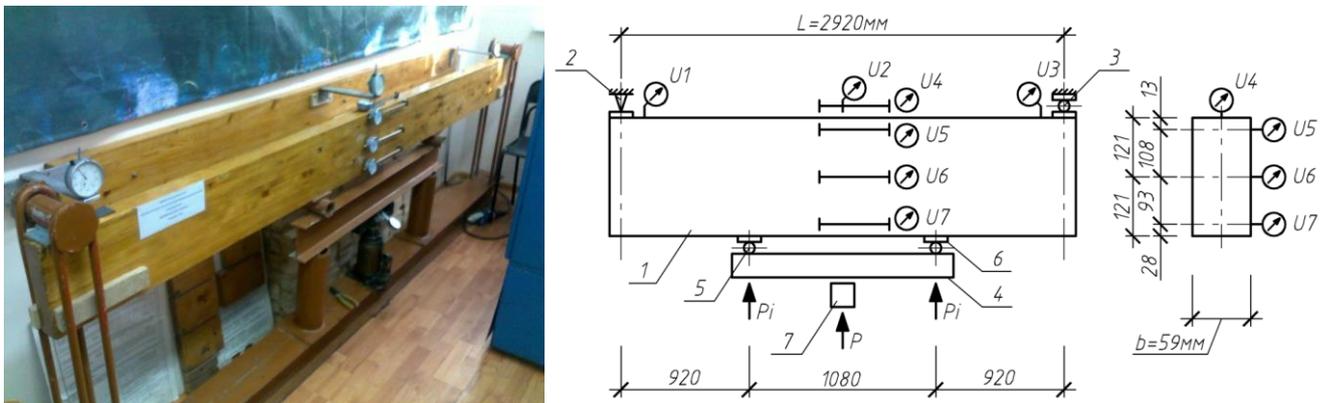


Рисунок 18. Общий вид и схема испытательного стенда

В процессе эксперимента нагружение балки происходит в несколько этапов. При этом на каждом этапе фиксируются показания приборов. По полученным экспериментальным данным строится график изменения прогиба балки от внешней нагрузки, определяются фактические напряжения и модуль упругости материала балки.

На завершающем этапе проводится сравнение полученных результатов в табличной форме (рисунок 19).

№	Модель	Напряжение, $\sigma_{\max}$ , кН/см <sup>2</sup>	$K_{\text{исп I}}$ ( $P_i$ , кН)	Прогиб, см ( $P_i$ , кН)	$K_{\text{исп II}}$ ( $P_i$ , кН)
1	Теоретическая	$0,160P_i$	$0,123P_i$	$0,094P_i$	-
2	Стержневая SCAD (48 элементов)	-	-	$0,094P_i$	-
3	Плоская изотропная SCAD	$0,164P_i$	$0,126P_i$	$0,095P_i$	-
4	Объемная изотропная SCAD	$0,171P_i$	$0,131P_i$	$0,095P_i$	-
5	По СП с учетом сдвига	$0,160P_i$	$0,123P_i$	$0,106P_i$	$0,090P_i$
6	ДЕКОР (SCAD)	-	$0,123P_i$	$0,106P_i$	$0,090P_i$
7	<b>Плоская ортотропная SCAD</b>	<b><math>0,162P_i</math></b>	<b><math>0,125P_i</math></b>	<b><math>0,116P_i</math></b> <b><math>0,106P_i^*</math></b>	<b><math>0,099P_i</math></b> <b><math>0,090P_i^*</math></b>
8	Экспериментальная модель на кратковременные нагрузки (вузовский эксперимент)	$0,162P_i$	$0,125P_i$	$0,081P_i$	$0,069P_i$
8*	Экспериментальная модель с учетом длительности действия нагрузок ( $m_{\text{дл}} = 0,66$ )	$0,162P_i$	$0,125P_i$	$0,123P_i$	$0,105P_i$

Рисунок 19. Представление результатов комплексной лабораторной работы

### Опорный узел деревянной фермы на лобовой врубке

В ходе выполнения виртуальной лабораторной работы студент создает и анализирует расчетную оболочечную модель лобовой врубки. Анализируются модели из изотропных и ортотропных оболочек (рисунок 20).

