

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

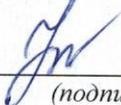
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Комсомольский-на-Амуре государственный университет»



Информационное моделирование
зданий и сооружений
СКБ КНАГУ

СОГЛАСОВАНО

Декан ФАМТ


(подпись) О.А.Красильникова

« 14 » 06 2022 г.

УТВЕРЖДАЮ

Начальник отдела ОПРО


(подпись) В.В. Солецкий

« 14 » 06 2022 г.

Заведующий кафедрой _____


(подпись) В.В.Куриный

« 14 » 06 2022 г.

Проект «Разработка проекта многоэтажного монолитного здания с
учетом поэтапного возведения этажей»

Руководитель СКБ

(подпись, дата)



Ю.Н. Чудинов

Руководитель проекта

(подпись, дата)



Ю.Н. Чудинов

Ответственный исполнитель

(подпись, дата)



К.О. Шейкина

Комсомольск-на-Амуре 2022

Карточка проекта

Название	<i>«Разработка проекта многоэтажного монолитного здания с учетом поэтапного возведения этажей»</i>
Тип проекта	<i>Инициативный</i>
Исполнители	<i>К.О. Шейкина – ИПсм-1</i>
Срок реализации	<i>февраль 2022 г. – июнь 2022 г.</i>

Исходная информация

Исходные данные	<i>Проектная документация реального проекта, выполненная по стандартным технологиям проектирования (двумерные чертежи)-архитектурно-строительные чертежи</i>
Типы разрабатываемых информационных моделей	<i>Архитектурная, аналитическая</i>
Область использования	<i>Проектирование зданий и сооружений</i>
Регламентирующие документы	<ul style="list-style-type: none">• <u>Федеральный закон «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» от 30.12.2009 N 384-ФЗ (ред. от 02.07.2013)</u>• <u>СП 63.13330.2018 Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 52-101-2003 М.: АО "НИЦ "Строительство" - НИИЖБ им.А.А.Гвоздева, 2018</u>• <u>СП 20.13330.2016. Свод правил «Нагрузки и воздействия». Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85*</u>

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Комсомольский-на-Амуре государственный университет»

ЗАДАНИЕ на разработку



Информационное моделирование
зданий и сооружений
СКБ КнАГУ

Название проекта: *«Разработка проекта многоэтажного монолитного здания с учетом поэтапного возведения этажей»*

Назначение: *__Создание проектной документации в виде информационной модели, согласно требованиям постановления Правительства Российской Федерации № 331 от 5 марта 2021 г. "Об установлении случая, при котором застройщиком, техническим заказчиком, лицом, обеспечивающим или осуществляющим подготовку обоснования инвестиций, и (или) лицом, ответственным за эксплуатацию объекта капитального строительства, обеспечиваются формирование и ведение информационной модели объекта капитального строительства"*

Область использования: *Проектирование зданий и сооружений*

Типы разрабатываемых информационных моделей:

архитектурная модель (ПК «САПФИР»),

аналитическая модель (ПК «Лири-САПР»)

Уровень детализации объекта в рамках проекта:

Разработка расчетно-конструктивного разделов для стадии П (проектирование)

Применяемые САПР

-системы:

Программа ПК «САПФИР», ПК «Лири-САПР», программа «MathCAD»

Основной регламентирующий нормативный документ: [Федеральный закон «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» от 30.12.2009 N 384-ФЗ \(ред. от 02.07.2013\)](#)

План работ:

Наименование работ	Срок
Изучение теоретических основ моделирования монолитных зданий с учетом нелинейной работы. Виды нелинейностей.	февраль-март 2022 г.
Алгоритм расчета многоэтажных монолитных железобетонных зданий с учетом генетической нелинейности	апрель 2022 г. -май 2022 г
Создание расчетной модели многоэтажного монолитного здания в ПК «САПФИР». Экспорт аналитической модели из ПК «САПФИР» в ПК «Лири-САПР». Расчет здания с учетом генетической нелинейности, конструктивной и физической нелинейностей. Анализ результатов расчета	май-июнь 2022 г

Руководитель проекта

(подпись, дата)

Ю.Н. Чудинов

Исполнитель проекта

(подпись, дата)

Н.С. Красный

Содержание

1	Общие положения.....	
1.1	Актуальность разработки проекта	
1.2	Регламентирующие документы	
1.3	Перечень организаций, способных реализовать проект	
2.	Основы моделирования монолитных зданий с учетом нелинейной работы.....	
2.1	Виды нелинейностей	
2.2.	Расчет многоэтажного монолитного железобетонного здания с учетом генетической нелинейности	
2.3	Расчет железобетонных конструкций с учетом физической нелинейности	

1 Общие положения

Настоящий проект представляет собой разработку расчетно-конструктивного раздела проекта многоэтажного монолитного железобетонного здания с учетом поэтажного возведения здания (генетической нелинейности), а также с учетом физической и конструктивной нелинейностей. На основе полученной трехмерной модели объекта далее были выполнены статические и конструктивные расчеты основных несущих конструкций объекта с учетом генетической нелинейности. Наиболее эффективные и экономичные решения для конструктивных элементов были получены благодаря использованию трехмерной информационной модели объекта.

