Ю.Д. Маркина, П.А. Хазов

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ СТРОИТЕЛЬНОЙ МЕХАНИКИ С ПРИМЕНЕНИЕМ САПР

Учебное пособие



Нижний Новгород 2025 Министерство науки и высшего образования Российской Федерации Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»

Ю.Д. Маркина, П.А. Хазов

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ СТРОИТЕЛЬНОЙ МЕХАНИКИ С ПРИМЕНЕНИЕМ САПР

Утверждено редакционно-издательским советом университета в качестве учебного пособия

> Нижний Новгород ННГАСУ 2025

ББК 38.5 М 27 Х 12 УДК 624.04(075)

Рецензенты:

А.Е. Наумов – канд. техн. наук, заведующий кафедрой Экспертизы и управления недвижимостью ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технический университет им. В.Г. Шухова»

А.Н. Сомов – директор ООО «ТелекомСтройЭксперт»

Маркина, Ю. Д. Решение задач строительной механики с применением САПР : учебное пособие / Ю. Д. Маркина, П. А. Хазов ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород : ННГАСУ, 2025. – 96 с. – ISBN 978-5-528-00614-7. – Текст : непосредственный.

Приведены указания по выполнению работ по дисциплине «Системы автоматизированного проектирования в промышленном и гражданском строительстве». Рассмотрены содержание и последовательность выполнения работ, даны рекомендации по численному расчёту консольной балки, многопролетной статически определимой балки и железобетонной плиты в ПК ЛИРА 10.4. Показаны основные этапы расчета и вся цепочка команд, участвующих в выполнении заданий. Представлены алгоритмы ввода узлов и элементов, связей, врезных шарниров, назначения основных характеристик материалов, приложения сосредоточенных и распределенных нагрузок, изгибающих моментов, задания нескольких загружений для одной расчетной схемы, составления РСУ, применения графического и табличного оформления результатов расчёта.

Учебное пособие предназначено для обучающихся в ННГАСУ по направлениям подготовки 08.03.01 Строительство, профиль Промышленное и гражданское строительство, 08.04.01 Строительство и 08.05.01 Строительство уникальных зданий и сооружений, специализация Строительство высотных и большепролетных зданий и сооружений.

ББК 38.5

ISBN 978-5-528-00614-7

© Ю.Д. Маркина, П.А. Хазов, 2025 © ННГАСУ, 2025

Оглавление

Введение
1. Расчет консольной балки
1.1. Варианты заданий5
1.2. Алгоритм расчета в ПК ЛИРА 10.4 6
1.3. Образец выполнения работы 19
1.3.1. Задание 19
1.3.2. Численный расчет 19
1.3.3. Аналитический расчет 20
1.3.4. Сравнение результатов 21
2. Расчет многопролетной статически определимой балки 22
2.1. Варианты заданий 22
2.2. Алгоритм расчета в ПК ЛИРА 10.4 24
2.3. Образец выполнения работы 35
2.3.1. Задание
2.3.2. Численный расчет
2.3.3. Аналитический расчет 37
2.3.4. Сравнение результатов 38
3. Расчет железобетонной плиты 39
3.1. Варианты заданий 39
3.2. Алгоритм расчета в ПК ЛИРА 10.4 41
3.3. Образец выполнения работы 57
3.3.1. Задание 57
3.3.2. Численный расчет в программе ПК ЛИРА 59
3.3.3. Численный расчет в программе SCAD++ 72
3.3.4. Аналитический расчет
3.3.5. Сравнение результатов
Список литературы

Введение

ПК ЛИРА является одним из ведущих многофункциональных программных комплексов, используемых для расчета строительных зданий и сооружений в настоящее время.

ПК ЛИРА используется для расчета, проектирования и научного исследования конструкций различного назначения во всех областях техники, базирующихся на методах строительной механики.

Навыки использования современных программно-вычислительных комплексов необходимы каждому студенту для эффективной реализации в качестве востребованного и успешного специалиста.

Данное учебное пособие берет за основу задачи из вводного курса по программному комплексу ЛИРА 10.4 [1] и приводит указания по выполнению лабораторных работ по дисциплине «Системы автоматизированного проектирования в промышленном и гражданском строительстве».

Основные цели первой лабораторной работы: на простейшем примере расчета консольной балки показать основные этапы расчета и всю цепочку команд, участвующих в выполнении задания, научиться задавать узлы и элементы, назначать основные характеристики материала, связи и сосредоточенные нагрузки, освоить навыки графического и табличного оформления результатов расчёта.

Основные цели второй лабораторной работы: на примере расчёта многопролетной статически определимой балки показать основные этапы расчета и всю цепочку команд, участвующих в расчете конструкции, состоящей из нескольких элементов, научиться назначать стандартные типы сечений железобетонных стержней, задавать врезные шарниры, прикладывать распределенные нагрузки и изгибающие моменты, продолжить освоение навыков графического и табличного оформления результатов расчёта.

Основные цели третьей лабораторной работы: на примере расчёта железобетонной плиты показать основные этапы расчета и всю цепочку команд, участвующих в расчете конструкции, состоящей из пластинчатых конечных элементов, научиться назначать поперечные сечения плоских элементов и изотропные материалы, освоить алгоритм задания нескольких загружений для одной расчетной схемы и составления PCУ, применить табличный вариант оформления результатов расчета.

4

1. Расчет консольной балки

1.1. Варианты заданий

Для балки (рис. 1.1) требуется:

- выполнить расчет на статические нагрузки;
- вывести на экран деформированную схему,

эпюры изгибающих моментов M_V и поперечных сил Q_Z ;

- определить прогиб под силой *P*;
- сравнить результаты аналитического и

численного расчетов.

Сечение — двутавр № 10Б1. Материал балки — стальной прокат из базы данных ТУ 14-2-24—72.

Сосредоточенная сила Р. Интенсивность

постоянной равномерно распределенной нагрузки *q* = 1.8 кH/м.

Длина а.

Р

Ρ

Рис. 1.1. Расчетная схема балки

Табл. 1.1 Варианты заданий к ЛБ №1

№ варианта	№ расчетной схемы	<i>Р,</i> кН	А, м
1	1	1	4
1	2	1,5	3,5
2	3	2	3
3	4	2,5	2,5
4	1	3	2
5	2	1	1,5
6	3	1,5	4
7	4	2	3,5
8	1	2,5	3
9	2	3	2,5
10	3	1	2
11	4	1,5	1,5
12	1	2	4
13	2	2,5	3,5
14	3	3	3
15	4	1	2,5
16	1	1,5	2
17	2	2	1,5
18	3	2,5	4
19	4	3	3,5
20	1	1	3
21	2	1,5	2,5
22	3	2	2
23	4	2,5	1,5
24	1	3	4
25	2	1	3,5

1

5

1.2. Алгоритм расчета в ПК ЛИРА 10.41

Условие задания

Для балки (рис. 1.2) требуется:

- выполнить расчет на статические нагрузки;
- вывести на экран деформированную схему, эпюры изгибающих моментов Му и поперечных сил Qz;
 - определить прогиб под силой Р;
 - сравнить результаты аналитического и численного расчетов.

Сечение — двутавр № 10Б1. Материал балки — стальной прокат из базы данных ГОСТ 27772—88. Сосредоточенная сила P = 1 кН. Длина балки L = 1 м.



Рис. 1.2. Расчетная схема балки

Методические указания к выполнению лабораторной работы №1

Приступим к созданию расчетной схемы.

1.Запуск программы

2.В редакторе начальной загрузки **Новый проект** (рис. 1.3) выберите **Создать** новый проект и задайте параметры проекта:

	Параметры проекта
Создать новый проект	Имя Задача 1
Недавно использовавшиеся	Расчет консольной балки Описание
Пакетный расчет	Тип создаваемой задачи (1) Плоская ферма или балка-стенка (X.Z)
Вариация моделей	(2) Плоская рама (X,Z,UY) (3) Плоская плита или ростверк (Z,UX,UY) (4) Пространственная ферма или объемный массив (X,Y,Z)
Открыть / Импортировать	 (5) Пространственная конструкция (X,Y,Z,UX,UY,UZ) (7) Пространственная конструкция с учетом депланации стержней (X,Y,Z,UX,UY,UZ,V)
	В задаче будут присутствовать неличейные элементы
	В задаче будет использоваться система « МОНТАЖ »
	В задаче будет использоваться система « ДИНАМИКА + »
	В задаче будат использоваться система « МОСТ »
	Путь C:\Users\Public\Documents\Lira Soft\Lira10.2\FEMProject
	Создать

Рис. 1.3. Редактор начальной загрузки

•имя — Задача 1;

•описание — Расчет консольных балок;

•тип создаваемой задачи — (2) Плоская рама (X, Z, UY). X, Z, UY — возможные линейные и угловые перемещения узлов.

•нажмите кнопку Создать.

3. Настройка сети. В нижней левой части экрана нажмите на кнопку Сеть.

🚥 Ед.Изм. 🕶 🚚 Сеть 👻 🖵 Масштаб 👻

•В раскрывающемся списке задайте: шаг — 1; количество — 2; плоскость — ХОΖ.

4.Создание геометрии расчетной схемы. Схема ► Добавить пространственную раму (кнопка на панели инструментов).

•Заполните параметры шаблона для создания балки. Шаг вдоль оси X — 1 м, Повторов — 1, Число конечных элементов N — 10 (рис. 1.27). Пояснение для параметров шаблона: 1 м — Шаг разбивки (длина фрагмента шаблона вдоль соответствующей оси X, Y или Z); 1 — число повторов с заданным шагом; 10 — число конечных элементов, на которые разбивается заданный Шаг разбивки.

		Параметр	ры по оси Х	
	#	Шаг	Повторов	Ν
	1	1	1	10
*	2			
_		Парамет	ры по оси Ү	
	#	War	Повторов	N
	1.1			1000
•	1	0	0	0
► *	1	Парамет	0	0
► *	1 2	0 Параметр	0	N
► *	1 2 #	0 Парамет, Шаг	0 ры по оси Z Повторов	0 N
► *	1 2 # 1 2	0 Парамет Шаг 0	0 ры по оси Z Повторов 0	0 N 1
▶ * ./*	1 2 # 1 2	0 Параметр Шаг 0 ировать п	0 ры по оси Z Повторов 0 литы перекрыти	N 1 1

Рис. 1.4. Задание параметров расчетной схемы

•Щелкните по кнопке Использовать фрагмент.

•С помощью курсора мыши необходимо созданный фрагмент добавить к расчетной схеме. Для этого курсор мыши подведите к пересечению точечных линий на сети построений (это точка (0;0;0) глобальной системы координат) и при возникновении значка лодтвердите щелчком мыши точку вставки фрагмента схемы.

•Увеличение схемы. Вид ► Увеличить панораму или Вид ► Увеличить в окне
► Увеличить в 8 раз (рис. 1.5).

увелич	 Задавать рамку о Использовать начиранки 	дним нажатием нальную точку как
E	€ 2x	⊇, 2x
E-	⊛ 4x	⊒ 4x
ş	3 8 x	⊲ 8x

Рис. 1.5. Увеличение конструкции в окне

5.Вывод на экран номеров узлов. Вид ► Изменить атрибуты представления модели (кнопка 🔛 на панели инструментов).

•В панели активного режима Атрибуты представления в ветке Узлы установите флажок Номер (рис. 1.6).



Рис. 1.6. Вывод на экран номеров узлов

Уберите флажок с команды Использовать выделенные объекты.
Уберите флажок с команды Добавить префиксы к значениям.
Щелкните по кнопке Назначить.

На рис. 1.7 представлена полученная расчетная схема.



Рис. 1.7. Расчетная схема с номерами узлов

6.Выделение левого узла балки (узла № 11). Выбор **Выбрать объекты** (кнопка на панели инструментов).

•С помощью курсора выделите левый узел № 11 балки (*узел окрасится в красный цвет*). По умолчанию отметка узлов и элементов выполняется с помощью прямоугольной рамки. При движении рамки налево элементы и узлы выделяются полным попаданием либо касанием, а при движении рамки направо — только полным попаданием.

7.Задание граничных условий. Схема ► Назначить связи (кнопка 🌺 на панели инструментов).

•В панели активного режима с помощью установки флажков отметьте те направления, по которым запрещены перемещения узла № 11 (Х — перемещение в направлении оси Х, Z — перемещение в направлении оси Z, UY — угол поворота вокруг оси Y) (рис. 1.8). Красный цвет у узла исчезнет. Под узлом будут изображаться связи, запрещающие линейные перемещения; над узлом — запрещающие угловые перемещения

. Цвет связей соответствует цвету осей, в направлении (или вокруг) которых

запрещено перемещение 🖵 🛌 х.

•Щелкните по кнопке Закрепить.

8.Выделение элементов. Выбор ► Выбрать объекты (кнопка 🐜 на панели инструментов).

•С помощью курсора выделите все конечные элементы (элементы окрасятся в красный цвет). Узлы и элементы можно выделять прямоугольной рамкой, а можно двойным щелчком левой кнопкой мыши по узлу или элементу.

9.Задание сечений. Редакторы ► Редактор сечений/жесткостей (кнопка панели инструментов). •Из категории Стальные сечения УСтальные сечения • в раскрывающемся списке выберите тип сечения Двутавр прокатный (на экран выводится панель для задания геометрических размеров выбранного типа сечения).