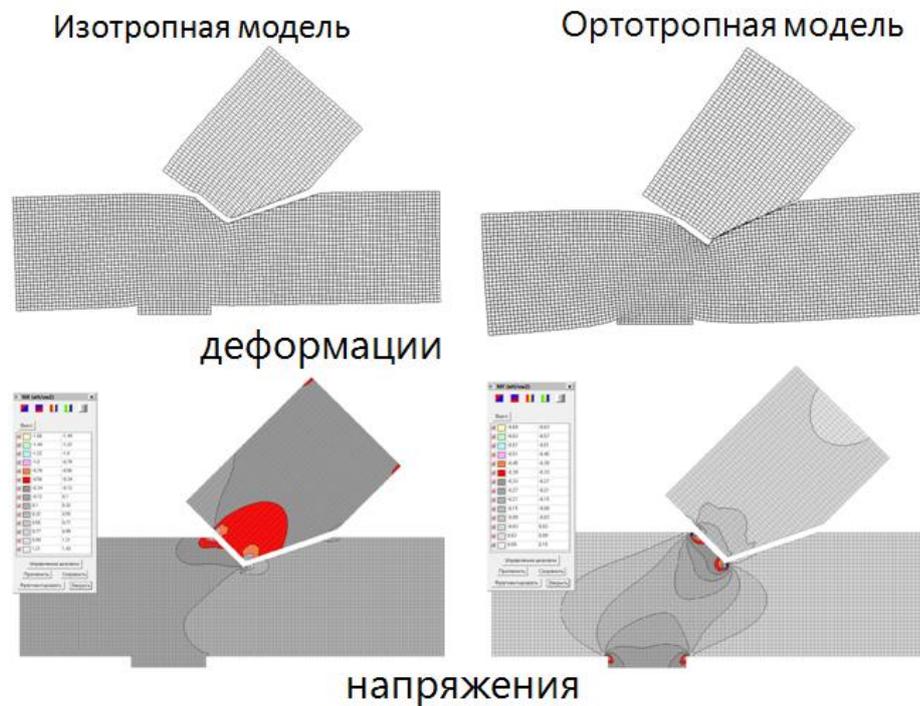


Рисунок 20. Напряженно-деформированное состояние лобовой врубки

После этого выполняется расчет соединения по нормам проектирования и в программе ДЕКОР (сателлит ПК SCAD). Полученные результаты представляются в форме графиков (рисунок 21) и таблиц (рисунок 22).

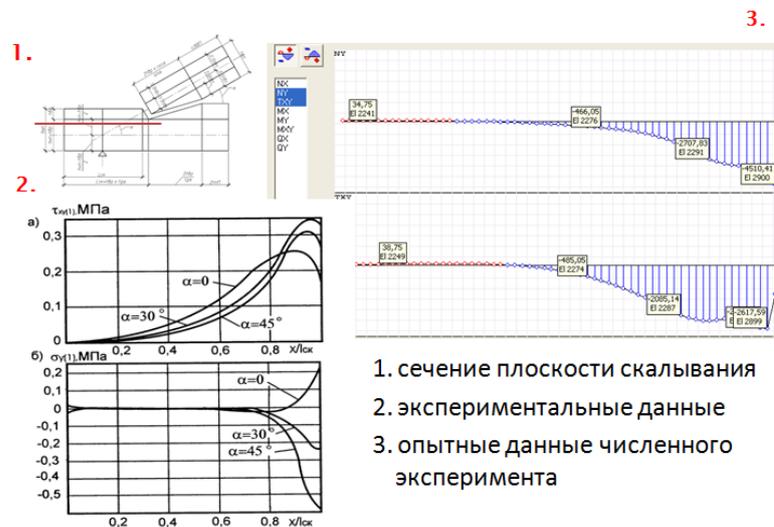


Рисунок 21. Представление результатов (распределение напряжений по плоскости скалывания)

Фактор	Коэффициент использования			ДЕКОР
	теоретическое	"экспериментальное"		
		изотропия	ортотропия*	
Условия смятия	0,88	0,94	0,91	0,805
Условия скалывания	0,66	0,54	0,57	0,659
Концентрация при скалывании	1,93	3,36	2,46	—**
Ослабленное сечение	0,34	0,29	0,31	—*

Рисунок 22. Сравнение полученных результатов

### Соединение на пластинчатых нагелях

В ходе выполнения работы студент анализирует расчетную модель балки на пластинчатых нагелях (рисунок 23).