Исполнителем работы по созданию проекта «Разработка проекта многоэтажного монолитного здания с учетом поэтажного возведения этажей» является участник студенческого проектного бюро факультета авиационной и морской техники «Информационное моделирование зданий и сооружений» (далее СКБ Информационное моделирование), *студент группы ИПСма-1: К.О.Шейкина.*

1.1 Актуальность разработки проекта

В России с 1 января 2022 года использование технологий информационного моделирования (ТИМ) для всех объектов капитального строительства с государственным участием станет обязательным. Согласно постановлению Правительства России № 331 от 5 марта 2021 года это требование коснется заказчиков, застройщиков, техзаказчиков и эксплуатирующие организации, если средства выделены из бюджета РФ. Необходимо отметить, что для ТИМ есть термин-синоним (BIM-building information modeling), который используется в других странах (и часто даже в России).

Большое значение приобретает развитие методов компьютерного моделирования, направленных на максимальное использование несущей способности конструкций при снижении материалоемкости и обеспечения конструкционной безопасности, что в свою очередь требует рассмотрение задачи в нелинейной постановке. В связи с тем, что в настоящее время активно развивается монолитное домостроение, железобетон является самым распространенным строительным материалом. Здания и сооружения из монолитного железобетона являются многократно статическими неопределимыми системами, на напряженно-деформированное состояние которых влияет перераспределение усилий.

Разработка данного проекта, где рассматривается задача расчета многоэтажного здания с учетом различных видов нелинейностей является актуальной, в связи с тем, что сейчас в строительстве, по сути, совершается революция и необходима подготовка инженеров-строителей нового уровня, способных выполнять расчеты строительных конструкций с учетом реальной работы материалов и других особенностей.

1.2 Регламентирующие документы

Проект разработан с учетом требований следующих нормативных документов:

- [Федеральный закон «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» от 30.12.2009 N 384-ФЗ \(ред. От 02.07.2013\)](#)
- [СП 63.13330.2018 Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Актуализированная редакция СНИП 52-101-2003 М.: АО «НИЦ «Строительство» – НИИЖБ им.А.А.Гвоздева, 2018](#)
- [СП 20.13330.2016. Свод правил «Нагрузки и воздействия». Актуализированная редакция СНИП 2.01.07-85*](#)

1.3 Перечень организаций, способных реализовать проект

Материал разработанного проекта может в первую очередь использоваться в проектных организациях г. Комсомольска-на-Амуре, где уже работают выпускники образовательной программы «Строительство уникальных зданий и сооружений» КнАГУ:

ООО «ПМ Графика» (О.И. Лукьянова),

ООО «А.С.К. Аксес» (А.С. Севрюков),

ООО «Техстандарт» (А.Ю. Негодяев, А.А. Куликов, А.С. Литвиненко).

Но также материал данного проекта может быть полезным и для других проектных организаций г. Комсомольска-на-Амуре и других городов. В первую очередь это относится к описанию методики обмена данными между ПК «Лира-САПР» и ПК «STARK ES».

2. Основы моделирования монолитных зданий с учетом нелинейной работы.

При решении простых строительных задач, инженеры предпочитают использовать расчетные модели, приводящие к линейным уравнениям. Большое значение приобретает развитие методов компьютерного моделирования, направленных на максимальное использование несущей способности конструкций при снижении материалоемкости и обеспечения конструкционной безопасности, что в свою очередь требует рассмотрение задачи в нелинейной постановке.

2.1 Виды нелинейностей.

При расчёте конструкций различают следующие виды нелинейностей:

- физическая нелинейность;
- геометрическая нелинейность;
- конструктивная нелинейность;
- генетическая (инженерная) нелинейность.

Физическая нелинейность обуславливается применением нелинейных зависимостей напряжение-деформация $\sigma_i = f(\varepsilon_i)$. При назначении расчётной модели материала следует учитывать два фундаментальных явления –

упругость и неупругость (пластичность).