•На панели Стальное сечение вкладке Двутавр прокатный задайте параметры сечения (рис. 1.9). Таблица сортамента — ГОСТ 26020—83. Двутавр с параллельными гранями полок типа Б, Профиль 10Б1 (рис. 1.10).

la	правление связи	Bce
~	перемещение вдоль Х	DCC
	перемещение вдоль Ү	
~	перемещение вдоль Z	
	поворот относительно Х	
Y	поворот относительно Ү	
	поворот относительно Z	
	депланация W	
•	Индикация назначения	Закрепить
-	Индикация назначения	Закрепит
	Индикация назначения	Закрепить свободить
~	Индикация назначения Оч Политика назначени	Закрепить свободить ия
*	Индикация назначения О Политика назначен Заменить закрепление новь Освободить все направления	Закрепить свободить ия ім; я;
*	Индикация назначения Он Политика назначени Заменить закрепление новы Освободить все направления Добавить закрепление по ук направлениям; Освободить закрепление по ук	Закрепить свободить ия ім; я; азанным

Рис. 1.8. Задание связей

Материал Парам	пы 🚺 🚺 🤇	С ечени е сечен	ия 🔗 Главный вид ния 👻 🃆 Стальные сечения ·
4] 4]	43		-
Имя		Цвет	Описание
I. Двутавр	прок. 10		

Рис. 1.9. Выбор вкладки Сечения

	ния стержней	: Двутавр прок	001061								
Имя		Описание									
1051											
Страна		Таблица со	ртамента				Профиль	Поворот			
RUS		 FOCT 260 	20 - 83 Двутаво	с параллельня	ыни граняни	полок типа	1061	· I ·			
Coer	а профиля \$21					T	Z1				
بر ۳	R R	g				9	Y				
Учитыва	ьт ть при расчете сденга										
Учтыва влияние	ьт ть при расчете сденга			Геометр	ические хара	0.41	5				
Учтыва влияние А. см	br ть при расчете сдачита	ћ, см	Ы, см	Геометр	жнеские хара w. см	0.41 5	Hertil R. (м	r, cm	m	тс/м
Учтыва влиячие А. см 10.32	br ть при расчете сденга	h, cM	Ы, см 5.5	Геомет; 0.41	жнеские хара w. см	0.41 5 ктеристики сене вf, см 0.57	ныя Вола Вола Вола Вола Вола Вола Вола Вола	эм 0	F, CM	m. 0.0081	тс/м
Учитыва влияние А. см 10.32	ьт ри расчете сденга	h, см и, см^4	Ы, см 5.5	Гесметр b 0.41 Расня Ядровые ;	жнеские хара w. см етные характе расстояния, сі	ктеристики сечени вf. см 0.57 ристики сечени	ныя коня 0.7 в Срезные і	ом 0 Пощади, см [*] 2	г, см Ях см ²³	0.0081	тс/м
Учитыва влияние А. см 10.32 М ју1	br расчете сденита 10 оменты инерца 121	h. см и. см^4 k1	bf, см 5.5 У1+	Геометр 0.41 Расня Ядровые ; У1 -	зические хара w. см етные характе расстояния, с Z1+	стеристики сече в, см 0.57 ристики сечени и 21 -	ныя выя 0.7 к Срезные і Бу	ом 0 площади, см ⁻² 2 Fz	г, см - Sy, см [*] 3	m, 0.0081	тс/м ku, см^е

Рис. 1.10. Панель Стальные сечения стержней

•При корректном вводе геометрических размеров на экране изображается эскиз создаваемого сечения со всеми размерами.

•Выпишите значения осевого момента инерции I_{y1}= 171*10⁻⁸ м⁴ и высоты сечения h = 0,1 м для аналитического решения задачи.

•Для того, чтобы увидеть в списке сечений отредактированные параметры сечения, надо щелкнуть курсором по любой другой заполненной или незаполненной строке в этой части экрана.

•Для выхода из Редактора сечений/жесткостей щелкните мышкой по вкладке Главный вид.

10.Задание материала. Редакторы ► Редактор материалов (кнопка 🧇 на панели инструментов).

•Выберите из категории Материал из базы данных ► Стальной прокат из базы данных ►ГОСТ 27772—88 (рис. 1.11).

•Выпишите значение модуля упругости первого рода E = 2,06*10⁸ кH/м² для аналитического решения задачи.

•Для выхода из Редактора материалов щелкните мышкой по вкладке Главный вид.

Материал из базы данных : Стальной	а прокат из базы данных : Ст. пр. БД				
Имя	Описание				
Ст. пр. БД (С235)	FOCT 27772-88				
Объемный вес 77	кH/м^3				
Нормы	Тип проката		Марка стали		
CIT 16.13330.2011	• Фасонный	٠	C235	٠	

Рис. 1.11. Задание материала

 11.Назначение сечений и материалов элементам расчетной схемы.
 Конструирование ► Назначить сечение, материал и параметры конструирования (кнопка manenu инструментов (рис. 1.12).

•На панели активного режима Назначить жесткости в Параметрах назначения укажите радиокнопкой Использовать сечение и материал.

•Выберите в Доступные сечения — 1. Двутавр прокатный 10 Б1, в Доступных материалах — 1. Стальной прокат из базы данных ГОСТ 27772—88.

•Нажмите кнопку Назначить.



Рис. 1.12. Назначение жесткости

12.Выделение правого узла балки (узла № 1). Выбор **Выбрать объекты** (кнопка кнопка на панели инструментов).

•С помощью курсора выделите правый узел № 1 балки (*узел окрасится в красный цвет*). По умолчанию отметка узлов выполняется с помощью прямоугольной рамки. При движении рамки налево элементы и узлы выделяются полным попаданием либо касанием, а при движении рамки направо — только полным попаданием.

13.Формирование загружений. **Редакторы** ► **Редактор загружений** (кнопка 🔛 на панели инструментов).

•На панели активного режима щелкните по закладке Добавить загружение и в раскрывающемся списке выберите Статическое загружение.

•Для выхода из вкладки Редактор загружений щелкните мышкой по вкладке Главный вид.

14.Назначение нагрузок. Схема ► Назначить нагрузки (кнопка инструментов).

•В панели активного режима Добавление нагрузок кликните на выпадающий список Библиотека нагрузок ► Нагрузки на узел ► Сосредоточенная сила (по умолчанию указана система координат Глобальная, направление — вдоль оси Z) (рис. 1.13).

^	Добав	пение нагрузок
-	Библиотека н	агрузок 🝷
Сосре	адоточенная сил	а: Сосредоточенная
Имя	Сосредо	точенная сила
Опис	ание	
		12.1
	7	D.,
1		FL
	Y	1
		× .
	-v	
	-x	100 C
	-х Система	координат
⊙ г	-х Система побальная	координат
⊙ г. О п	— X Система побальная	координат
⊙ г. О л	— X Система побальная окальная	координат ОХ ОҮ ОҮ
⊙ п О л	— Х Система побальная окальная	координат О Х О Ү ⊙ Z
⊙ г. О л	— X Система побальная окальная Величина	координат ОХ ОҮ © Z
⊙ гл О л Р=		координат ОХ ОҮ ⊙ Z а нагрузки
⊙ гл О л Р=	— X Система побальная окальная Величина 	координат ОХ ОҮ ⊙Z в нагрузки кН
⊙ г. О л Р=	— X Система побальная окальная Величина 1	координат ОХ ОҮ ⊙Z анагрузки кН
⊙ гл О л Р=		координат ОХ ОҮ © Z анагрузки кН
⊙ г. О л Р=		координат ○ Х ○ Y ⊙ Z а нагрузки кН Назначить ©
⊙ г О л Р= ×		координат ОХ ОҮ © Z а нагрузки кН Назначить © ание нагрузок

Рис. 1.1.13. Панель Назначить нагрузки

•В панели Сосредоточенная сила задайте величину силы P = 1 кН (рис. 1.13). Правый узел вновь станет белым, и на экране появится стрелка, изображающая сосредоточенную силу (рис. 1.14).



Рис. 1.14. Расчетная схема балки

15.Статический расчет. **Расчет** ► Выполнить расчет (кнопка *К* на панели инструментов).

•Параметры расчета оставьте по умолчанию и нажмите на кнопку Запустить расчет — Параметры расчет (рис. 1.15).

13

•Фон экрана станет черным, но потом снова появится расчетная схема на белом фоне. Если она не появляется и в левом нижнем углу будет надпись: «Задание не выполнено», то для поиска ошибок надо выполнить действия, описанные в разделе 3 (Диагностика ошибок).

•Если включена галочка **Переходить в результаты после успешного расчета**, то переход в режим результатов расчета осуществляется автоматически.

•Перейти в режим результатов расчета можно с помощью меню Расчет ► Результаты расчета (кнопка // на панели инструментов).

•В режиме просмотра результатов расчета по умолчанию расчетная схема отображается не деформированной.

16.Просмотр схемы деформирования. Результаты ► Деформированная схема (рис. 1.16).

•Верните исходную схему. Результаты 🕨 Исходная схема.

	Основные
ип расчет	Полный
птимизация	Автоматически выбират
очность разло атрицы жести	ожения 1е- 7
очность реше инамической	ния 1е-5 задачи 1е-5
Использова расчет	ать многопроцессорный
Использова оболочки	ать 6 степеней свободы в К
Использова оболочки	ать 6 степеней свободы в М

Рис. 1.15. Панель активного режима Параметры расчета



Рис. 1.16. Деформированная схема

Приступим к оформлению отчета.

17. Приведите в отчете расчетную схему балки с номерами узлов.

18.Покажите поперечное сечение.

19.Представьте исходные данные в отчете.

20.Выведите на экран и представьте в отчете эпюру изгибающих моментов Му, указав значения ординат (рис. 1.17).

•Результаты ► Результаты по стержням (кнопка ²² на панели инструментов)
 ► Эпюра Му ³ → .

•Вид ► Изменить атрибуты представления модели (кнопка инструментов) ► Элементы ► Значения с мозаики.

Убирать галочки с тех команд, которые выбраны по умолчанию, не рекомендуется.



Рис. 1.17. Эпюра изгибающих моментов Му

•Сделайте снимок эпюры Му для создания отчета. Документирование ► Изображение с экрана. Нажмите кнопку 🔊 на панели активного режима Изображение с экрана. 21.Выведите на экран и представьте в отчете эпюру поперечных сил Qz, указав значения ординат.

•По стеку активных режимов возвратитесь к режиму Результаты по стержням.



•Для выбора эпюры Qz (рис. 1.18) щелкните по кнопке Qz на панели активного режима).



Рис. 1.18. Эпюра поперечных сил Qz

•Сделайте снимок эпюры Qz для создания отчета. Документирование ► Изображение с экрана, нажмите кнопку 📷 на панели активного режима Изображение с экрана.

22.Формирование и просмотр таблиц результатов расчета. Результаты ► Таблицы результатов (кнопка III) на панели инструментов).

•В боковой панели Формирование таблиц выделите название желаемой таблицы Перемещения узлов в ГСК (указав при необходимости для выделенных элементов или загружений) (рис. 1.19) и нажмите на кнопку Сформировать.

•Полученная таблица **Перемещения узлов в ГСК** отобразится в нижней части экрана (рис. 1.20).

•Выпишите значение перемещения в узле № 1 по оси Z и занесите его в отчет.

•Таблицы экспортируют в Word, Excel, Html или сохраняют для документирования.



Рис. 1.19. Формирование таблиц результатов

Перемеще	ения узлов в ГС 🖲	₹ X	
Номер	Перемещение Z (мм)	Перемещение uY (рад)	Загружение
1	-0.946	0.00142	1
2	-0.805	0.00141	1
3	-0.666	0.00136	1
4	-0.533	0.00129	1
5	-0.409	0.00119	1
6	-0.296	0.00106	1
7	-0.197	0.000908	1
8	-0.115	0.000724	1
9	-0.053	0.000511	1
10	-0.0137	0.00027	1
11			1

Рис. 1.20. Перемещения узлов в ГСК

•Сохраните изображение в той же папке, где хранятся эпюры, раскрыв список **Таблица узлов** в заголовке таблицы и выбрав команду **Сохранить изображение**.

23.Формирование отчета. **Результаты** ► **Формировать отчет** (кнопка панели инструментов).

•В диалоговом окне **Формирование отчета** выделите нужные изображения, таблицы, а также фрагменты текста (постоянные части отчетов, которые не изменяются от отчета к отчету) для будущего отчета, каждый раз нажимая кнопку **Добавить** (рис. 1.21).

•После добавления редактирование местоположения набранных изображений, фрагментов и таблиц осуществляется с помощью кнопок **↓** и **↑**.

•Отчеты экспортируются в Word, Excel, PowerPoint, Html.

Формирование отчета		
Экспортировать отчет в 🔻 Параметры 👻		
🖏 Изображения 📃 Таблицы 🛿 Фрагменты	1	↓ ↑
💭 Деформированная схема.Png		№ Имя
🧱 Эпюра изгибающих моментов.Png		
Snюpa поперечных сил.Png		
	С новой страницы	
	Добавить > Все >>	
	Добавить пустую страницу >	

Рис. 1.21. Диалоговое окно Формирование отчета

24. Рассчитайте прогиб под силой при помощи правила Верещагина. Расчет занесите в отчет.

25.Сравните результаты аналитического и численного расчетов.

1.3. Образец выполнения работы

1.3.1. Задание

Для балки (рис. 1.22) требуется:

- выполнить расчет на статические нагрузки;
- вывести на экран деформированную схему, эпюры изгибающих моментов M_y и поперечных сил Q_z ;
- определить прогиб под силой *P*;
- сравнить результаты аналитического и численного расчетов.

Сечение – двутавр №10Б1. Материал балки – стальной прокат из базы данных ГОСТ 26020-83.

Сосредоточенная сила P = 1,3 кH.

Длина a = 1,4 м.



Рис. 1.22 Расчетная схема балки



Рис. 1.24 Эпюра изгибающих моментов M_{γ}



Рис. 1.25 Эпюра поперечных сил Q_z

Перемещения	узлов в ГСК 🔻 🗙		
Номер	Перемещение Z (мм)	Перемещение uY (рад)	Загружение
1	-8.4388	0.0036166	1
2	-7.9325	0.0036166	1
3	-7.4262	0.0036166	1
4	-6.9199	0.0036166	1
5	-6.4135	0.0036166	1
6	-5.9072	0.0036166	1
7	-5.4009	0.0036166	1
8	-4.8945	0.0036166	1
9	-4.3882	0.0036166	1
10	-3.8819	0.0036166	1
11	-3.3755	0.0036166	1
12	-2.8709	0.0035805	1
13	-2.3764	0.003472	1
14	-1.9021	0.0032911	1
15	-1.4582	0.003038	1
16	-1.0549	0.0027125	1
17	-0.70211	0.0023147	1
18	-0.41013	0.0018445	1
19	-0.18903	0.001302	1
20	-0.048945	0.00068716	1
21			1

Рис. 1.26 Перемещения узлов ГСК

1.3.3. Аналитический расчет

Определение моментов для схемы с загружением P = 1,3 кH: $\sum Y = Y - P = Y - 1,3 = 0; Y = 1,3$ кH; $\sum M = M - P \cdot a = M - 1,3 \cdot 1,4 = 0; M = 1,82$ кHм; $0 \le x \le 1,4$ м: $M_y = Y \cdot x - M = 1,3 \cdot x - 1,82;$ $x = 0 - M_y = 1,3 \cdot 0 - 1,82 = -1,82$ кHм; x = 1,4 м $- M_y = 1,3 \cdot 1,4 - 1,82 = 0$ кHм. Определение моментов для схемы с загружением P = 1 кH: $\sum Y = Y - P = Y - 1 = 0; Y = 1$ кH; $\sum M = M - P \cdot a = M - 1 \cdot 1,4 = 0; M = 1,4$ кHм; $0 \le x \le 1,4$ м: $M_y = Y \cdot x - M = 1 \cdot x - 1,4;$

$$x = 0 - M_y = 1 \cdot 0 - 1,4 = -1,4$$
 кНм;
 $x = 1,4$ м - $M_y = 1 \cdot 1,4 - 1,4 = 0$ кНм;

Определение прогиба под силой при помощи правила Верещагина:

$$z = \sum \int \frac{M_y M_1}{EY} dx = \frac{1}{EY} \left(\frac{1}{2} \cdot 1,82 \cdot 1,4 \cdot \frac{2}{3} \cdot 1,4 \right) =$$
$$= \frac{1}{2,06 \cdot 10^8 \cdot 171 \cdot 10^{-8}} \left(\frac{1}{2} \cdot 1,82 \cdot 1,4 \cdot \frac{2}{3} \cdot 1,4 \right) = 3,375 \text{ MM}.$$



1.3.4. Сравнение результатов

По итогам численного расчета в программе ЛИРА прогиб под приложенной силой составляет: z = 3,3755 мм; что соответствует результатам аналитического ручного расчета: z = 3,375 мм.