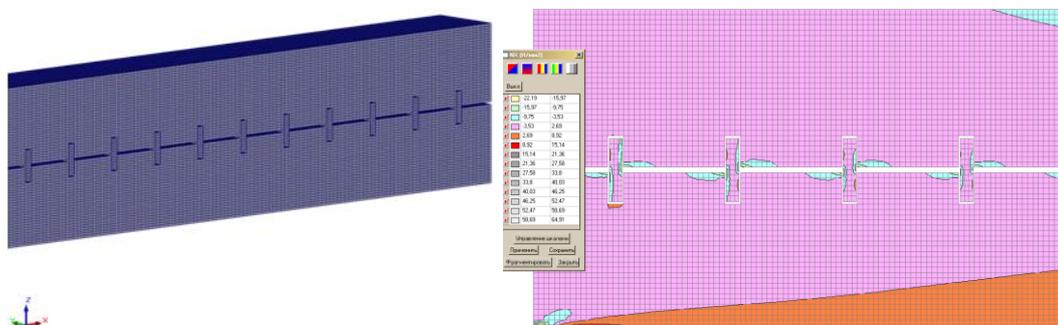


Рисунок 23. Расчетная модель балки на пластинчатых нагелях и распределение нормальных напряжений

После расчета нагеля по нормам проектирования сравниваются полученные результаты

## 6. Заключение

Для всех лабораторных работ разработаны методические рекомендации, которые имеют одинаковую структуру, и содержат следующие разделы:

- краткие теоретические сведения по теме лабораторной работы;
- варианты заданий;
- порядок выполнения работы;
- анализ полученных результатов;
- рекомендации по составлению отчета.

Во всех работах особое внимание уделено процессу создания расчетных моделей в ПК SCAD. Для каждой модели процесс создания и анализа описан пошагово.

Внедрение в учебный процесс виртуальных лабораторных работ дает следующие преимущества:

1. Избегание трудностей, связанных с постановкой физического эксперимента;
2. Каждый студент выполняет индивидуальный эксперимент (количество вариантов исходных данных практически не ограничено);
3. Сравнение автоматизированного расчета с ручным позволяет студенту понять основные принципы используемых в программном комплексе алгоритмов и методик («общение» с программой не как с абстрактным «черным ящиком»);
4. Необходимость выполнять исследовательскую работу (анализ ряда экспериментов, построение зависимостей, сравнение результатов).

Однако, максимальный эффект достигается, когда виртуальная работа сопровождается физическим экспериментом и анализируются три модели конструкции: физическая (эксперимент), аналитическая (нормы проектирования) и математическая (программный продукт).

### Литература

1. Белостоцкий А.М. [и др.] Строительная механика и строительные конструкции: сборник статей. М.: Изд-во СКАД СОФТ, 2013. 512 с.
2. Сегерлинд Л. Применение метода конечных элементов. М.: Мир, 1979. 392 с.
3. Ильин В. П., Карпов В. В., Масленников А. М. Численные методы решения задач строительной механики. Минск: Вышэйная школа, 1990. 358 с.
4. Перельмутер А. В., Сливкер В. И. Расчетные модели сооружений и возможность их анализа. - 4-е изд., перераб. М.: Изд-во СКАД СОФТ, 2011. 736 с.
5. Городецкий А. С., Евзеров И. Д. Компьютерные модели конструкций. М.: Изд-во АСВ, 2009. 360 с.
6. Rostand M. P., Dubois F., Sauvat N., Fournely E. Strain analysis in dried green wood: Experimentation and modeling approaches // Engineering Fracture Mechanics. 2013. Vol.105. Pp. 182-199.
7. Comi C., Kirchmayr B., Pignatelli R. Two-phase damage modeling of concrete affected by alkali-silica reaction (ASR) under variable temperature and humidity conditions // International Journal of Solids and Structures. 2012. Vol. 49. Issue 23-24. Pp. 3367-3380.