Упругость характеризуется полным исчезновением деформаций после разгрузки. Пластичность характеризуется способностью деформируемого тела получать остаточные (пластические) деформации, которые не исчезают после снятия нагрузки (рисунок 2.1).

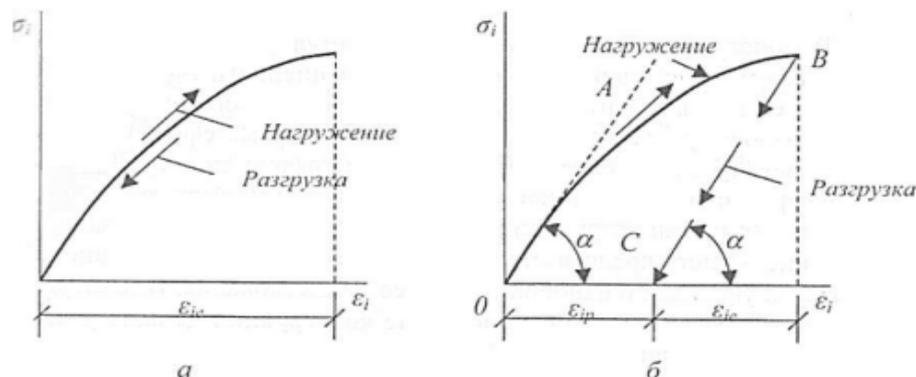


Рисунок 2.1 – Деформация и пластичность при физической нелинейности

Геометрическая нелинейность – линейные и угловые перемещения конструкции или/и деформации вызывают значительное изменение ее геометрии, так что уравнения равновесия или/и уравнения связывающие перемещения с деформациями приходится составлять с учетом изменения формы и размеров конструкции, т. е. по деформированной схеме.

Пример геометрической линеаризации задачи: изгиб консольной балки (рисунок 2.2).

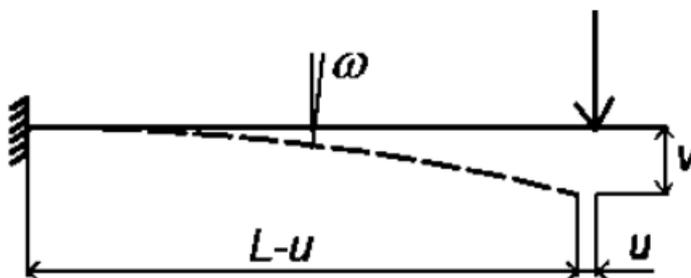
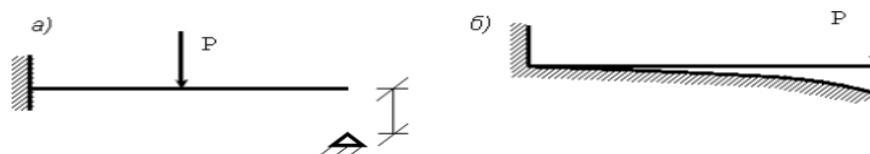


Рисунок 2.2 – Геометрическая нелинейность

Конструктивная нелинейность возникает вследствие конструктивных особенностей системы, вызывающих изменение расчетной схемы в процессе ее деформирования (изменяются условия закрепления, выключаются из работы или включаются те или иные элементы конструкции и т. д.). Конструктивная нелинейность присуща конструкции при разрушении, когда связи выключаются из работы. Примеры расчётных схем при наличии конструктивной нелинейности представлены на рисунке 2.3.



а) – скачкообразное;
б) – непрерывное

Рисунок 2.3 - Изменения расчетной схемы при конструктивной нелинейности

Генетическая нелинейность связана с этапами создания конструкции (монтаж), в процессе которого в том или ином порядке могут устанавливаться или удаляться отдельные элементы системы, прикладываться или удаляться нагрузки, т. е. переход с одного этапа монтажа к другому сопровождается изменением расчётной схемы (рисунок 2.4). На этапах монтажа производится суммирование компонент НДС. Несмотря на то, что каждый этап описывается соотношениями линейной строительной механики, в целом, за счёт изменения расчётной схемы, задача является нелинейной.