2.1. Варианты заданий

Для балки (рис. 2.1) прямоугольного поперечного сечения 20*40 см требуется:

- выполнить расчет на статические нагрузки:
- вывести на экран эпюры изгибающих моментов *Му* и поперечных сил **Q**;
- определить поперечную силу и изгибающий момент в заданном сечении;
- определить наибольшие значения нормальных напряжений в заданном сечении;
- сравнить результаты аналитического и численного расчетов.

№ варианта	№ расч. схемы	<i>l</i> 1, м	<i>q</i> , кН/м	<i>b</i> , м	<i>l</i> 2, м	<i>Р</i> , кН	№ сечения	а, м	С, М	<i>М</i> , кН∙м
1	1	10	1,2	1,0	8	3	1	1,0	1,0	2,0
2	2	14	2,0	0,8	7	2,5	2	1,2	2,2	2,2
3	3	8	1,8	1,9	9	6	3	2,0	1,4	2,7
4	4	12	3,0	1,4	6	2,8	4	2,2	1,6	2,4
5	5	9	1,5	1,6	11	7	1	1,3	1,8	2,5
6	6	11	2,5	2,1	10	3,3	2	2,1	2,0	1,1
7	7	7	1,4	1,2	12	5	3	1,4	1,1	2,6
8	8	6,6	0,9	1,8	15	10	4	1,9	1,3	4
9	9	5	1,0	1,5	14	4	1	1,5	1,5	2,8
10	0	13	2,2	2,0	14	3,2	3	0,8	1,7	1,5
11	1	10	1,5	1,0	8	3	1	1,0	1,0	2,6
12	2	14	2,5	0,8	7	2,5	2	1,2	2,2	4
13	3	8	1,4	1,9	9	6	3	2,0	1,4	2,8
14	4	12	0,9	1,4	6	2,8	4	2,2	1,6	1,5
15	5	9	1,0	1,6	11	7	1	1,3	1,8	2,0
16	6	11	2,2	2,1	10	3,3	2	2,1	2,0	2,2
17	7	7	1,2	1,2	12	7	3	1,4	1,1	2,7
18	8	6,6	2,0	1,8	15	3,3	4	1,9	1,3	2,4
19	9	5	1,8	1,5	14	5	1	1,5	1,5	2,5
20	0	13	3,0	2,0	14	10	3	0,8	1,7	1,1
21	1	10	1,5	1,0	8	4	1	1,0	1,0	2,6
22	2	14	2,5	0,8	7	3,2	2	1,2	2,2	4
23	3	8	1,8	1,9	9	3	3	2,0	1,4	2,8
24	4	12	3,0	1,4	6	2,5	4	2,2	1,6	2,4
25	5	9	1,5	1,6	11	6	1	1,3	1,8	2,5
26	6	11	2,5	2,1	10	2,8	2	2,1	2,0	1,1
27	7	7	1,4	1,2	12	7	3	1,4	1,1	2,6
28	8	6,6	0,9	1,8	15	3,3	4	1,9	1,3	4
29	9	5	1.0	1.5	14	5	1	1.5	1.5	2.8

Табл. 2.1. Варианты заданий к ЛБ №2

Материал балки — бетон В30 по СП-52-101—2003. Поперечное сечение - прямоугольное 20*40 см. Исходные данные выбираются в соответствии с рис. 2.1 и табл. 2.1.



Рис. 2.1. Расчетные схемы

2.2. Алгоритм расчета в ПК ЛИРА 10.4²

Условие задания:

Для балки (рис. 2.2) прямоугольного поперечного сечения 20*40 см требуется: •выполнить расчет на статические нагрузки; •вывести на экран эпюры изгибающих моментов Му и поперечных сил Qz;

•определить поперечную силу и изгибающий момент в сечении 1;

•определить наибольшие значения нормальных напряжений в заданном сечении;

•сравнить результаты аналитического и численного расчетов. Материал балки — бетон B25 по СП-8-101—2003. Интенсивность постоянной равномерно распределенной нагрузки q = 0.8 кН. Величина сосредоточенной силы P = 0.7 кH, а сосредоточенного момента M = 1.5 кH*м. Заданное сечение 1 показано на схеме красным цветом.



Рис. 2.2. Многопролетная балка

Методические указания к выполнению лабораторной работы №2

1. Приступим к созданию расчетной схемы.

2.Запуск программы.

3.В редакторе начальной загрузки **Новый проект** выберите **Создать новый проект** и задайте параметры проекта:

•имя — Задача 2;

•описание — Расчет многопролетной балки;

•тип создаваемой задачи — (2) Плоская рама (X, Z, UY). X, Z, UY — возможные линейные и угловые перемещения узлов;

•нажмите кнопку Создать.

4.Создание геометрии расчетной схемы. Схема ► Добавить пространственную раму (кнопка 🕅 на панели инструментов):

² [1]

		Папамал	ALL DO DOW X	
-		Парамоц		
	#	War	Повторов	N
	1	3	1	1
	2	2	1	1
	3	3	1	1
•	4	2	1	1
*	5			
		Парамет	ры по оси Ү	
	#	War	Повторов	N
			-	1000
۴.	11	0	0	0
•	2	Парамет	0	0
•	1	Парамет	о ры по оси Z	0
•	1 2	Парамет) Шаг	о ры по оси Z Повторов	N
۶ ۲	1 2 # 1	Парамет War 0	0 ры по оси Z Повторов 0	0 N
• •	1 2 # 1 2	О Парамет Шаг О	0 ры по оси Z Повторов 0	0 N 1
*	1 2 # 1 2 сенер	О Парамет Шаг О ировать п	0 ры по оси Z Повторов 0 литы перекрыт	0 N 1 1

Рис. 2.3. Заполнение шаблона

•Заполните параметры шаблона для создания балки, разбив ее на шаги. Границами шага разбивки являются опоры, сечения, в которых приложены сосредоточенные силы и моменты, границы действия распределенных нагрузок, сечения, в которых надо определять внутренние силовые факторы (рис. 2.3).

•Щелкните по кнопке Использовать фрагмент.

•С помощью курсора мыши необходимо созданный *фрагмент добавить к расчетной схеме*. Для этого курсор мыши подведите к пересечению точечных линий на сети построений (это точка (0;0;0) глобальной системы координат) и при возникновении значка **А** подтвердите щелчком мыши точку вставки фрагмента схемы.

5.Вывод на экран номеров узлов. Вид ► Изменить атрибуты представления модели (кнопка 🔛 на панели инструментов).

•В панели активного режима Атрибуты представления в ветке Элементы установите флажок Номер (рис. 2.4, а).

•В панели активного режима Атрибуты представления в ветке Узлы установите флажок Номер (рис. 2.4, б).

•Уберите флажок с команды Использовать выделенные объекты.

•Уберите флажок с команды Добавить префиксы к значениям.

•Щелкните по кнопке Назначить (рис. 2.4).

Те выделения (галочки), которые даются программой по умолчанию снимать не рекомендуется.



Рис. 2.4. Вывод на экран номеров: а — элементов; б — узлов

6.Назначение шарнира. Схема ► Назначить шарниры (кнопка 🔞 на панели инструментов) (рис. 2.6).

•Не следует путать связи и врезные шарниры. *Связи* — это опоры. Они соединяют элемент с землей. В связях указываются направления, по которым запрещены перемещения. Врезные шарниры соединяют элементы. Для шарниров указываются направления, по которым разрешены перемещения.

•Выделите элемент № 1 (рис. 2.5), в котором справа находится врезной шарнир. Для вызова панели активного режима **Параметры выбора объекта** одновременно нажмите клавиши Ctrl + Shift. Не отпуская их, двигая курсором справа налево, выделите элемент № 1 (элемент окрасится в красный цвет).

•В панели активного режима Назначить шарниры с помощью установки флажка укажите Направление шарнира — Поворот относительно оси Y (UY).



Рис. 2.5. Расчетная схема с номерами узлов и элементов

•На этой же панели в разделе Политика назначения надо показать, что врезной шарнир примыкает ко второму (правому) узлу выделенного элемента.

•Отмечая флажком Индикация назначения, предварительно можно увидеть заданный шарнир 🔅, где три верхних цвета обозначают перемещение вдоль X, Y, Z, а три нижних — поворот относительно осей X, Y, Z (цвет наложенных связей отвечает цвету осей).

•После этого щелкните по кнопке Назначить.

•Аналогично выделите элемент № 4 и врежьте шарнир, примыкающий к первому (левому) узлу элемента.

-	поворот относительно UX
~	поворот относительно UY
	поворот относительно UZ
	Депланация W
2	Индикация назначения
	Назначить
	Освободить
,	Параметры назначения
2	Политика назначения
Об	рабатывать шарниры в местах:
06	рабатывать шарниры в местах: примыкания к 1-ому узлу выделенных элементов
06 ©	рабатывать шарниры в местах: примыкания к 1-ому узлу выделенных элементов примыкания ко 2-ому узлу выделенных элементов
06 © ©	рабатывать шарниры в местах: примыкания к 1-ому узлу выделенных элементов примыкания ко 2-ому узлу выделенных элементов примыкания к обоим узлам выделенных элементов
06 © ©	рабатывать шарниры в местах: примыкания к 1-ому узлу выделенных элементов примыкания ко 2-ому узлу выделенных элементов примыкания к обоим узлам выделенных элементов примыкания к выделенным узлам выделенных элементов

Рис. 2.6. Назначение врезных шарниров

7.Упаковка схемы. Правка ► Упаковать модель (кнопка 💐 на панели инструментов). В диалоговом окне Упаковка модели щелкните по кнопке Упаковать (эта команда осуществляет «сшивку» совпадающих элементов и узлов).

8.Выделение третьего и первого узлов, имеющих шарнирно- подвижные опоры.
 Выбор ► Выбрать объекты (кнопка на панели инструментов). После появления панели активного режима Параметры выбора объектов с помощью курсора выделите

узлы № 3 и 1 (узлы окрасятся в красный цвет). По умолчанию отметка узлов выполняется с помощью прямоугольной рамки. При движении рамки налево элементы и узлы выделяются полным попаданием либо касанием, а при движении рамки направо — только полным попаданием.

Выделение узлов и элементов можно производить при нажатых клавишах Ctrl + Shift. Преимущество этого способа вызова панели активного режима **Параметры выбора объектов** заключается в том, что после отпускания клавиш Ctrl + Shift панель активного режима предыдущей команды не исчезает с экрана и не надо использовать стек активных режимов, чтобы снова вызвать ее.

9.Задание связей для узлов № 3 и 1. Схема ► Назначить связи. На панели активного режима Назначить связи отметьте галочкой запрещенное перемещение в направлении Z (рис. 2.7). Щелкните по кнопке Закрепить (красный цвет у узлов исчезнет).

Под узлами будут изображаться связи, запрещающие линейные перемещения

10.Выделение левого узла балки (узла № 5). Для вызова панели активного режима **Параметры вызова объекта** одновременно нажмите клавиши Ctrl + Shift. Не отпуская их, курсором выделите правый узел балки (*узел окрасится в красный цвет*).

11.Задание связей узлу № 5. Схема ► Назначить связи. На панели активного режима Назначить связи отметьте галочкой *запрещенные* перемещения. Так как узел № 5 имеет жесткую заделку, надо запретить линейные перемещения в направлении осей X, Z и поворот вокруг оси Y (рис. 2.7). Щелкните по кнопке Закрепить (*красный цвет у узла исчезнет*). Под узлом будут изображаться связи, запрещающие линейные перемещения

Направление связи	Направление связи
Перемещение вдоль Х	перемещение вдоль Х
🗆 перемещение вдоль Ү	П перемещение вдоль Ү
перемещение вдоль Z	перемещение вдоль Z
🗆 поворот относительно Х	поворот относительно Х
поворот относительно Ү	🗹 поворот относительно Ү
поворот относительно Z	П поворот относительно 2

Рис. 2.7. Назначение связей: а — для шарнирно-подвижных опор; б — для заделки

Если связей недостаточно для обеспечения кинематической неизменяемости конструкции, то программа считать не будет и даст надпись «Геометрически изменяемая система».

12.Выделение всех элементов балки. Выбор ► Выбрать все узлы и элементы (Ctrl + A).

13.Задание сечений. Редакторы ► Редактор сечений/жесткостей (кнопка панели инструментов) ► Параметрические сечения (рис. 2.8).

•Из категории Параметрическое сечение выберите тип сечения Брус (на экран выводится панель для задания геометрических размеров выбранного типа сечения).

•На панели Параметрические сечения стержней задайте параметры сечения Брус: геометрические размеры — B = 20 см; H = 40 см.

•Эскиз создаваемого сечения со всеми размерами изобразится на экране при корректном вводе геометрических размеров.

•Для выхода из Редактора сечений/жесткостей щелкните мышкой по вкладке Главный вид.

• Материалы Х Сечения • Г/ Параметрические сечения •	аеный ехур 🗊 Стальные сечения • 🛛 🚈 Сечения плит • 🌱 Пе	еременные сечения • 🏾 🎲 Специальные сечения • 🛛 👒	Удалить текущее сечение
4] 4] 4]	Papere torrectore ceremin o Vina 171 Ecro (0.2x0.4)	стержний : Брус : Брус (0 2x0.4) Описание	
1 Spyc (0.2x0.4)		B, OH	1
	u	Vertupatu nov piscente auveren zaterile	
		О Подбор арматуры	

Рис. 2.8. Выбор сечения

14.Задание материала. Редакторы ► Редактор материалов (кнопка 🥯 на панели инструментов) (рис. 2.53).

•Выберите из категории Материал из базы данных ► Бетон из базы данных ► СП-52-101—2003. Затем в классе бетона по прочности укажите В25.

•Для выхода из Редактора материалов щелкните мышкой по вкладке Главный

вид.