8. Семенов А.А., Маляренко А. А., Сафиуллин М. Н., Порываев И. А. Анализ напряженно-деформированного состояния моделей узлов металлических конструкций в среде SCAD // Строительная механика и расчет сооружений. 2013. №3. С 47-56.
9. Теплых А. В. Применение оболочечных и объемных элементов при расчетах строительных стальных конструкций в программах SCAD и NASTRAN с учетом геометрической и физической нелинейности // Инженерно-строительный журнал. 2011. №3. С. 4-20.
10. Белостоцкий А. М., Дубинский С. И. Анализ причин обрушения конструкций покрытия СОК «Трансвааль-парк» // Ansys Solutions. Русская редакция. 2007. №4 С. 5-12.
11. Kovetsi B., Dunai L., Determination of the patch loading resistance of girders with corrugated webs using nonlinear finite element analysis, Computers & Structures. 2011. Vol. 89. Issues 21–22. Pp. 2010-2019.
12. Niknejad A., Elahi S. M., Elahi S. A. Theoretical and experimental study on the flattening deformation of the rectangular brazen and aluminum columns // Archives of Civil and Mechanical Engineering. 2013. Vol. 13. Issue 4. Pp. 449-464.
13. Travush V. I., Konin D. V. Numerical and experimental studies of models of joints between columns with imperfections milled ends // International Journal for Computation Civil and Structural Engineering. 2010. №6. С. 110-115.
14. Oberkampf W. L., Barone M. F. Measures of agreement between computation and experiment: Validation metrics // Journal of Computational Physics. 2006. Vol. 217. Issue 1. Pp. 5-36.
15. Jelenic G., Saje M. A kinematically exact space finite strain beam model – finite element formulation by generalized virtual work principle // Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering. 1995. Vol. 120. Issue 1-2. Pp. 131-161.
16. Shariat B. S., Liu Y., Rio G. Finite element computational modeling and experimental investigation of perforated NiTi plates under tension // Materials Research Bulletin. 2013. Vol. 48. Issue 12. Pp. 5099-5104.
17. Modelling of cement hydration in concrete structures with hybrid finite elements / Teixeira de Freitas J. A., Cuong P. T., Faria R., Azenha M. // Finite Elements in Analysis and Design. 2013. Vol. 77. Pp. 16-30.
18. Musial M. Static and dynamic stiffness of reinforced concrete beams // Archives of Civil and Mechanical Engineering. 2012. Vol. 12. Issue 2. Pp. 186-191.
19. Analytical, numerical and experimental investigations on flexural strengthening for wood/PVC composite members using flat bar strips / Pulngern T., Chimkhilai A., Rosarpitak V., Sombatsompop N. // Construction and Building Materials. 2013. Vol. 41. Pp. 545-556.
20. Buckling interaction of slender plates—Experimental and numerical investigations / Sinur F., Zizza A., Kuhlmann U., Beg D. // Thin-Walled Structures. 2012. Vol. 61. Pp. 121-131.
21. Семенов А. А. [и др.] Металлические конструкции. Расчет элементов и соединений с использованием программного комплекса SCAD: Учебное пособие. М.: Изд-во СКАД СОФТ, Изд-во АСВ, 2012. 338 с.
22. Семенов А. А. Деревянные конструкции. Основы расчета с использованием ПК SCAD Office: Учебное пособие. М.: Изд-во АСВ, Изд-во СКАД СОФТ, 2013. 248 с.
23. Кузьмин Л. Ю., Кузьмин А. Л. Программный комплекс «Виртуальные лабораторные работы по сопротивлению материалов» // Вестник МГСУ. 2007. №1. С. 105-106
24. Psycharis S. The computational experiment and its effects on approach to learning and beliefs on physics // Computers and Education. 2011. Vol. 56, Issue 3. Pp.547-555.
25. Карпиловский В. С. [и др.] Вычислительный комплекс SCAD / М.: СКАД СОФТ, 2009. 656 с.
26. Карпиловский В. С. [и др.] SCAD Office. Реализация СНиП в проектирующих программах / М.: Изд-во СКАД СОФТ, 2011. 432 с.