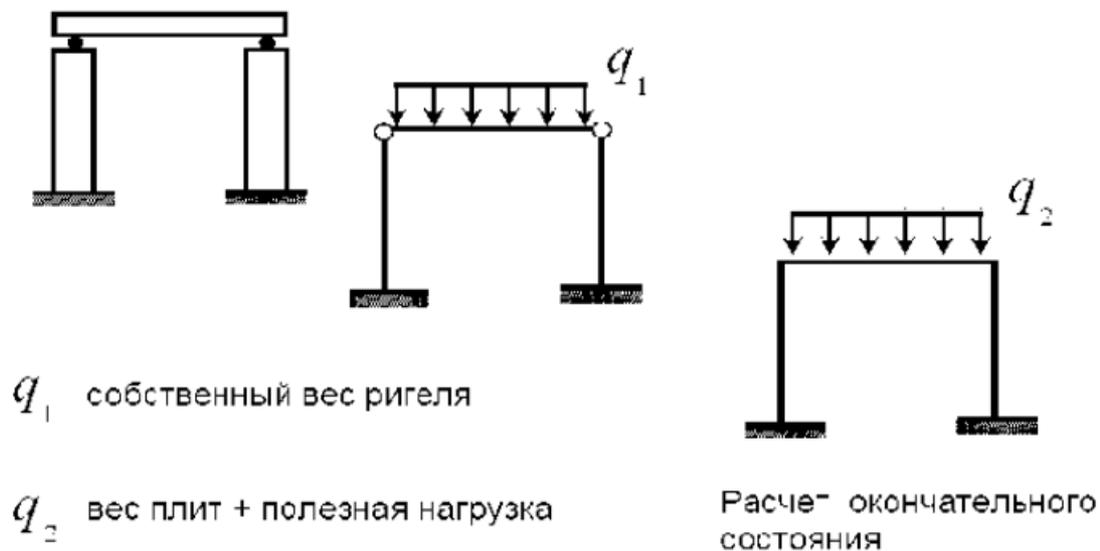


Рисунок 2.4 – Генетическая нелинейность

2.2 Расчет многоэтажного монолитного железобетонного здания с учетом генетической нелинейности

Железобетон является неоднородным композиционным материалом, состоящим из бетона и арматуры, работающими совместно, но обладающими различными механическими свойствами. В связи с тем, что в настоящее время активно развивается монолитное домостроение, железобетон является самым распространенным строительным материалом. Здания и сооружения из монолитного железобетона являются многократно статическими неопределимыми системами, на напряженно-деформированное состояние которых влияет перераспределение усилий. Как следствие многие практические задачи проектирования железобетонных конструкций должны выполняться с учетом физической нелинейности работы материалов. Наиболее характерным примером обязательного учета такого вида нелинейности является расчет монолитных железобетонных плит перекрытия по второй группе предельных усилий – определение прогибов и трещин. Но кроме физической нелинейности в практических расчетах в ряде случаев должны учитываться и другие виды нелинейностей. Так совместный пространственный расчет зданий с основанием однозначно должен выполняться с учетом конструктивной нелинейности, когда расчетная схема меняется в процессе нагружения. В этом случае реализуется процедура итерационных вычислений коэффициентов постели грунта, которые зависят от значений нагрузки, приходящихся на конкретный конечный элемент.

Но если расчеты железобетонных конструкций с учетом физической и конструктивной нелинейности много лет применяются на практике, то учет генетической нелинейности и даже само понятие этого термина для многих проектировщиков является новым. Генетическая нелинейность в приложении к зданиям, выполненным из железобетона, трактуется, как изменение конструктивной схемы здания в процессе его возведения. Тенденцией времени сейчас является строительство в городах многоэтажных высотных зданий, процесс возведения которых занимает достаточно длительный период. Как следствие, наиболее точные и эффективные статические и конструктивные расчеты таких строительных объектов, могут быть выполнены только с учетом генетической нелинейности.

В процессе возведения расчетная схема высотных зданий многократно изменяется: происходит установка или удаление элементов; вводятся или снимаются внешние или внутренние связи; прикладываются или снимаются нагрузки; изменяются жесткостные характеристики уже установленных элементов. При возведении монолитных железобетонных конструкций, как правило, опалубка снимается значительно раньше достижения бетоном проектной прочности, и бетон набирает прочность во время возведения.

Окончательная схема возведенной конструкции помнит историю возведения и, как правило, в ней имеются дислокационные усилия и напряжения, которые отсутствовали бы, если конструкция была бы создана одномоментно.

При расчётном обосновании объектов строительства редко используют технологии многостадийного расчета с учётом последовательности возведения. Необходимость учёта постепенного возведения обусловлена тем, что применяемая в настоящее время классическая расчетная модель не всегда точно отражает действительную работу, как всего здания, так и отдельных его элементов. Непосредственно из-за рассмотрения только лишь одного эксплуатационного состояния, классическая модель не может показать изменения напряжённо-деформированного состояния его элементов при возведении и в результате этого не способна гарантировать прочность и устойчивость несущих конструкций. Во многие расчетные программные комплексы были внесены дополнения, позволяющие смоделировать процесс последовательного возведения, которое является нелинейной статической формой анализа, где реализуется концепция ступенчатого нагружения расчетной схемы. Ввиду того, что в настоящее время, согласно нормативной документации, не стоит четких требований для расчетов с учетом последовательности возведения, большинство расчетов зданий и сооружений производят по традиционной методике, что, в свою очередь, может привести к большим погрешностям в получаемых результатах. Следовательно, задача исследования напряжённо-деформированного состояния с учетом последовательности возведения является актуальной.