🖓 Линейний матер	+ 1.54	³ Неличейный материал •	рунтовый материал +	Материал из ба:	зы данных • 👒 Удалить материал
4 55 54			Материал из базы данных :	сточил балы данных	Белен БД (825)
Ина	Uper	Описание	Ves Bron Ell (\$25)	Onicasie CI1-52-101-20	03(63-13330-2012)
归 1. Бетон Б.Д. (825)	-	CR-52-101-2003(53-13330-2012)	Объемный вес 24.5	кН/м^З	
			Типбетона		Тяжелый
			Класс бетона по прочн	ости	025

Рис. 2.9. Задание материала

15. Назначение сечений и материалов элементам расчетной схемы. Конструирование ▶ Назначить сечение, материал и параметры конструирования (кнопка 💅 на панели инструментов).

•На панели активного режима Назначить жесткости в Параметрах назначения укажите радиокнопкой Использовать сечение и материал.

1. Epyc (0.2x0.4) • , в Доступных •Затем выберите в Доступных сечениях – материалах — 🏭 1. Бетон БД (В25). 'СП-52-101-20(🗸

•Нажмите на кнопку Назначить.

16.Формирование загружений. Редакторы 🕨 Редактор загружений (кнопка на панели инструментов).

•На панели активного режима щелкните по закладке Добавить загружение и в раскрывающемся списке выберите Статическое загружение.

•Для выхода из вкладки Редактор загружений щелкните мышкой по вкладке Главный вид.

17. Назначение нагрузок. Схема 🕨 Назначить нагрузки (кнопка 🚟 на панели инструментов).

•Выделите элемент № 2. Для вызова панели активного режима Параметры вызова объекта одновременно нажмите клавиши Ctrl + Shift. Не отпуская их, двигая курсор справа налево, выделите элемент № 2 (элемент окрасится в красный цвет).

•В панели активного режима Добавление нагрузок кликните на выпадающий список Библиотека нагрузок > Нагрузки на стержень > Равномерно распределенная сила (по умолчанию указана система координат Глобальная, направление — вдоль оси Z).

•В панели Равномерно распределенная сила задайте интенсивность нагрузки Р = 0.8 кН/м (рис. 2.10, а) (красный цвет у элементов исчезнет, и на экране появятся стрелки, изображающие распределенную силу).

•Сила считается положительной, если она направлена вниз, т.е. в сторону, противоположную оси Z.

•Выделите курсором узел № 2, нажав кнопки Ctrl + Shift.

•В панели активного режима Добавление нагрузок кликните на выпадающий список Библиотека нагрузок > Нагрузки на узел > Сосредоточенная сила (по умолчанию указана система координат Глобальная, направление — вдоль оси Z).



Рис. 2.10. Назначение нагрузок:

а — равномерно распределенная нагрузка; б — сосредоточенный момент

•На панели Сосредоточенная сила задайте величину силы P = 0.7 кН (рис. 2.10) (элемент вновь станет белым, и на экране появится стрелка, изображающая сосредоточенную силу).

•Выделите курсором узел № 1, нажав кнопки Ctrl + Shift.

•В панели активного режима Добавление нагрузок кликните на выпадающий список Библиотека нагрузок ► Нагрузки на узел ►Сосредоточенный момент (по умолчанию указана система координат Глобальная).

•Не забудьте указать, что момент действует вокруг оси Ү!

•Надо указать знак внешнего момента. Момент считается положительным, если, глядя с конца оси Y, он поворачивает балку по часовой стрелке. Ось Y на экране направлена от нас, следовательно, глядя на экран, момент, действующий против часовой стрелки, получает знак плюс.

•На панели Сосредоточенный момент задайте величину момента M = 1.5 кН (рис. 2.10, б) (элемент вновь станет белым, и на экране появится стрелка, изображающая сосредоточенную силу).

31

18.Статический расчет. Расчет ► Выполнить расчет (кнопка 🏑 на панели инструментов).

•Параметры расчета оставьте по умолчанию и нажмите на кнопку Запустить расчет Запустить расчет . Фон экрана станет черным, но потом снова появится ваша расчетная схема на белом фоне. Если расчетная схема не появляется и в левом нижнем углу будет надпись «Задание не выполнено», для поиска ошибок надо выполнить действия, описанные в разделе 3 (Диагностика ошибок).

•Если включена галочка **Переходить в результаты после успешного расчета**, переход в режим результатов расчета осуществляется автоматически.

•Переход в режим результатов расчета можно осуществить с помощью меню
 Расчет ► Результаты расчета (кнопка на панели инструментов).

•В режиме просмотра результатов расчета по умолчанию расчетная схема отображается не деформированной.

Приступим к оформлению отчета

19.Приведите в отчете расчетную схему балки с номерами узлов и элементов (рис. 2.11). Обратите внимание, что элементы нумеруются слева направо, а узлы справа налево. Номера узлов иногда плохо видны, так как расположены строго над узлами и могут быть скрыты нагрузками, приложенными к этим узлам.



Рис. 2.11. Изображение расчетной схемы многопролетной балки на экране

20.Покажите поперечное сечение.

21.Представьте исходные данные в отчете.

22.Выведите на экран эпюру изгибающих моментов Му (рис. 2.12), указав значения ординат.

•Результаты • Результаты по стержням (кнопка 🚧 на панели инструментов) ≡>> Эпюра Му ► Эпюра Му.

•Вид ► Изменить атрибуты представления модели (кнопка на панели инструментов) ► Элементы ► Значения с мозаики.



Рис. 2.12. Эпюра изгибающих моментов Му

23.Выведите на экран эпюру поперечных сил Qz (рис. 2.13), указав значения ординат.



Рис. 2.13. Эпюра поперечных сил Qz

24.Определите поперечную силу и изгибающий момент в заданном сечении. Величины Му и Qz для заданного сечения можно взять из эпюр или из таблиц результатов расчета. Результаты ► Таблицы результатов (кнопка на панели инструментов);

•В боковой панели Формирование таблиц выделите название желаемой таблицы Усилия в стержневых элементах (указав при необходимости для выделенных элементов или загружений) (рис. 2.14) и нажмите на кнопку Сформировать.

*	Формирование таблиц	
И Показыв	вать сокращенный список	
Модель		
Протокол р	асчета	
Узлы —		
Таблица уз	лов	
Перемеще	ния узлов в ГСК	
Узловые р	еакции в ГСК	
Элемент	ы	
Таблица эл	пементов	
Усилия в с	тержневых элементах	
🗹 Для вы,	деленных элементов	
О Текуще	е загружение	
Bce sar	ружения	
овюоро	чно	

Рис. 2.14. Формирование таблиц результатов

•Полученная таблица Усилия в стержневых элементах отобразится в нижней части экрана (рис. 2.15).

•Заданное сечение находится левее узла 3. Левее узла 3 находится элемент 2, для которого в таблице представлены величины Му и Qz в трех сечениях. Выпишите значения Му и Qz в сечении 3 элемента 2 и занесите их в отчет.

Усилия в с	тержнее	зых эле 🔻	× Усилия	в стержневых эл
Номер	HC	Му (кН*м)	Qz (кН)	Загружение
1	1	3.4	-1.13	1
1	2	1.7	-1.13	1
1	3		-1.13	1
2	1		-1.13	1
2	2	-1.53	-1.93	1
2		-3.87	-2.73	
3	1	-3.87	1.38	1
3	2	-1.93	1.38	1
3	3		1.38	1

Рис. 2.15. Усилия в стержневых элементах

25.Выполните аналитический расчёт многопролетной статически определимой балки. Расчет занесите в отчет.

26.Сравните результаты аналитического и численного расчетов.

27.Аналитически рассчитайте наибольшие нормальные напряжения в заданном сечении (b = 0,2 м; h = 0,4м).

34

2.3. Образец выполнения работы

2.3.1. Задание

Для балки (рис. 2.16) прямоугольного поперечного сечения 20х40 см требуется:

- выполнить расчет на статические нагрузки;
- вывести на экран эпюры изгибающих моментов M_{y} и поперечных сил Q;
- определить поперечную силу и изгибающий момент в сечении 4;
- определить наибольшие значения нормальных напряжений в заданном сечении;
- сравнить результаты аналитического и численного расчетов.

Материал балки – бетон B30 по СП-52-101-2003. $l_1 = 6$ м; b = 1,8 м; $l_2 = 15$ м; a = 1,9 м; c = 1,3 м;. Интенсивность постоянной равномерно распределенной нагрузки q = 0,8 кH/м. Величина сосредоточенной силы P = 8 кH, а сосредоточенного момента M = 3 кH · м. Заданное сечение показано на схеме.



Рис. 2.16 Многопролетная балка

2.3.2. Численный расчет





Рис. 2.17 Расчетные свойства сечения балки




Рис. 2.20 Эпюра поперечных сил Q_z

Номер	HC	Му <mark>(к</mark> Н*м)	Qz (κΗ)	Плотность энергии (КПа)	Загружение
1	1	-9.52	3.9867	0.01634	1
1	2	-1.16	1.5867	0.0002426	1
1	3		-0.81333		1
2	1		-0.81333		1
2	2	-0.52867	-0.81333	5.0389E-05	1
2	3	-1.0573	-0.81333	0.00020155	1
3	1	-4.0573	-0.81333	0.0029679	1
3	2	-9.6287	-0.81333	0.016715	1
3	3	-15.2	-0.81333	0.041654	1
4	1	-15.2	8	0.041654	1
4	2	-7.6	8	0.010413	1
4	3		8		1

Усилия в стержневых элементах

Рис. 2.21 Усилия в стрежневых элементах



Рис. 2.22 Нормальные напряжения

2.3.3. Аналитический расчет



Определение опорных реакций:

 $\sum M_C = -M - Y_B \cdot 15 + P \cdot 16,9 = -3 - Y_B \cdot 15 + 8 \cdot 16,9 = 0; Y_B = 8,81$ кH; $\sum Y = Y_A - q \cdot 6 + Y_B - P = Y_A - 0,8 \cdot 6 + 8,81 - 8 = 0; Y_A = 3,99$ кH; $\sum M_C = Y_A \cdot 6 - M_A - q \cdot 6 \cdot 3 = 3,99 \cdot 6 - M_A - 0,8 \cdot 6 \cdot 3 = 0; M_A = 9,54$ кHм. Построение эпюр поперечных сил и изгибающих моментов:

$$\begin{split} 0 &\leq x \leq 6 \text{ m}: Q_z = Y_A - q \cdot x = 3,99 - 0,8 \cdot x; M_y = Y_A \cdot x - M_A - q \cdot x \cdot \frac{x}{2} = \\ &= 3,99 \cdot x - 9,54 - 0,8 \cdot x \cdot \frac{x}{2} = -0,4 \cdot x^2 + 3,99 \cdot x - 9,54; \\ x &= 0 - Q_z = 3,99 \text{ kH}; M_y = -9,54 \text{ kHm}; \\ x &= 6 \text{ m} - Q_z = 3,99 - 0,8 \cdot 6 = -0,81 \text{ kH}; \\ M_y &= -0,4 \cdot 6^2 + 3,99 \cdot 6 - 9,54 = 0. \\ 6 &\leq x \leq 7,3 \text{ m}: Q_z = Y_A - q \cdot 6 = 3,99 - 0,8 \cdot 6 = -0,81 \text{ kH}; \\ M_y &= Y_A \cdot x - M_A - q \cdot 6 \cdot (x - 3) = 3,99 \cdot x - 9,54 - 0,8 \cdot 6 \cdot (x - 3) = \\ &= -0,81 \cdot x + 4,86; \\ x &= 6 \text{ m} - M_y = -0,81 \cdot 6 + 4,86 = 0; \end{split}$$

$$\begin{aligned} x &= 7,3 \text{ M} - M_y = -0,81 \cdot 7,3 + 4,86 = -1,05 \text{ KHm.} \\ 7,3 &\leq x \leq 21 \text{ M}: Q_z = Y_A - q \cdot 6 = 3,99 - 0,8 \cdot 6 = -0,81 \text{ KH}; \\ M_y &= Y_A \cdot x - M_A - q \cdot 6 \cdot (x - 3) - M = \\ &= 3,99 \cdot x - 9,54 - 0,8 \cdot 6 \cdot (x - 3) - 3 = -0,81 \cdot x + 1,86; \\ x &= 7,3 \text{ M} - M_y = -0,81 \cdot 7,3 + 1,86 = -4,05 \text{ KHM}; \\ x &= 21 \text{ M} - M_y = -0,81 \cdot 21 + 1,86 = -15,15 \text{ KHM.} \\ 21 &\leq x \leq 22,9 \text{ M}: Q_z = Y_A - q \cdot 6 + Y_B = 3,99 - 0,8 \cdot 6 + 8,81 = 8 \text{ KH}; \\ M_y &= Y_A \cdot x - M_A - q \cdot 6 \cdot (x - 3) - M + Y_B \cdot (x - 21) = \\ &= 3,99 \cdot x - 9,54 - 0,8 \cdot 6 \cdot (x - 3) - 3 + 8,81 \cdot (x - 21) = 8 \cdot x - 183,15; \\ x &= 21 \text{ M} - M_y = 8 \cdot 21 - 183,15 = -15,15 \text{ KHM}; \\ x &= 22,9 \text{ M} - M_y = 8 \cdot 22,9 - 183,15 = 0. \end{aligned}$$

Наибольшие нормальные напряжения в сечении 4:

$$\sigma_{max} = \frac{M_y}{I_y} z = \frac{15,15}{0,00107} \cdot 0,2 = 2831,78 \text{ kH/m}^2.$$

2.3.4. Сравнение результатов

По итогам численного расчета в программе ЛИРА величина поперечной силы и изгибающего момента в заданном сечении составляет: Q = -0,81333 кH; M = -15,2 кHм, что соответствует результатам ручного расчета: Q = -0,81 кH; M = -15,15 кHм.

Наибольшие нормальные напряжения в заданном сечении при расчете в программе ЛИРА составили: $\sigma_{max} = 2850 \text{ кH/m}^2$; при аналитическом ручном расчете: $\sigma_{max} = 2831,78 \text{ кH/m}^2$. Разность результатов составляет 0,64%.

3. Расчет железобетонной плиты

3.1. Варианты заданий

Для железобетонной плиты (рис. 3.1) требуется:

1)выполнить расчет плиты на статические нагрузки для трех случаев загружения (рис. 3.2);

2)вывести на экран деформированные схемы и изополя перемещений по направлению Z;

3) определить наибольшие значения прогибов пластины для всех случаев нагружения;

4)вывести на экран изополя погонных изгибающих моментов Мх и поперечных сил Qx;

5)определить наибольшие значения погонных изгибающих моментов Мх и поперечных сил Qx;

6)составить таблицу расчетных сочетаний усилий (РСУ) и произвести расчет РСУ;

7)для среднего элемента плиты просмотреть результаты РСУ и определить, при каких сочетаниях усилий получены наибольшие значения Мх и Qx;

8) произвести численную проверку в программе SCAD++;

9) произвести аналитическую проверку полученных результатов;

10) произвести сравнение полученных результатов.

Номера вариантов указаны в табл. 3.1.