## Complex of virtual labs for students of "Civil Engineering" educational program

A.A. Semenov<sup>4</sup>, I.A. Porivaev<sup>2</sup>, M. N. Safiullin<sup>3</sup>

Ufa State Petroleum Technological University, 1 Kosmonavtov st., Ufa, Bashkortostan Republic, 450062, Russia.

### ARTICLE INFO

Methodical article

### Article history

Received 5 December 2013

### Keywords

virtual experiment  
physical analogue  
numerical model  
theoretical model  
CAE systems  
stress and strain analysis

### ABSTRACT

Tendency to use numerical methods to solve practical and research tasks of construction engineering makes the question of engineering simulation software implementation in the educational process of the university. Paper considers the authors developed methodical instructions to laboratory work integrated system for students of "Civil engineering" educational program. The basis of laboratory work is the principle of comparison results obtained when considering different models of the object: analytical, physical and numerical. The main part of a works is instruction of making numerical models of nodes and construction elements using the CAE system SCAD Office.

---

Corresponding author:

<sup>3</sup> +7 (917) 440 6683, safiullinmarat@list.ru (Marat Nuritdinovich Safiullin, Assistant)

<sup>1</sup> +7 (917) 343 4337, asfugntu@yandex.ru (Aleksandr Aleksandrovich Semenov, Ph. D., Professor)

<sup>2</sup> +7 (917) 401 1118, iporivaev@gmail.com (Ilya Arkadievich Porivaev, Assistant)

## References

1. Belostotskiy A. M. [et.al.] *Stroitel'naya mekhanika i stroitelnyye konstruksii: sbornik statey* [Structural Mechanics and constructions : a collection of articles] Moscow: SCAD SOFT, 2013. 512 p. (rus)
2. Segerlind L. *Primeneniye metoda konechnykh elementov*. [Application of finite element method] Moscow: Mir, 1979. 392 p. (rus)
3. Ilin V. P., Karpov V. V., Maslennikov A. M. *Chislennyye metody resheniya zadach stroitelnoy mekhaniki*. [Numerical methods for solving problems of structural mechanics] Minsk: Vyshey'naya shkola, 1990. 358 p. (rus)
4. Perelmuter A. V., Slivker V. I. *Raschetnyye modeli sooruzheniy i vozmozhnost ikh analiza. - 4-e izd., pererab.* [VI Computational models of structures and the possibility of their analysis. - 4th ed.] Moscow: SCAD SOFT, 2011. 736 p. (rus)
5. Gorodetskiy A. S., Yevzerov I. D. *Kompyuternyye modeli konstruksiy*. [Computer model designs] Moscow: ACB, 2009. 360 p. (rus)
6. Rostand M. P., Dubois F., Sauvat N., Fournely E. Strain analysis in dried green wood: Experimentation and modeling approaches // *Engineering Fracture Mechanics*. 2013. Vol. 105. Pp. 182-199.
7. Comi C., Kirchmayr B., Pignatelli R. Two-phase damage modeling of concrete affected by alkali-silica reaction (ASR) under variable temperature and humidity conditions // *International Journal of Solids and Structures*. 2012. Vol. 49, issue 23-24. Pp. 3367-3380.
8. Semenov A.A., Malyarenko A. A., Safiullin M. N., Poryvayev I. A. *Analiz napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya modeley uzlov metallicheskih konstruksiy v srede SCAD* [Analysis of the stress- strain state models nodes of metal structures in the environment SCAD] // *Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzheniy*. 2013. №3. Pp. 47-56. (rus)
9. Teplykh A. V. *Primeneniye obolochechnykh i obyemnykh elementov pri raschetakh stroitelnykh stalnykh konstruksiy v programmakh SCAD i NASTRAN s uchetom geometricheskoy i fizicheskoy nelineynosti* [ Application of shell and solid elements in the calculation of construction steel structures in programs SCAD and NASTRAN considering geometrical and physical nonlinearity] // *Magazine of Civil Engineering*. 2011. №3. Pp. 4-20. (rus)
10. Belostotskiy A. M., Dubinskiy S. I. *Analiz prichin obrusheniya konstruksiy pokrytiya SOK «Transvaal-park»* [Analysis of the causes structural collapse coverage «Transvaal Park»] // *Ansyst Solutions*. Russian Edition. 2007. №4 Pp. 5-12. (rus)
11. Kovesdi B., Dunai L., Determination of the patch loading resistance of girders with corrugated webs using nonlinear finite element analysis // *Computers & Structures*. 2011. Volume 89. Issues 21–22. Pp. 2010-2019.
12. Niknejad A., Elahi S. M., Elahi S.A. Theoretical and experimental study on the flattening deformation of the rectangular brazen and aluminum columns // *Archives of Civil and Mechanical Engineering*. 2013. Vol. 13. Issue 4. Pp. 449-464.
13. Travush V. I., Konin D. V. *Chislennyye i eksperimentalnyye issledovaniya modeley stykov kolonn s nesovershenstvami mezhdu frezerovannymi tortsami* [Numerical and experimental studies of models of joints between columns with imperfections milled ends] // *International Journal for Computation Civil and Structural Engineering*. 2010. №6. Pp. 110-115.
14. Oberkampf W. L., Barone M. F. Measures of agreement between computation and experiment: Validation metrics // *Journal of Computational Physics*. 2006. Vol. 217. Issue 1. Pp. 5-36.
15. Jelenic G., Saje M. A kinematically exact space finite strain beam model – finite element formulation by generalized virtual work principle // *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*. 1995. Vol. 120, issue 1-2. Pp. 131-161.
16. Shariat B. S., Liu Y., Rio G. Finite element computational modeling and experimental investigation of perforated NiTi plates under tension // *Materials Research Bulletin*. 2013. Vol. 48, issue 12. Pp. 5099-5104.
17. Modelling of cement hydration in concrete structures with hybrid finite elements / Teixeira de Freitas J. A., Cuong P. T., Faria R., Azenha M. // *Finite Elements in Analysis and Design*. 2013. Vol. 77. Pp. 16-30.
18. Musial M., Static and dynamic stiffness of reinforced concrete beams // *Archives of Civil and Mechanical Engineering*. 2012. Vol. 12. Issue 2. Pp. 186-191.
19. Analytical, numerical and experimental investigations on flexural strengthening for wood/PVC composite members using flat bar strips / Pulngern T., Chimkhlay A., Rosarpitak V., Sombatsompop N. // *Construction and Building Materials*. 2013. Vol.41. Pp. 545-556.