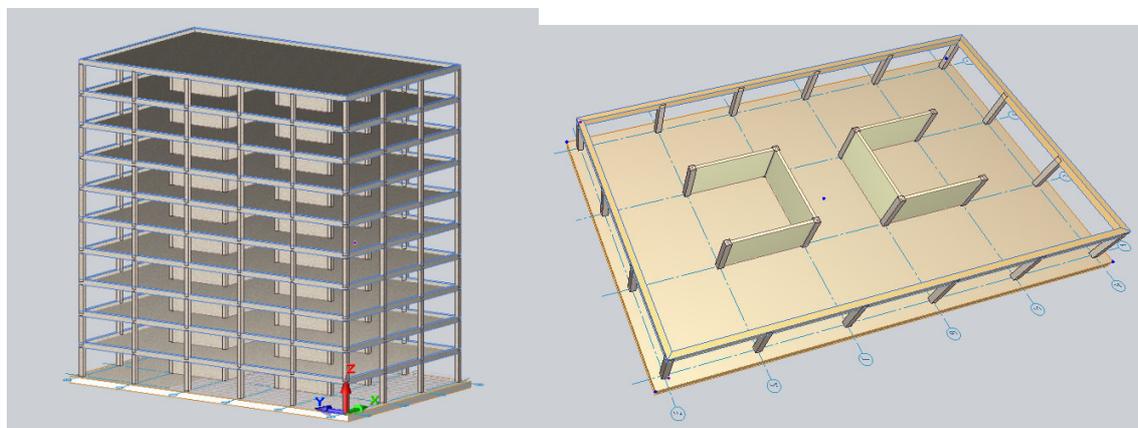
Рассмотрим на примере расчета десятиэтажного монолитного железобетонного здания в ПК «Лири-САПР», каким образом учет генетической нелинейности влияет на напряженно-деформированное состояние отдельных элементов. Для этого мы будем использовать систему «Монтаж». Основные

параметры здания: размеры в плане 18*30 м, высота этажа – 3 метра, количество этажей - 10, основные несущие элементы – колонны сечением 0.5*0.5 м, балки сечением 0.4*0.5 м, плиты перекрытия – толщиной 0.2 м. Все элементы выполняются из бетона класса В30, основная продольная рабочая арматура изготавливается из класса А400. Помимо собственного веса конструкций, на здание исключены остальные нагрузки.

Модель была создана в ПК САПФИР, рисунок 2.5, после триангулирована и передана в ПК ЛИРА-САПР, где рассчитывается методом конечных элементов. В рамках исследования расчету подлежат только монолитные железобетонные несущие конструкции здания (стены, колонны, балки и перекрытия). Работа фундамента не учитывалась, поэтому фундаментная плита закреплена условно «жестко». Для расчетов с учётом постепенного возведения было задано 5 стадий.

а

б



а – конструктивная схема здания;

б – конструктивная схема первого этажа

Рисунок 2.5 – Модель здания

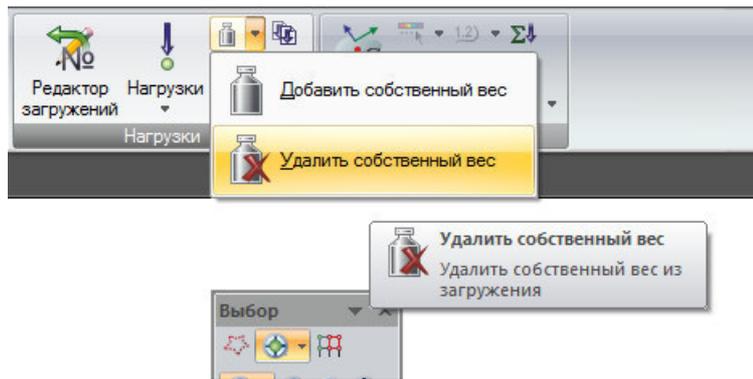
Выполним расчет трех условных моделей здания :

1. Традиционная;
2. С учетом стадий монтажа;
3. С учётом постепенного возведения с заданными монтажными группами с коэффициентами 0,3; 0,6; 0,8; 1