Рис. 3.1. Железобетонная плита

Короткие стороны плиты оперты по всей длине. Длинные стороны плиты — свободны. Шаг сети КЭ — 0.5 м. Материал плиты — бетон В35.

Заданные нагрузки:

• загружение 1 — собственный вес;

• загружение 2 — сосредоточенные силы Р и Р1 приложенные к срединным узлам плиты, параллельным короткой стороне, нагрузка Р1 приложена к крайним узлам;

• загружение 3 — сосредоточенные моменты М и М1, приложенные к коротким сторонам плиты, сосредоточенный момент М1 приложен к крайним узлам.

№ варианта	<i>l</i> , м	<i>b</i> , м	<i>h</i> , м	<i>Р</i> , кН	<i>Р</i> 1, кН	<i>М</i> , кН*м	<i>М</i> 1, кН*м
1	8	3.5	0.2	9	4.5	10	5
2	6	3	0.15	8	4	16	8
3	7	4	0.2	12	6	8	4
4	9	4	0.3	13	6.5	6	3
5	5	3	0.15	15	7.5	8	4
6	9	3.5	0.15	6.5	9	4	10
7	7	3	0.15	4	8	8	16
8	6	4	0.2	8	12,5	7	8
9	6	4	0.3	6.5	13	3	6
10	7	3	0.15	7.5	15	4	8
11	9	3.5	0.2	9	4.5	6	3
12	5	3	0.15	8	4	8	4
13	6	4	0.2	12	6	10	5
14	7	4	0.3	13	6.5	16	8
15	8	3	0.15	15	7.5	8	4
16	6	3.5	0.2	4.5	9	6	3
17	7	3	0.15	4	8	8	4
18	9	4	0.2	6	12	5	10
19	5	4	0.3	6.5	13	8	16
20	6	3	0.15	7.5	15	4	8
21	7	3.5	0.2	9	4.5	3	6
22	8	3	0.15	8	4	4	8
23	6	3	0.3	13	6.5	6	3
24	7	4	0.15	15	7.5	8	4
25	9	4	0.15	15	7.5	8	4
26	5	3	0.2	4.5	9	6	3
27	6	3.5	0.15	4	8	8	4
28	7	3	0.2	6	12	5	10
29	8	3	0.3	6.5	13	8	16
30	6	4	0.15	7.5	15	4	8
31	7	4	0.2	9	4.5	3	6
32	9	3	0.15	8	4	4	8
33	5	3.5	0.15	8	4	4	8

Табл. 3.1. Варианты заданий к ЛР №3

3.2. Алгоритм расчета в ПК ЛИРА 10.4³

Условие задания

Для железобетонной плиты (рис. 3.2) размером 6×3 м и толщиной 20 см требуется:

1) выполнить расчет плиты на статические нагрузки для трех случаев загружения (рис. 3.2);

2) вывести на экран деформированные схемы и изополя перемещений по направлению Z;

3) определить наибольшие значения прогибов пластины для всех случаев нагружения;

4) вывести на экран изополя погонных изгибающих моментов Мх и поперечных сил Qx;

5) определить наибольшие значения погонных изгибающих моментов Мх и поперечных сил Qx;

6) произвести расчет нижнего армирования по направлению Х;

7) вывести на экран результаты расчета армирования;

8) составить таблицу расчетных сочетаний усилий (РСУ) и произвести их расчет;

9) для среднего элемента плиты просмотреть результаты РСУ и определить, при каких сочетаниях усилий получены наибольшие значения Мх и Qx;

10) произвести аналитическую проверку полученных результатов.



Рис. 3.2. Железобетонная плита

41

Короткие стороны плиты оперты по всей длине. Длинные стороны плиты — свободны.

Заданные нагрузки:

- загружение 1 — собственный вес (рис. 3.2, а);

- загружение 2 — сосредоточенные силы P = 10 кH и $P_1 = 5$ кH, приложенные к срединным узлам плиты, параллельным короткой стороне (рис. 3.2, б);

- загружение 3 — сосредоточенные моменты M = 10 кН*м и M1= 5 кН*м, приложенные к коротким сторонам плиты (рис. 3.2, в).

Расчет производится для сетки 12×6. Материал плиты — бетон БД (В25). Модуль упругости $E = 3 \cdot 10^7 \text{ кH/m}^2$; коэффициент Пуассона $\mu = V = 0.2$; удельный вес материала плиты $\gamma = \text{Ro} = 24,5 \text{ кH/m}^3$.

Методические указания к лаборатороной работе №3

Приступим к созданию расчетной схемы.

1. Запуск программы.

2. В редакторе начальной загрузки **Новый проект** выберите **Создать новый проект** и задайте параметры проекта:

- имя — Задача 3;

- описание — Расчет плиты;

- тип создаваемой задачи — (3) Плоская плита или ростверк (Z, UX, UY). Z, UX, UY — возможные линейные и угловые перемещения узлов.

- Нажмите кнопку Создать.

3. Создание геометрии расчетной схемы. Схема ► Добавить фрагмент плоской плиты (кнопка инструментов);

- Заполните параметры шаблона для создания плиты. Шаг вдоль оси X — 6 м, Повторов — 1, Число конечных элементов N — 12. Шаг вдоль оси Y — 3 м, Повторов — 1, Число конечных элементов N — 6 (рис. 3.3).

- Щелкните по кнопке Использовать фрагмент.

- С помощью курсора мыши созданный фрагмент добавьте к расчетной схеме. Для этого курсор мыши подведите к пересечению точечных линий на сети построений (это точка (0;0;0) глобальной системы координат) и при возникновении значка [] ______ подтвердите щелчком мыши точку вставки фрагмента схемы.

Осн	Основные параметры						
Параметры по оси Х							
	#	Шаг	Повторов	Ν			
•	1	6	1	12			
*	2						
		Параметры г	ю оси Ү				
	#	Параметры г Шаг	10 оси Ү Повторов	N			
•	#	Параметры г Шаг 3	по оси Y Повторов	N 6	=		
► *	# 1 2	Параметры г Шаг 3	по оси Ү Повторов 1	N 6	=		
► *	# 1 2	Параметры г Шаг 3	по оси Y Повторов 1	N 6	I		
► *	# 1 2	Параметры г Шаг 3	по оси Y Повторов 1	N 6			
► *	# 1 2	Параметры г Шаг 3	10 оси Y Повторов 1	N 6			

Рис. 3.3. Задание параметров плиты

Измените параметры сети построения, нажав на кнопку Сеть в левом нижнем углу экрана. Поставьте Шаг — 0.5, Количество — 12.

Прямоугольная	Поля	рная	Ο 📥 ΧΟΥ
Шаг	0.5	м	O / xoz
Количество	12		O yoz
Угол	0	•	0

Рис. 3.4

Увеличьте расчетную схему. Вид ► Увеличить в окне (кнопка sha naheли инструментов) ► Увеличить в 2 раза

4. Задание граничных условий. Схема ► Назначить связи (кнопка → на панели инструментов).

- Нажав одновременно на кнопки Ctrl + Shift, выделите курсором все узлы на коротких сторонах плиты (рис. 3.2) (узлы окрасятся в красный цвет).

- Так как закрепление шарнирное, в панели активного режима **Назначить связи**, с помощью установки флажка, запретите перемещение в направлении оси Z (красный цвет у узлов исчезнет. Под узлами будут изображаться связи, запрещающие линейные перемещения. Цвет связей (красный) соответствует цвету оси Z, в направлении которой запрещено перемещение).

- Щелкните по кнопке Закрепить.

5. Задание сечений. Редакторы ► Редактор сечений/жесткостей (кнопка панели инструментов) ► Сечения плит ► Пластина.

- В панели Сечения плит задайте толщину пластины h = 20 см (рис. 3.5).

- Поставьте галочку Подбор арматуры, настройки оставьте по умолчанию.

10 (V.C.)			
Списание			
hie	an i		
28 C			
C Fes weta annunceasure			
• Подокр эрматуры			
О Учет нелинейности			
	Поперечна	я арматура	
вдоль сси Ү		No. Contraction	вдоль оси Х
0 ox*2/4		0	04°214
5-1-1-1-1-1-1-1-1-1-1-1-1-1-1-1-1-1-1-1	Привлана центра	тлжести арматуры к грани	/физирование
~	Вецинел	3 см	 По умолчанию
ZI			a second s
	Нижней	3 см	екозалельское
As2Y R As1Y y		pena (yan iponasoan (sa ioa	
	Списание К. с Бел учита дикеролание Подбор зрикатуры Учет незичейности Вдоль сон Y он 22м Списание Аз2Y Аз2Y Учет незичейности	Списание	Списание h, см 20 Бел учитя армарования © Подбор зрматуры Учет нединейности Варль сон У 0 Поперечевя арматура 0 Поперечевя арматура 0 Поперечевя арматура 0 Поперечевя арматура 0 Поперечевя арматура 0 Поперечевя арматура 0 Поперечевя арматура 0 Поперечева арматура 0 Поверска арматуры к тране Веритећ 3 См Нискней 3 См Проверска арматуры производится това

Рис. 3.5. Задание сечений

- Чтобы увидеть, что в списке сечений изменилась толщина, надо щелкнуть курсором по левой части окна активного режима Сечения.

61 A.I 4	3	
-1 -1 -	-	0
Имя	Цвет	Опи
Пластина (0.2)		

- Для выхода из Редактора сечений/жесткостей щелкните мышкой по вкладке Главный вид.

6. Задание материала. Редакторы ► Редактор материалов (кнопка 🥙 на панели инструментов).

- Выберите из категории Линейный материал • Изотропный материал.

- Задайте: модуль упругости E = 3·107 КПа (3e7); коэффициент Пуассона Nu = 0.2; объемный вес γ = 24,5 кН/м3 (рис. 3.6). *Буква е набирается в латинском алфавите*.

- Для выхода из Редактора материалов щелкните мышкой по вкладке Главный вид.

инейные материалы : Изотропный материал : Лн. изотр.						
Имя П. Лн. изотр.	Описание					
Объемный вес 24.5	кH/м^3					
			Свойства материала			
Модуль упругос КПа	ти,		Коэффициент Пуассона			
E 3.0/E+07		Nu	0.2			

Рис. 3.6. Задание материала

7. Назначение сечений и материалов элементам расчетной схемы.
 Конструирование ► Назначить сечение, материал и параметры конструирования

(кнопка 🌌 на панели инструментов).

- Выделение всех элементов плиты. Выбор ► Выбрать все узлы и элементы (Ctrl + A).

- На панели активного режима Назначить жесткости в Параметрах назначения укажите радиокнопкой Использовать сечение и материал.

- Затем в Доступных сечениях выберите 1. Пластина (0.15), в Доступных материалах — 1. Линейно-изотропный материал (рис. 3.7).

- Нажмите кнопку Назначить.

< 🕁 Назначить жес	ткость
Доступные сечения	
🔚 1. Пластина (0.15)	-
Доступные материалы	
🏄 1. Лн. изотр.	•

Рис. 3.7. Назначение жесткости

8. Формирование загружений. **Редакторы** ► **Редактор загружений** (кнопка на панели инструментов). - На панели активного режима щелкните по закладке Добавить загружение и добавьте 3 статических загружения.

- Выберите нормы проектирования из выпадающего списка

💫 РСУ/РСН (Не использовать) 👻

Российская Федерация: СП 20.13330.2011

- Затем, делая поочередно активными загружения, задайте: для Статического загружения 1 выберем: Вид загружения ▶ Постоянное; для Статического загружения 2 выберем: Вид загружения ▶ Длительное; для Статического загружения 3 выберем: Вид загружения ▶ Кратковременное.

- Щелкните в левой части панели Загружения на Библиотеку загружений

- В правой части панели Загружения в окне Параметров загружения выберите Объединяемые перемещения



- Для выхода из вкладки Редактор загружений щелкните мышкой по вкладке Главный вид.

9. Назначение нагрузок. Схема ► Назначить нагрузки (кнопка инструментов).

- Формирование загружения № 1. Выберите **1. Статическое загружение**.



- Выделение всех элементов балки. Выбор ► Выбрать все узлы и элементы (Ctrl + A) (узлы и элементы примут красный цвет).

- В панели активного режима Добавление нагрузок кликните на выпадающий список Библиотека нагрузок ► Собственный вес: ► Собственный вес.



- Щелкните по кнопке **Назначить**. Элементы автоматически загружаются нагрузкой собственного веса (красный цвет у элементов исчезнет, и на экране появятся стрелки, изображающие распределенную силу, соответствующую собственному весу плиты. Сила считается положительной, если она направлена вниз, т.е. в сторону, противоположную оси Z).

- Для того, чтобы увидеть распределенную нагрузку на экране, представьте плиту в аксонометрической проекции Вид ► Вращать модель ► Дополнительный вид (рис. 3.2, а).

- *Формирование загружения* № 2. Смена номера загружения. Выберите 2. Статическое загружение

Выделите курсором два узла, находящихся в серединах длинных сторон пластины, параллельных оси X (рис. 3.2, б). Назначить нагрузки ► Библиотека нагрузок ► Нагрузки на узел ► Сосредоточенная сила ► Р1 = 5 кН ► Назначить.

Выделите курсором остальные срединные узлы, расположенные параллельно оси Y (рис. 3.2, б). Назначить нагрузки ► Библиотека нагрузок ►Нагрузки на узел► Сосредоточенная сила ► P = 10 кН ►Назначить.

- *Формирование загружения* № 3. Смена номера загружения. Выберите 3. Статическое загружение Щ 3. Статическое загружение.

Выделите узлы, находящиеся на левых углах пластины (рис. 3.2, в). Назначить нагрузки ► Библиотека нагрузок ► Нагрузки на узел ► Сосредоточенный момент ► M1 = -5 кН*м ► Направление [⊙] ¥ ► Назначить.

Выделите остальные узлы левой короткой стороны пластины (рис. 3. 2, в).
 Приложите к ним сосредоточенные моменты М = –10 кН*м.

- Задание симметричных сосредоточенных моментов для правой стороны плиты (рис. 3.2, в). К правой короткой стороне плиты приложите такие же по величине моменты,

как и к левой стороне, но противоположные по знаку (отрицательные) M1 = 5 кН*м, M = 10 кН*м.

10. Статический расчет. **Расчет** ► Выполнить расчет (кнопка *К* на панели инструментов).

- Параметры расчета оставьте по умолчанию и нажмите на кнопку Запустить расчет.

- Если включена галочка **Переходить в результаты после успешного расчета**, переход в режим результатов расчета осуществляется автоматически.

- В режиме просмотра результатов расчета по умолчанию расчетная схема отображается *не деформированной*.

Приступим к оформлению отчета.

11. Представьте в отчете расчетную схему плиты, указав величины нагрузок, геометрические размеры и жесткостные характеристики.