20. Sinur F., Zizza A., Kuhlmann U., Beg D. Buckling interaction of slender plates—Experimental and numerical investigations // *Thin-Walled Structures*. 2012. Vol. 61. Pp. 121-131.
21. Semenov A. A. [et.al.] *Metallicheskiye konstruktsii. Raschet elementov i soyedineniy s ispolzovaniyem programmnoy kompleksa SCAD: Uchebnoye posobiye* [Calculation of the elements and compounds using software complex SCAD: Textbook] Moscow: SCAD SOFT, ACV, 2012. 338 p. (rus)
22. Semenov A. A. *Derevyannyye konstruktsii. Osnovy rascheta s ispolzovaniyem PK SCAD Office: Uchebnoye posobiye* [Wooden structures. Basis of calculation using a PC SCAD Office: Textbook] Moscow: ACV, SCAD SOFT, 2013. 248 p. (rus)
23. Kuzmin L. Yu., Kuzmin A. L. *Programmnyy kompleks «Virtualnyye laboratornyye raboty po soprotivleniyu materialov»* [The software package «Virtual Labs on strength of materials»] // *Vestnik MGSU*. 2007. №1. Pp. 105-106. (rus)
24. Psycharis S. The computational experiment and its effects on approach to learning and beliefs on physics // *Computers and Education*. 2011. Vol. 56. Issue 3. Pp.547-555.
25. Karpilovskiy V. S. [et.al.] *Vychislitelnyy kompleks SCAD* [Computing complex SCAD] Moscow: SCAD SOFT, 2009. 656 p. (rus)
26. Karpilovskiy V. S. [et.al.] *SCAD Office. Realizatsiya SNiP v proyektiruyushchikh programmakh* [SCAD Office. Implementation of SNP in projecting programs] Moscow: SCAD SOFT, 2011. 432 p. (rus)