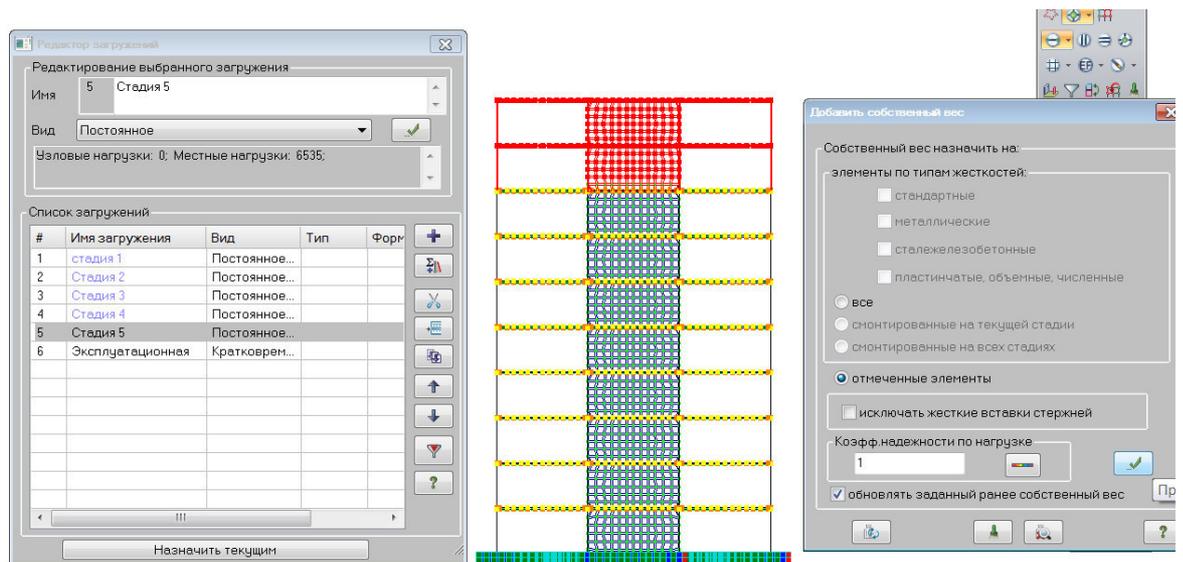
В первой модели выполним расчеты здания по стандартной технологии, когда собственный вес конструкции прикладывается одновременно на все элементы здания. Ниже на рисунке 1 приведена конструктивная схема здания и результаты расчетов в ПК «Лира-САПР». Выполним расчет.

Обычно число стадий равно числу этажей возводимого здания. В нашем тестовом втором примере примем 5 стадий монтажа здания, удалив собственный вес конструкции, и назначив его постепенно на каждой стадии, рисунок 2.6. Первая стадия будет включать фундаментную плиту и первые два этажа, остальные по 2 этажа. Первый этап формирования расчетной модели здания остается таким же, как для линейного расчета.

а



б



а – конструктивная схема здания;
б – конструктивная схема первого этажа
Рисунок 2.6 – Назначение стадий монтажа

Далее каждой стадии присвоим конструктивные элементы, которые возведены или удалены на момент данного этапа, рисунок 2.7.

После выполнения данной операции выполним расчет.

В третьей модели здания присвоим коэффициенты 0,3; 0,6; 0,8; 1 каждой стадии монтажа, рисунок 3.4. При необходимости для каждой группы элементов схемы задаются коэффициенты – к модулю деформации и к прочности бетона в соответствии с номерами стадий возведения стадиях. Если информация о группах не указана, то характеристики материала остаются неизменными на всех стадиях. Коэффициенты к модулю деформации и к прочности бетона не могут от стадии к стадии принимать убывающие значения.