12. Просмотр схем деформирования для трех случаев нагружения. Результаты
 Леформированная схема

- Смена номера текущего загружения производится на панели инструментов в выпадающем списке Статическое загружение.

Верните исходную схему. Результаты ► Исходная схема

13. Выведите на экран изополя перемещений по направлению Z для всех случаев

нагружения. Результаты **Результаты по узлам Р**

- Внесите в отчет наибольшие по абсолютной величине значения прогиба.

14. Выведите на экран изополя погонных изгибающих моментов Мх.и поперечных сил Qx для трех случаев загружения (рис. 3.8) Результаты ▶ Результаты по пластинам

► Напряжение (Mx) или (Qx) (кнопка Напряжение Мх или Напряжение Qx на панели активного режима).

На рис. 3.8 слева представлены изополя Мх, справа Qх.



Рис. 3.8. Изополя изгибающих моментов и поперечных сил: а — загружение 1; б — загружение 2; в — загружение 3

15. Формирование и просмотр таблиц результатов расчета внутренних силовых факторов. Результаты ► Таблицы результатов (кнопка на панели инструментов).

- Нажав кнопки Ctrl + Shift, выделите курсором один из средних элементов плиты. По умолчанию отметка узлов и элементов выполняется с помощью прямоугольной рамки. При движении рамки налево элементы и узлы выделяются полным попаданием либо касанием, а при движении рамки направо — только полным попаданием.

- В боковой панели **Формирование таблиц** выделите название таблицы **Усилия в** пластинчатых элементах Усилия в пластинчатых элементах (указав для выделенных элементов) (рис. 3.9) и нажмите на кнопку **Сформировать**.

49

Формирование таблиц		1
 Показывать сокращенный список 		
Модель	-	
Протокол расчета		
Загружения		
Коэффициенты для РСУ		
Узлы		
Таблица узлов		
Перемещения узлов в ГСК	Ξ	
Узловые реакции в ГСК		1
Элементы		
Таблица элементов		
Усилия в пластинчатых элементах		
РСУ в пластинах		
эРСУ в пластинах	-	
Для выделенных элементов		
Текущее загружение		
• Все загружения		
Выборочно		

Рис. 3.9. Формирование таблиц результатов

- Полученная таблица Усилия в пластинчатых элементах отобразится в нижней части экрана (рис. 3.10).

/силия в пластинчатых э 🔻 🗙								
Номер	Мх ((кН*м)/м)	Му ((кН*м)/м)	Мху ((кН*м)/м)	Qx (ĸH/m)	Qy (ĸH/м)	Загружение		
34	16.256	1.1606	-0.029171	0.79428	-0.12336	1		
34	27.264	2.347	-0.046082	9.7556	-0.23462	2		
34	19.877	0.86228	-0.032176	-0.10262	-0.10711	3		

- Выпишите значения Мх и Qх для всех случаев нагружения и занесите их в отчет.

Рис. 3.10. Внутренние силовые факторы в элементе 34

- В боковой панели Формирование таблиц выделите название таблицы РСУ в пластинах (указав для выделенных элементов) (рис. 3.11) и нажмите на кнопку Сформировать.

- Выпишите и занесите в отчет наибольшие значения Мх и Qx. Укажите, для каких загружений они вычислялись.

50

Усилия в п	ластинч	натых э	. ▼ × PC	У в пластинах	▼ X				
Номер	Cт.	Гр.	Крит.	Мх ((кН*м)/м)	Му ((кН*м)/м)	Мху ((кН*м)/м)	Qx (кН/м)	Qу (кН/м)	№№ Загружений
34	2	А	5/1	74.451	5.1278	-0.126	12.457	-0.54577	1; 2; 3
34	1	A	185/1	50.599	4.093	-0.087387	12.58	-0.41724	1:2

Рис. 3.11. Внутренние силовые факторы в элементе 34

17. Произвести аналитический расчет Мх, Qx и наибольшего перемещения по оси Z для всех случаев нагружения.

- Так как изгиб цилиндрический, плиту можно заменить балкой единичной ширины, лежащей на двух опорах, имеющей цилиндрическую жесткость $D = \frac{Eh^3}{12(1-\mu^2)} = \frac{3\cdot10^7\cdot0.15^3}{12(1-0.2^2)} = 8788$ кНм. Нагрузки в аналитическом расчете надо также задавать погонные (т.е. на еденицу длины): интенсивность погонной распределенной нагрузки от собственного веса $q = \gamma \cdot h = 3.68$ кН/м²; погонная сила $p = \frac{6\cdot10}{3} = 20$ кН. Эпюры изгибающих моментов приведены на рис. 3.12.





в

Рис. 3.12. Эпюры изгибающих моментов и поперечных сил: а — загружение 1; б — загружение 2; в — загружение 3

- Выписать наибольшие значения погонного изгибающего момента Мх, погонной поперечной силы Qx и наибольшего перемещения по оси Z для всех случаев нагружения, полученные аналитически.

18. Расчёт армирования плиты.

Проведем расчёт армирования железобетонной плиты.

- Перейти в режим результатов расчета можно с помощью меню Расчет >

Исходные расчета (кнопка инструментов).

 19. Задание параметров конструирования. Редакторы ► Редактор параметров
 конструирования (кнопка конструирования).

- Выберите из категории **Железобетонные** элементы **ж.б.** пластина.

- Все параметры оставляем по умолчанию.

🗳 Главный вид	Сечения	• Материал	пы 😳 Загружения	Конструирование	
👘 Железобето	нные элементы 🔻	🥂 🗾 C1	альные элементы 🔻	🐺 Удалить текущий элемент	👔 Импорт параметро
ψ] ψ] ·	4]			Параметры конструиров Нормы	ания железобетонных плит
Имя		Цвет	Описание	СП 63-13330-2012 (СНиГ	1 52-01-2003)
<i>Ш</i> 1. ж.б. пластина	СНиП 2.03.01-84			Имя 💟 ж.б. пластина СП 63-	Описание 13330-2012 (С

Рис. 3.13. Задание параметров конструирования

- Для выхода из Редактора материалов щелкните мышкой по вкладке Главный вид.

20. Назначение параметров конструирования элементам расчетной схемы. Конструирование ► Назначить сечение, материал и параметры конструирования (кнопка 📝 на панели инструментов) (рис. 3.14).

- Выделение всех элементов плиты. Выбор ► Выбрать все узлы и элементы (Ctrl + A).

- На панели активного режима Назначить жесткости в Параметрах назначения укажите радиокнопкой Использовать конструирование.

- Затем в Доступном конструировании выберите 1. ж.б. пластина СП 63-13330-2012 (СНиП 52-01—2003).

- Нажмите кнопку Назначить.

Параметры назначения	
О Использовать всё	
О Использовать сечение и материал	
О Использовать сечение	
О Использовать материал	
 Использовать конструирование 	
Доступные сечения	
📇 1. Пластина (0.2)	
Доступные материалы	
🛃 1. Лн. изотр.	4
Доступное конструирование	
CE 40 40000 0040	120

Рис. 3.14. Назначение конструирования

21. Запуск на расчет.

- Перейти в режим результатов расчета с помощью меню **Расчет Результаты**

расчета (кнопка 🔏 на панели инструментов).

- Выбираем Расчет ► Расчет конструкций (кнопка 🄏 на панели инструментов)

(рис. 3.15).

- Выбираем Силовые факторы — Усилия.

- Политика расчета — Все элементы.

- Нажимаем кнопку Отправить на расчет.

Гип расчета	
🗸 Подбор	Проверка
Силовые факторы	ł.
Усилия	PCY
PCH	Монтаж+
Толитика расчета	
Расчитываемые	элементы
Все элементы	
Конструирование	E .
Стальные элементы	Железобетонные элементы
Коэфициент для р	асчета по усилиям
Коэфициент привя нормативным	едения усилий к: расчетным
1	1
Средняя доля дли	тельности (не более 1)

Рис. 3.15. Расчет конструкций

22. Выведите на экран результаты по армированию. Результаты ► Результаты по железобетонным конструкциям ► кнопка

23. Выведите на экран изополе нижней арматуры по направлению X — As1X (рис. 3.16). Для чего необходимо в раскрывающемся списке **Продольная арматура** поставить галочку напротив соответствующего пункта (рис. 3.16).

<< 🕁 Железобетонные конструкции
Тип элементов:
О Стержневые
• Пластинчатые
Тип расчета:
• Подбор
🔿 Проверка
 Продольная арматура — ✓ As1X — — As1Y — — As2X — — Аs2Y Поперечная арматура Ширина раскрытия трещин
Показать =>>
Локальные результаты
Шаг поперечной арматуры:
100 -
Результаты по:
• загружениям
O PCY
O PCH
O MOUTAY.

Рис. 3.16. Вывод результатов



Рис. 3.17. Мозаика нижней арматуры по направлению Х

24. Выведите на экран локальные результаты для нижней арматуры по направлению X — As1X (рис. 3.18). Для чего необходимо поставить галочку напротив Локальные результаты (рис. 3.16) и выбрать центральны элемент с максимальной интенсивностью окраски.

<< - Железобетонные конструкции								
Тип элементов:								
О Стержневые								
• Пластинчатые								
Тип расчета:								
Подбор								
🔿 Проверка								
Г. Продольная арматура Г. Ая1Х Г. Ая1Y Г. Ая2Х Г. Ая2Y В. Поперечная арматура В. Ширина раскрытия трещин								
Показать =>>								
Покальные результаты								

Рис. 3.18. Вывод локальных результатов



Рис. 3.19. Результаты армирования для локального элемента

25. Формирование и просмотр таблиц результатов расчета армирования.
 Результаты ► Таблицы результатов (кнопка на панели инструментов).

- В боковой панели Формирование таблиц выделите название таблицы Ж.Б. пластины, подбор (убрав галочку Для выделенных элементов) (рис. 3.20) и нажмите на кнопку Сформировать.

- Полученная таблица **Ж.Б. пластины**, подбор отобразится в нижней части экрана (рис. 3.20).

- Выпишите значения подобранных площадей армирования для элемента 34 и занесите их в отчет.

поласовать сопращонный список	
Протокол расчета	*
Загружения	_
Коэффициенты для РСУ	
Узлы	
Таблица узлов	
Перемещения узлов в ГСК	
Узловые реакции в ГСК	=
Элементы	
Таблица элементов	
Усилия в пластинчатых элементах	
РСУ в пластинах	
эРСУ в пластинах	
Ж.Б. пластины, подбор	Ŧ
• Все загружения Выборочно	
Отметьте загружения, для которых следует создать таблицу	

Рис. 3.20. Формирование таблиц результат

25. Выполните численный расчет на статические нагрузки в программе SCAD++.

26. Выполните аналитический расчет на статические нагрузки.

27. Выполните сравнение результатов численных расчетов в ПК ЛИРА и SCAD++ и аналитического расчета.

3.3. Образец выполнения работы

3.3.1. Задание

Для железобетонной плиы (рис. 3.21) размером 8 × 4 м и толщиной 20 см требуется:

1) выполнить расчет плиты на статические нагрузки для трех случаев загружения (рис. 3.2);

2) вывести на экран деформированные схемы и изополя перемещений по направлению *Z*;

 определить наибольшие значения прогибов пластины для всех случаев нагружения;

4) вывести на экран изополя погонных изгибающих моментов M_x и поперечных сил Q_x ;

5) определить наибольшие значения погонных изгибающих моментов M_x и поперечных сил Q_x ;

6) произвести расчет нижнего армирования по направлению X;

7) вывести на экран результаты расчета армирования;

8) составить таблицу расчетных сочетаний усилий (РСУ) и произвести расчет РСУ;

9) для среднего элемента плиты просмотреть результаты РСУ и определить, при каких сочтаниях усилий получены наибольшие значения M_x и Q_x ;

10) произвести аналитическую проверку полученных результатов.



Рис. 3.21 Железобетонная плита

Короткие стороны плиты оперты по всей длине. Длинные стороны плиты – свободны.

Заданные нагрузки:

- загружение 1 собственный вес;
- загружение 2 сосредоточенные силы P = 6 кН и P₁ = 12 кН приложенные к срединным узлам плиты, параллельным короткой стороне, нагрузки P₁ приложена к крайним узлам;
- загружение 3 сосредоточенные моменты M = 4 кНм и M₁ = 8 кНм, приложенные к коротким сторонам плиты, сосредоточенный момент M₁ приложен к крайним узлам.

Шаг сети КЭ – 0,5 м. Расчет производится для сетки 16 × 8. Материал плиты – бетон ВЗ5. Модуль упругости $E = 3,45 \cdot 10^7 \text{ кH/m}^2$; коэффициент Пуассона $\mu = V = 0.2$; удельный вес материала плиты $\gamma = R_0 = 24,5 \text{ кH/m}^3$.



3.3.2. Численный расчет в программе ПК ЛИРА





а – собственный вес



 $\boldsymbol{\delta}-\boldsymbol{cocpedotovenhube}$ силы



в – сосредоточенные моменты

Рис. 3.23 Изополя перемещений по направлению Z для всех случаев нагружения Наибольшие значения прогиба: при загружении собственным весом – -11,563 мм; сосредоточенными силами – -7,9576 мм; сосредоточенными моментами – -3,9414 мм.





а





б









а – загружение 1; б – загружение 2; в – загружение 3

Номер	Мх ((кН*м)/м)	Му ((кН*м)/м)	Мху ((кН*м)/м)	Qx (кН/м)	Qy (кН/м)	Плотность энергии (КПа)	Загружение
61	38.674	2.7298	-0.03914	1.0588	-0.16526	0.15879	1
61	29.829	0.75673	-0.078589	6.1955	0.18641	0.095799	2
61	10.988	0.067119	-0.0012288	-0.0017822	-0.0011745	0.013092	3

Усилия в пластинчатых элементах

Рис. 3.25 Внутренние силовые факторы в элементе 61

Значения M_x и Q_x : при загружении собственным весом – $M_x = 38,674 \text{ кHm/m}; \quad Q_x = 1,0588 \text{ кH/m}; \quad$ сосредоточенными силами – $M_x = 29,829 \text{ кHm/m}; \quad Q_x = 6,1955 \text{ кH/m}; \quad$ сосредоточенными моментами – $M_x = 10,988 \text{ кHm/m}; \quad Q_x = -0,0017822 \text{ кH/m}.$

РСУ в пластинах

Номер	Cт.	Γр.	Крит.	Мх ((кН*м)/м)	Му ((кН*м)/м)	Мху ((кН*м)/м)	Qx (кН/м)	Qу (кН/м)	Плотность энергии (КПа)	№№ Загружений
61	2	A	5/1	91.522	3.9914	-0.13884	8.5972	0.040501	0.89631	1; 2; 3
61	1	А	185/1	78.336	3.9109	-0.13736	8.5993	0.04191	0.65536	1; 2
61	1	А	436	55.727	3.0834	-0.044529	1.1626	-0.18319	0.33111	1; 3

Рис. 3.26 Внутренние силовые факторы в элементе 61

Наибольшие значения M_x и Q_x : $M_x = 91,522$ кНм/м – для загружений 1, 2, 3; $Q_x = 8,5993$ кН/м – для загружений 1, 2.



Рис. 3.27 Мозаика нижней арматуры по направлению Х



Рис. 3.28 Результаты армирования для локального элемента

Ж.Б. пластины, подбор

Номер	As1X (cm^2/m)	As2X (cm^2/m)	Аs3Y (см^2/м)	Аs4Y (см^2/м)	% вдоль Х	% вдоль Ү
61	6.7	2	2	2	0.432906	0.2
62	6.7	2	2	2	0.433689	0.2
63	6.7	2	2	2	0.435326	0.2
64	6.8	2	2	2	0.44124	0.2
65	6.8	2	2	2	0.44124	0.2
66	6.7	2	2	2	0.435326	0.2
67	6.7	2	2	2	0.433689	0.2
68	6.7	2	2	2	0.432906	0.2
69	6.7	2	2	2	0.432906	0.2
70	6.7	2	2	2	0.433689	0.2
71	6.7	2	2	2	0.435326	0.2

Рис. 3.29 Подбор армирования для железобетонных пластин

Подобранные площади армирования для элемента 61: $A_{s1x} = 6,7 \text{ см}^2/\text{м};$ $A_{s2x} = 2 \text{ см}^2/\text{м}; A_{s3y} = 2 \text{ см}^2/\text{м}; A_{s4y} = 2 \text{ см}^2/\text{м}.$
3.3.3. Численный расчет в программе SCAD++

Ниже представлена краткая блок-схема численного расчета в ПК SCAD++. Для оформления отчета достаточно вывести те же данные, что и для численного расчета в ПК ЛИРА.

🕵 Ввод	узлов	
× 8 Y 4	M ΔX 0 M ΔY 0	M
Z 0	м <u>А</u> Z 0 горить 171 N 0	M
Авто посл О Изм О Вок Вок	матический перенос начала координа іедний введенный узел енение направления ввода руг оси Х Угол поворота руг оси Y 0 град	тв
Вок Свя + Доба Вок Свя + Доба	ругоси Z язи авить X Закрыть 🤌	Справка
Метод триангуляции А. Только на заданных узлах Б. Без разбиения участков контура В. С разбиением контура Г. Только на узлах контура Назначение шага триангуляции	 Триангуляция со сгущением у границ контура Создание ортогональной сетки с минимальным количеством элементов Создание ортогональной сетки с заданным максимальным размером элемента Создание ортогональной сетки с заданным максимальным размером элемента 	A A B B
🖲 Шаг триангуляции 🛛 0,5 м	каз ффициент сгущения сетки	
Объединить 3-х узловые элементы в 4- Хесткости	х узловые ОК 🗙 Отмена 🧼 Справка	

Рис. 3.30 Задание параметров плиты

				т		
Бетон тяжелый В35 Объемный вес 24,52	кН/м ³	•	 Изотропия Ортотропия 	Тип жесткости Толщина М	Имя типа жесткости	
Параметры Модуль упругости Коэффициент Пуассона Коэф. линейного расширения Толщина пластин	34531200 0.2 1.e-005 0.2	кН/м² 1/°С м	 Плоско напряженное состояние Плоская деформация 			

Рис. 3.31 Назначение жесткости









В

Рис. 3.32 Схемы нагружения плиты: а – собственный вес; б – сосредоточенные силы; в – сосредоточенные моменты



а – собственный вес



 $\delta-$ сосредоточенные силы



в – сосредоточенные моменты



Наибольшие значения прогиба: при загружении собственным весом – -11,58 мм; сосредоточенными силами – -7,96 мм; сосредоточенными моментами – -3,94 мм.





ſ	8	Han	ояжени	19			x
	1						16 🔻
			Q,				
			кН/м	кН/м			
	V		-17,7	-15,49	16		
	V		-15,49	-13,27	16		
	V		-13,27	-11,06	16		
	V		-11,06	-8,85	16		
	V		-8,85	-6,64	16		
	V		-6,64	-4,42	16		
	V		-4,42	-2,21	16		
	V		-2,21	0	16		
	V		0	2,21	8		
	V		2,21	4,42	16		
	V		4,42	6,64	16		
	V		6,64	8,85	16		
	V		8,85	11,06	16		
	V		11,06	13,27	16		
	V		13,27	15,49	16		
	V		15,49	17,7	16		
		Цкал Фраг	іа мента			G	~
	Зак	крып	ъ				۸X



а









б

ſ	8	lanı	ояжения	1			x				
١N	IA\D	eskt	ор∖САП	Р Строй	імех\	Лаборатор	оные\Лаб				
ł	M 16 •										
	M _x										
			кп м/м 7 70	кп м/м 910	16						
			012	3,13 10.52	22						
			3,13	10,03	32 120						
			10,53	11,94	120						
			10.04	13,34	10						
Ľ			13,34	14,74	10						
			14,74	16,15	4						
			16,15	17,55	4						
			17,55	18,96	4						
			18,96	20,36	4						
			20,36	21,77	4						
			21,77	23,17	4						
l	V		23,17	24,57	4						
	V		24,57	25,98	4						
	V		25,98	27,38	4						
	V		27,38	28,79	4						
	V		28,79	30,19	4						
		Uкал boac	іа мента			6	~				
:	2~	(pur					VH				
		фы	P				*A				







В

Рис. 3.34 Изополя изгибающих моментов и поперечных сил: a – загружение 1; б – загружение 2; в – загружение 3

Результаты расчета		×
Вывод результатов Информация о прое	кте	
Виды исходных данных Элементы Координаты и связи Управление Нагрузки Жесткости	Список разделов отчета Величины усилий	
Виды результатов отчетов		∱ Вверх ∯ Вниз
Протокол расчета Выборка величины перемещений Величины перемещений Выборка величины усилий		Изменить
Величины усилий	••	Лалить
😿 Создать документ MS Word	Создание таблицы MS Excel 🛛 🗙 Выход	🧳 Справка

Рис. 3.35 Формирование таблиц результатов

Величины усилий

Единицы измерения: кН, м

Параметры выборки:

Список узлов/элементов: 61

Список сечений: 1, 2, 3

Список загружений/комбинаций: 1, 2, 3

Список факторов: MX, QX

	Величины усилий								
Элемент Сечение Загружение Значение									
			MX	QX					
61	1	1	38,712	1,159					
61	1	2	29,844	6,413					
61	1	3	10,987	0,003					

Рис. 3.36 Внутренние силовые факторы в элементе 61

Значения M_x и Q_x : при загружении собственным весом – $M_x = 38,712 \text{ кHm/m}; \quad Q_x = 1,159 \text{ кH/m}; \quad \text{сосредоточенными} \quad \text{силами} \quad M_x = 29,844 \text{ кHm/m}; \quad Q_x = 6,413 \text{ кH/m}; \quad \text{сосредоточенными} \quad \text{моментами} \quad M_x = 10,987 \text{ кHm/m}; \quad Q_x = 0,003 \text{ кH/m}.$

Величины усилий от комбинаций

Единицы измерения: кН, м

Параметры выборки:

Список узлов/элементов: 61

Список сечений: Все

Список загружений/комбинаций: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16

Список факторов: MX, QX

	E	Зеличины усил	тий от комбинаци	1Й			
Элемент	Сечение	Комбинация	Значение				
			MX	QX			
61	1	1	91,582	8,975			
61	1	2	83,012	8,972			
61	1	3	79,544	7,575			
61	1	4	72,402	7,574			
61	1	5	42,584	1,275			
61	1	6	42,584	1,275			
61	1	7	38,712	1,159			
61	1	8	38,712	1,159			
61	1	9	55,768	1,278			
61	1	10	47,198	1,276			
61	1	11	49,7	1,162			
61	1	12	42,558	1,16			
61	1	13	78,397	8,971			
61	1	14	78,397	8,971			
61	1	15	68,557	7,573			
61	1	16	68,557	7,573			

Рис. 3.37 Внутренние силовые факторы в элементе 61

Наибольшие значения M_x и Q_x : $M_x = 91,582$ кНм/м – для загружений 1, 2, 3; $Q_x = 8,975$ кН/м – для загружений 1, 2, 3.

🕵 Армиров	зание пл	ластин									×
Общие пара	аметры	Бетон									
Конструк	тивное р	ешение			Армирование	пластины					
Коэффици по ответст	вент наде венност	ежности И	1	•	Арматура	Класс		Коэффици т услови работы	ен й		
					Продольная	A400	-	1			
					Поперечная	A400	-	1			
Тип элеме	ента 🔲	лита		•	Учитывать	минимальное а	арми	ирование			
Рассто	ояние до	ц.т. арма	атуры								
a ₁	a ₂	a ₃	a ₄								
СМ	СМ	СМ	CM								
3	3	0	0		🔲 Учитываты	заданное арми	IDOB	ание			
Расчет Учиты миним Максимал армирова	т по трец вать тре іальному пьный пр ния	циностой бования у процент юцент	кости норм по у 5		<u>54</u> <u>53</u>	N _{X1} S2 ²	14= a a3	0 a2 a4 3 0 =0	0	a2 a1	
Коэффиц	иенты уч	ета сейс	мического		Максимальни		ерти	KARLIN	Аб	солютн	Je
	возде	ействия			Marconinanon	перемещения:	opin	internet telle			
Нормальн	ные сече	ния	0						0.7	MM	
Наклонны	е сечени	49	0		OT I	всех нагрузок			0.7		
						оременных нагр	y30	ĸ	0,7		
	Кон	структив	ная группа	1			+	Добав	ить	X	Удалить
C	Список к	онечных	элементов	1-128	3	•	X			۲	Справка
		Сп	исок групп	1		•					Копировать
2012					Дополнитель	ная группа	V	Приме	нить	×	Выход

Рис. 3.38 Назначение конструирования



Рис. 3.39 Расчет конструкций



Рис. 3.40 Вывод результатов

ſ	🕵 Подб	ор арматуры		x	
			-	16 -	
		Интенсивность S ₁ (нижняя г	ю X)		
		см ² /м см ² /м			
		1,82 2,16	24		
		2,16 2,5	28		
	1	2,5 2,84	16		
	1	2,84 3,19	28		
		3,19 3,53	24		
		3,53 3,87	16		
		3,87 4,21	16		
		4,21 4,56	32		
		4,56 4,9	16		
		4,9 5,24	16		
		5,24 5,58	32		
		5,58 5,93	16		
		5,93 6,27	32		
		6,27 6,61	20		
		6,61 6,95	32		
		6,95 7,3	32		
	Бетон [/] Пр	Арматура Расстояние до и а ₁ а ₂ род. Попер. см см	ц.т. арматуры а ₃ а ₄ см см		
	Шкала фрагн	а мента			
	Закрыть	>		※ 匂	
				رلـــــــــــــــــــــــــــــــــــــ	

Рис. 3.41 Мозаика нижней арматуры по направлению Х

ጿ Подбор арматуры 🛛 💌											
	■ <u>16</u> ▼										
Интенсивность S ₁ (нижняя по X)											
	CM ² /M		см ² /	/M							
	1,82	2,16			24						
	2,16	2,5			28						
	2,5	2,84			16						
	2,84	3,19			28						
	3,19	3,53			24						
	3,53	3,87			16						
	3,87	4,21			16						
	4,21	4,56			32						
	4,56	4,9			16						
	4,9	5,24			16						
	5,24	5,58			32						
	5,58	5,93			16						
	5,93	6,27			32						
	6,27	6,61			20						
	6,61	6,95			32						
	6,95	7,3			32						
_	Армат	ура	Рассто	яние до	оц.т. ар	оматуры					
ьетон			a ₁	a ₂	a3	a4					
B35	прод. По А400 А	unep. 1400	<u>см</u> З	<u>см</u> З	СМ 0	0					
Шка	ала	1700		0	0						
— фра Закры	агмента ать						<u>الا</u>				



	🕵 Подбор арматуры		×		
	Интенсивность \$ см ² /м ст и 1,82 1,82	S ₂ (верхняя по X) м ² /м 128			
	Бетон Арматура Расс Бетон Прод. Попер. см В 35 А400 А400 3	стояние до ц.т. арматуры 1 а ₂ а ₃ а ₄ 1 см см см 3 0 0			
	Шкала Фрагмента Закрыть	ö l	 ✓ ✓ ✓ 		
		🕵 Подбор арматури	bl		x
 Кодбор арматуры Г Интенсивность S₃ (нижняя по см²/м см²/м Г 1,82 	• Y)	Интенсивнос: см ² /м 1,82	ть S ₄ (верхняя по см ² /м 1	Y) 28 °	
Бетон Арматура Расстояние до ц а1 а2 Прод. Попер. см см В35 А400 А400 3 3 0 Шкала фрагмента Закрыть	.T. арматуры a ₃ a ₄ <u>cM</u> <u>cM</u> 0 C <u>X</u> <u>X</u>	Бетон Арматура Р Прод. Попер. В 35 А400 А400 3 Шкала фрагмента Закрыть	асстояние доц.т. а ₁ а ₂ а ₃ см см см 3 0	арматуры 3 а ₄ 1 см 0	الا
Бетон Арматура Расстояние до ц прод. Попер. см см В 35 А400 А400 3 3 0 Шкала фрагмента Закрыть	.т. арматуры аза4 смсм 0	Бетон Арматура Р Прод. Попер. В 35 А400 А400 3 Шкала фрагмента Закрыть	асстояние до ц.т. а ₁ а ₂ а ₃ см см см 3 0	арматуры 3 а4 1 см 0	الم
Бетон Арматура Расстояние до ц а1 а2 Прод. Попер. см см В35 А400 А400 3 3 0 Шкала фрагмента Закрыть	.T. арматуры a ₃ a ₄ cm cm 0	Бетон Арматура Р Прод. Попер. В 35 А400 А400 3 Шкала фрагмента Закрыть	асстояние до ц.т. а ₁ а ₂ а ₃ см см см 3 0	арматуры 3 а4 1 см 0	२ ४५
Бетон Арматура Расстояние до ц а1 а2 Прод. Попер. см см В35 А400 А400 3 3 0 Шкала фрагмента Закрыть		Бетон Арматура Р Прод. Попер. В 35 А400 А400 3 Шкала фрагмента Закрыть	асстояние до ц.т. а ₁ а ₂ а ₃ см см см 3 0	арматуры 3 а4 1 см 0	N N N N
Бетон Арматура Расстояние до ц а1 а2 Прод. Попер. см см В35 А400 А400 3 3 0 Шкала фрагмента Закрыть		Бетон Арматура Р Прод. Попер. В 35 А400 А400 3 Шкала фрагмента Закрыть	асстояние до ц.т. а ₁ а ₂ а ₃ см см см 3 0		
Арматура Расстояние до ц Прод. Попер. см см B35 A400 3 3 0 Шкала фрагмента закрыть		Бетон Арматура Р Прод. Попер. В 35 А400 А400 3 Шкала фрагмента Закрыть	асстояние до ц.т. а ₁ а ₂ а ₃ см см см 3 0	apmarypu a a4 1 CM 0 CM 0 CM 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	
Арматура Расстояние до ц а1 а2 Прод. Попер. см см В35 А400 А400 3 3 0 Шкала фрагмента акрыть акрыта акрыта акрыта акрыта		Арматура Р Прод. Попер. В35 А400 А400 3 Шкала фрагмента	асстояние до ц.т. а ₁ а ₂ а ₃ СМ СМ СМ 3 0		
Арматура Расстояние до ц Прод. Попер. см см B35 A400 A400 3 3 0 фрагмента закрыть		Арматура Р Бетон Прод. Попер. В35 А400 А400 3 Шкала фрагмента	асстояние до ц.т. а1 а2 а3 СМ СМ СМ 3 0 	арматуры 3 а4 1 см 0 СМ 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	
Арматура Расстояние до ц Ветон Прод. Попер. см см В35 А400 А400 3 3 0 Шкала фрагмента закрыть 3 0 3 0		Арматура Р Прод. Попер. В35 А400 А400 3 Шкала фрагмента	асстояние до ц.т. а1 а2 а3 СМ СМ СМ 3 0		