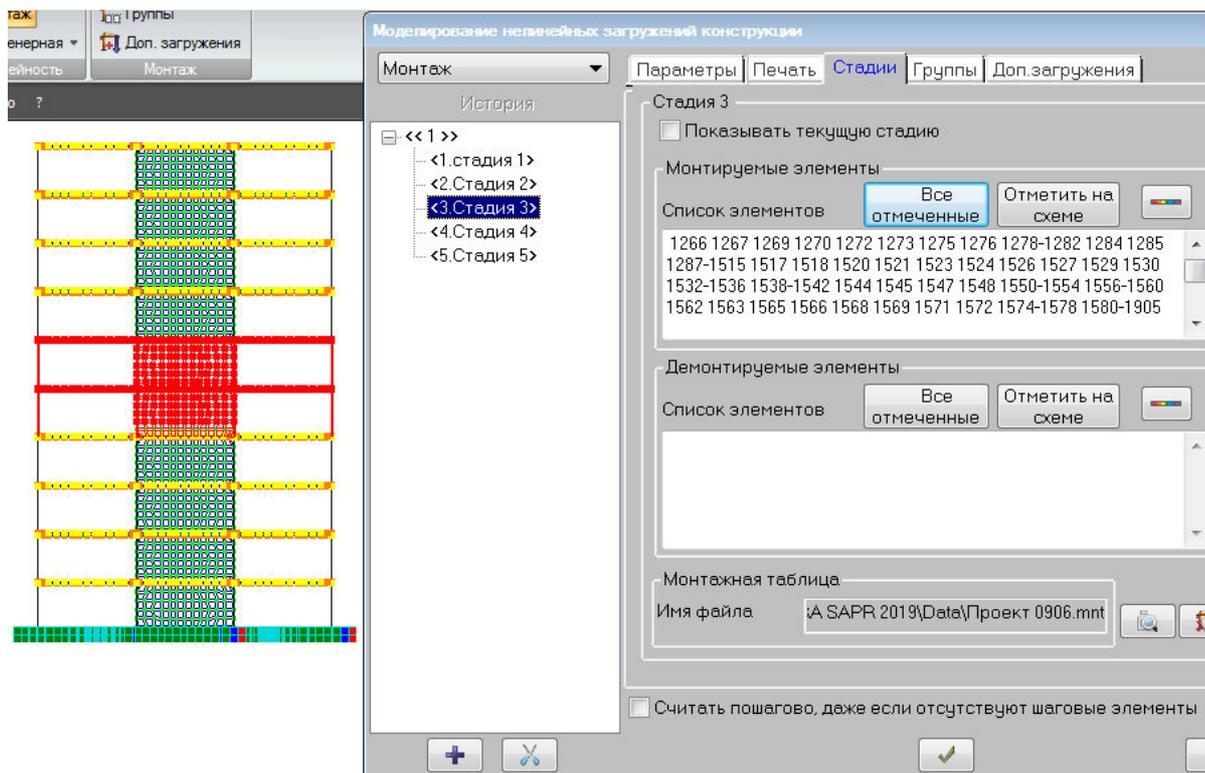


Рисунок 2.7 – Назначение элементов к каждой стадии монтажа

Для расчёта третьей модели использовались коэффициенты 0,3, 0,6, 0,8 и 1 (рисунок 2.8). Понижающие коэффициенты прочности и модуля деформаций бетона, используемые в данном расчете 0,3, 0,6, 0,8 и 1, равные 30, 60, 80 и 100 процентов набранной прочности. Коэффициенты в расчетной схеме № 3 взяты для анализа, поскольку зависят от сроков выполнения монтажных работ.

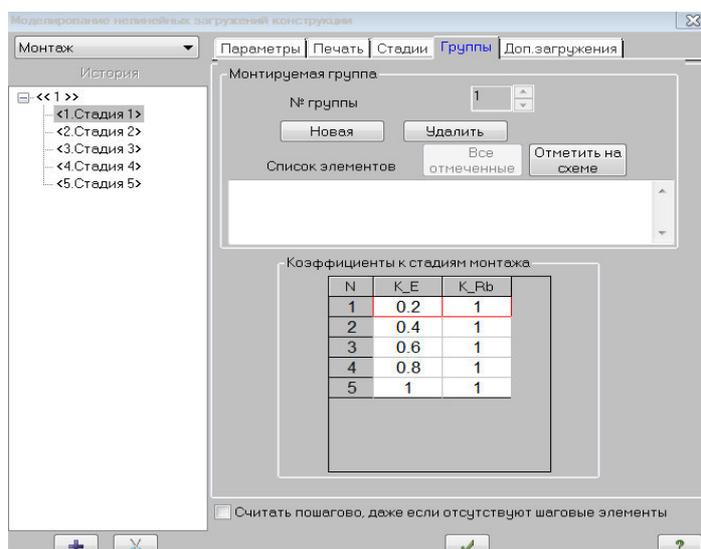
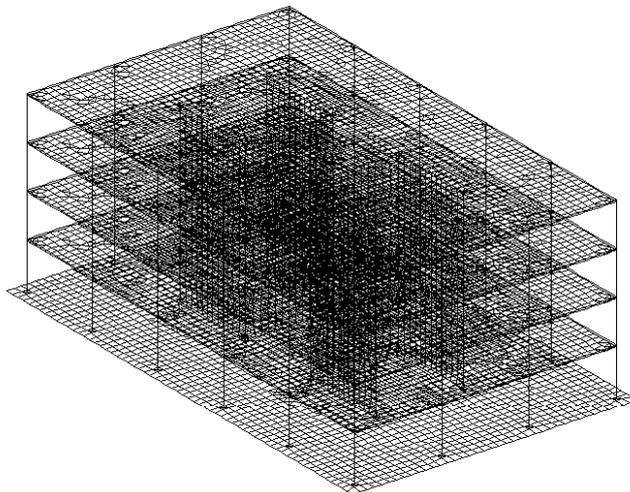