Рис. 3.42 Результаты армирования для локального элемента



Рис. 3.43 Формирование таблиц результатов

№ элемента	Тип	Продольная арматура интенсивность в см²/м диаметры (∅) в мм шаг (\$) в мм							
		S.		%	S,		%		
51	Σ	7,13	1,82	0,526	1,82	1,82	0,214		
32	Σ	7,16	1,82	0,528	1,82	1,82	0,214		
63	Σ	7,21	1,82	0,531	1,82	1,82	0,214		
64	Σ	7,3	1,82	0,536	1,82	1,82	0,214		
65	Σ	7,3	1,82	0,536	1,82	1,82	0,214		
66	Σ	7,21	1,82	0,531	1,82	1,82	0,214		
57	Σ	7,16	1,82	0,528	1,82	1,82	0,214		
68	Σ	7,13	1,82	0,526	1,82	1,82	0,214		
69	Σ	7,13	1,82	0,526	1,82	1,82	0,214		
70	Σ	7,16	1,82	0,528	1,82	1,82	0,214		
71	Σ	7,21	1,82	0,531	1,82	1,82	0,214		

Рис. 3.44 Подбор армирования для железобетонных пластин

Подобранные площади армирования для элемента 61: $A_{s1x} = 7,13 \text{ см}^2/\text{м};$ $A_{s2x} = 1,82 \text{ см}^2/\text{м}; A_{s3y} = 1,82 \text{ см}^2/\text{м}; A_{s4y} = 1,82 \text{ см}^2/\text{м}.$

3.3.4. Аналитический расчет

Так как изгиб цилиндрический, плиту можно заменить балкой единичной ширины, лежащей на двух опорах, имеющей цилиндрическую жесткость:

$$D = \frac{Eh^3}{12 \cdot (1-\mu^2)} = \frac{3,45 \cdot 10^7 \cdot 0,2^3}{12 \cdot (1-0,2^2)} = 23958 \text{ кHm}.$$

Нагрузки в аналитическом расчете также задаются погонные (т.е. на единицу длины): интенсивность погонной распределенной нагрузки от собственного веса $q = \gamma \cdot h = 4,9 \text{ кH/m}^2$; погонная сила $p = 11 \cdot 6/4 = 16,5 \text{ кH/m}$; погонный момент $m = 11 \cdot 4/4 = 11 \text{ кH}$. Эпюры поперечных сил и изгибающих моментов приведены на рис. 3.45.



Рис. 3.45 Эпюры изгибающих моментов и поперечных сил: a – загружение 1; б – загружение 2; в – загружение 3

Максимальные прогибы для всех случаев загружений:

a)
$$f_{max} = -\frac{5 \cdot q \cdot L^4}{384 \cdot D} = -\frac{5 \cdot 4,9 \cdot 8^4}{384 \cdot 23958} = -10,91 \text{ MM};$$

6) $f_{max} = -\frac{P \cdot L^3}{48 \cdot D} = -\frac{16,5 \cdot 8^3}{48 \cdot 23958} = -7,35 \text{ MM};$
B) $f_{max} = -\frac{m \cdot L^2}{8 \cdot D} = -\frac{11 \cdot 8^2}{8 \cdot 23958} = -3,67 \text{ MM}.$

Наибольшие значения перемещения по оси Z: для загружения 1 - Z = -10,91 мм; для загружения 2 - Z = -7,35 мм; для загружения 3 - Z = -3,67 мм.

Наибольшие значения погонного изгибающего момента M_x : для загружения 1 – $M_x = 39,2 \text{ кHm/m}$; для загружения 2 – $M_x = 33 \text{ кHm/m}$; для загружения 3 – $M_x = 11 \text{ кHm/m}$.

Наибольшие значения погонной поперечной силы Q_x : для загружения $1 - Q_x = 0$; для загружения $2 - Q_x = 8,25$ кH/м; для загружения $3 - Q_x = 0$.

Расчет арматуры ведется на 1 п.м. длины. Задаемся необходимыми параметрами.

Площадь арматуры при $h_0 = h - a = 200 - 30 = 170$ мм. Расчетное сопротивление арматуры А400 $R_s = 350$ МПа, бетона В35 – $R_b = 19,5$ МПа.

Коэффициент α_m :

$$\alpha_m = \frac{M}{R_b \cdot b \cdot h_0^2} = \frac{39200000}{19,5 \cdot 1000 \cdot 170^2} = 0,0696.$$

Требуемая площадь арматуры определяется по следующей формуле:

$$A_{s} = R_{b} \cdot b \cdot h_{0} \cdot (1 - \sqrt{1 - 2 \cdot \alpha_{m}}) / R_{s} =$$

= 19,5 \cdot 1000 \cdot 170 \cdot (1 - \sqrt{1 - 2 \cdot 0,0696}) / 350 = 6,84 \cdot cm² / m.

Минимальный процент армирования для изгибаемых элементов составляет $\mu = 0,1\%$, в соответствии с которым минимальная площадь армирования составляет:

$$A_s = \frac{\mu \cdot b \cdot h_0}{100\%} = \frac{0.1 \cdot 1000 \cdot 170}{100\%} = 1.7 \text{ cm}^2/\text{m}.$$

	№ загружения		Расчет в ПК	Расчет в	Аналитический	
			Лира	SCAS++	расчет	
	1		-11,563	-11,58	-10,91	
	2		-7,9576	-7,96	-7,35	
MM	3		-3,9414	-3,94	-3,67	
Погонные	1		38,674	38,712	39,2	
изгибающие моменты	2		29,829	29,844	33	
<u>М</u> _x , кНм/м	3		10,988	10,987	11	
Погонные	1		1,0588	1,159	0	
поперечные силы Q_x ,	2		6,1955	6,413	8,25	
кН/м	3		-0,0017822	0,003	0	
	<u>М</u> _x , кНм∕м		91,522	91,582	91,52 (1;2;3)	
Наибольшие значения	(загружения)		(1;2;3)	(1;2;3)		
усилий при РСУ	Q _x , кН/м (загружения)		8,5993 (1;2)	8,975	9,08 (2)	
				(1;2;3)		
	по	нижнее	6,7	7,13	6,84	
Площади армирования, см ² /м	X	верхнее	2	1,82	1,7	
	по	нижнее	2	1,82	1,7	
	Y	верхнее	2	1,82	1,7	

3.3.5. Сравнение результатов

По итогам проведенных расчетов проведено сравнение результатов путем вычисления погрешностей в расчетах:

	N⁰		Численные	Аналитический расчет	
	заг	ружения	расчеты	ПК Лира	SCAS++
Поромоннорина	1		0,17%	5,99%	6,14%
Перемещения	2		0,03%	8,27%	8,30%
ПО 2, ММ	3		0,04%	7,40%	7,36%
Погонные изгибающие моменты <i>М_x</i> , кНм/м	1		0,10%	1,34%	1,24%
	2		0,05%	9,61%	9,56%
	3		0,01%	0,11%	0,12%
Погонные поперечные силы Q_x , к H/M	1		9,46%	100,00%	100,00%
	2		3,51%	24,90%	22,27%
	3		68,33%	100,00%	100,00%
Наибольшие значения	<i>М_x</i> , кНм/м <i>Q_x</i> , кН/м		0,07%	0,00%	0,07%
усилий при РСУ			4,37%	5,29%	1,16%
Площади армирования, см ² /м	по X	нижнее	6,42%	2,05%	4,24%
		верхнее	9,00%	17,65%	7,06%
	по У	нижнее	9,00%	17,65%	7,06%
		верхнее	9,00%	17,65%	7,06%

По итогам сравнения численных расчетов: перемещения по Z и погонные изгибающие моменты M_x совпадают по значениям; различия погонных поперечных сил Q_x и наибольших значений усилий при РСУ в сравнении с их величинами незначительны.

По итогам сравнения аналитического расчета с численными: различия перемещений по Z, погонных изгибающих моментов M_x и наибольших значений усилий при РСУ в сравнении с их величинами незначительны, погонные поперечные силы Q_x для загружений 1 и 3 подразумеваются нулевые и не имеют большой разницы, для загружения 2 отличаются на 25% ввиду приближенного аналитического расчета при сборе погонных нагрузок.

Разница площадей армирования объясняется различием в протоколе расчетов программ: ПК Лира производит расчет минимального процента армирования по общей высоте сечения бетона, SCAD++ – по рабочей высоте сечения; аналитический расчет проводился также по рабочей высоте сечения. Также различия в результатах можно объяснить использованием коэффициента запаса в SCADe и учетом распределения нагрузок на все сетки армирования в Лире.

Список литературы

1. Введение в программный комплекс ЛИРА 10.4 [Электронный ресурс] : учебное пособие / О.А. Ковальчук, А.В. Колесников, Е.М. Русанова [и др.] ; М-во образования и науки Рос. Федерации, Нац. исследоват. Моск. гос. строит. Ун-т. — Электрон. дан. и прогр. (10 Мб). — Москва : НИУ МГСУ, 2015. - 185 с.

2. Габрусенко В.В. Основы расчёта железобетона в вопросах и ответах: учеб. пособие/ В.В. Габрусенко – М.: изд-во АСВ, 2002. – 104 с.

3. Галлагер Р. Метод конечных элементов. Основы / Р. Галларер. – М. : Мир, 1984. – 428 с.

4. Капустин С. А. Метод конечных элементов в задачах механики деформируемых тел : учеб. пособие / С. А. Капустин ; Нижегор. гос. ун-т. – Н. Новгород : ННГУ, 2002. – 180 с.

 Карпенко Н.И. Общие модели механики железобетона, Москва: Стройиздат, 1996 – 417 с.

6. Карпиловский В. С., Криксунов Э. З., Маляренко А. А., Микитавренко М. А., Перельмутер А. В., Перельмутер М. А., SCAD Office. Вычислительный комплекс SCAD, Москва: СКАД СОФТ, 2015. –781с.

7. Лампси Б.Б. Строительная механика Часть І. Статически определимые системы: учеб.-метод.пос./ Б.Б.Лампси, Н.Ю.Трянина, С.Г.Юдников, А.А.Юлина, Б.Б.Лампси, П.А.Хазов; Нижегор. гос. архитектур. - строит. ун-т – Н.Новгород: ННГАСУ, 2016. –81.

8. Маркина Ю.Д. Использование препроцессора «Форум» для формирования расчетной схемы многоэтажного здания: учеб. пособие/ Ю.Д. Маркина, П.А. Хазов, Б.Б. Лампси; Нижегор. гос. архитектур. - строит. ун-т – Н.Новгород: ННГАСУ, 2020.-60с.

9. Маркина Ю.Д. Расчет и армирование монолитной железобетонной плиты перекрытия в программном комплексе SCAD Office: учеб. пособие/ Ю.Д. Маркина, Б.Б. Лампси, П.А. Хазов; Нижегор. гос. архитектур. - строит. ун-т – Н.Новгород: ННГАСУ, 2020.-75с.

10. Норри Д. Введение в метод конечных элементов : пер. с англ. / Д. Норри, Ж. де Фриз. – М. : Мир, 1981. – 304 с.

11. Пособие по проектированию бетонных и железобетонных конструкций из тяжелого бетона без предварительного напряжения арматуры (к СП 52-101-03), Москва: ЦНИИПромзданий, 2005 – 304 с.

12. Сегерлинд Л. Применение метода конечных элементов : пер. с англ. / Л. Сегерлинд. – М. : Мир, 1979. – 392 с.

13. Сигалов В.Н., Байков В.Н. Железобетонные конструкции. Общий курс, Москва: Стройиздат, 1991, – 767 с.

14. Сборник задач по сопротивлению материалов/ Н.М. Беляев, под ред. И.К. Снитко. –М.: Главная редакция физико-иатематической литературы, 1968. – 352 с.

15. Сборник задач по сопротивлению материалов/ под ред. В.К. Качурина. – М.: Главная редакция физико-иатематической литературы изд-ва «Наука», 1970. – 432 с.

16. Старцева Л.В., Архипов В.Г., Семенов А.А. Строительная механика в примерах и задачах. Учебное издание. – М.: изд-во АСВ, 2013. – 224 с.

17. Стренг Г. Теория метода конечных элементов : пер. с англ. / Г. Стренг, Дж. Фикс. – М. : Мир, 1977. – 349 с.

Строительная механика. Компьютерные технологии и моделирование: учебник/
 В.А. Баженов, А.В. Перельмутер, О.В. Шишов/ под общ. Ред. В.А. Боженова. – М.: Изд-во
 СКАД СОФТ, изд. дом АСВ, 2014. – 911 с.

Маркина Юлия Дмитриевна Хазов Павел Алексеевич

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ СТРОИТЕЛЬНОЙ МЕХАНИКИ С ПРИМЕНЕНИЕМ САПР

Учебное пособие

Подписано в печать формат 60х90 1/8. Бумага газетная. Печать трафаретная. Уч. изд. л. 11,7. Усл. печ. л. 12. Тираж 300 экз. Заказ №

Федеральное государственное образовательное учреждение высшего образования «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет» 603000, Нижний Новгород, ул. Ильинская, 65. Полиграфический центр ННГАСУ, 603000, Нижний Новгород, ул. Ильинская, 65 http://www.nngasu.ru, rector@nngasu.ru