Рисунок 2.8 – Окно задания групп элементов, для которых учитывается изменение модуля упругости

Также система «Монтаж» позволяют учитывать дополнительные нагрузки, которые действуют только на отдельных стадиях. Например, вес на перекрытиях технологического оборудования, которое со временем демонтируется.

В результате работы расчетного процессора системы МОНТАЖ плюс для элементов вычисляются усилия и напряжения, накапливаемые в процессе возведения (рисунок 2.9).



Протокол	
24%	ОСНОВНАЯ СХЕМА
	МОНТАЖ, стадия №1
	20.46 Оптимизация порядка неизвестных
	Количество неизвестных = 27022
	20.46 Формирование матрицы жесткости
	20.46 Формирование векторов нагрузок
	20.46 Разложение матрицы жесткости
	20.46 Вычисление неизвестных
	20.46 Контроль решения
	20.46 Суммирование результатов
	МОНТАЖ, стадия №2
	20.46 Оптимизация порядка неизвестных
	Количество неизвестных = 54044
	20.46 Формирование матрицы жесткости
	20.46 Формирование векторов нагрузок
	20.46 Разложение матрицы жесткости

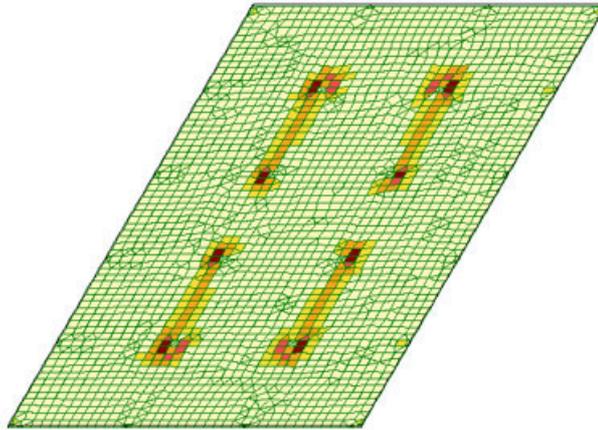
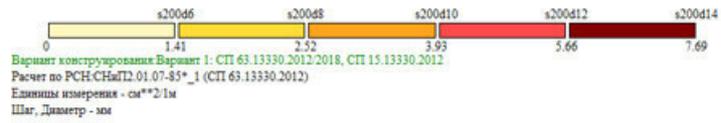
Рисунок 2.9 – Работа расчетного процессора системы МОНТАЖ

По умолчанию перемещения узлов в процессе счета не накапливаются, а вычисляются заново для каждой стадии. В режиме конструирования железобетонных конструкций, можно отследить количества необходимой арматуры по каждой стадии. Результаты армирования для каждой стадии представлены в виде таблиц, по которым легко оценить, является ли проектное армирование элементов достаточным.

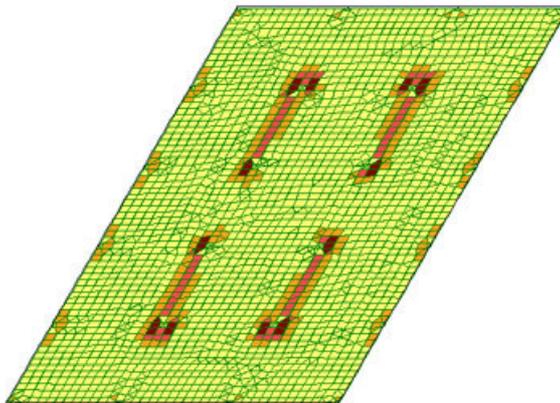
Если информация о группах и дополнительных загрузках не указана, то система МОНТАЖ плюс работает как система МОНТАЖ. В этом случае может быть задана еще и таблица РСУ, даже если схема содержит нелинейные элементы.

После задания всех параметров системы «Монтаж» и выполнения нелинейного расчета сравним полученные результаты с линейным решением (рисунок 2.10 - 2.16).

а

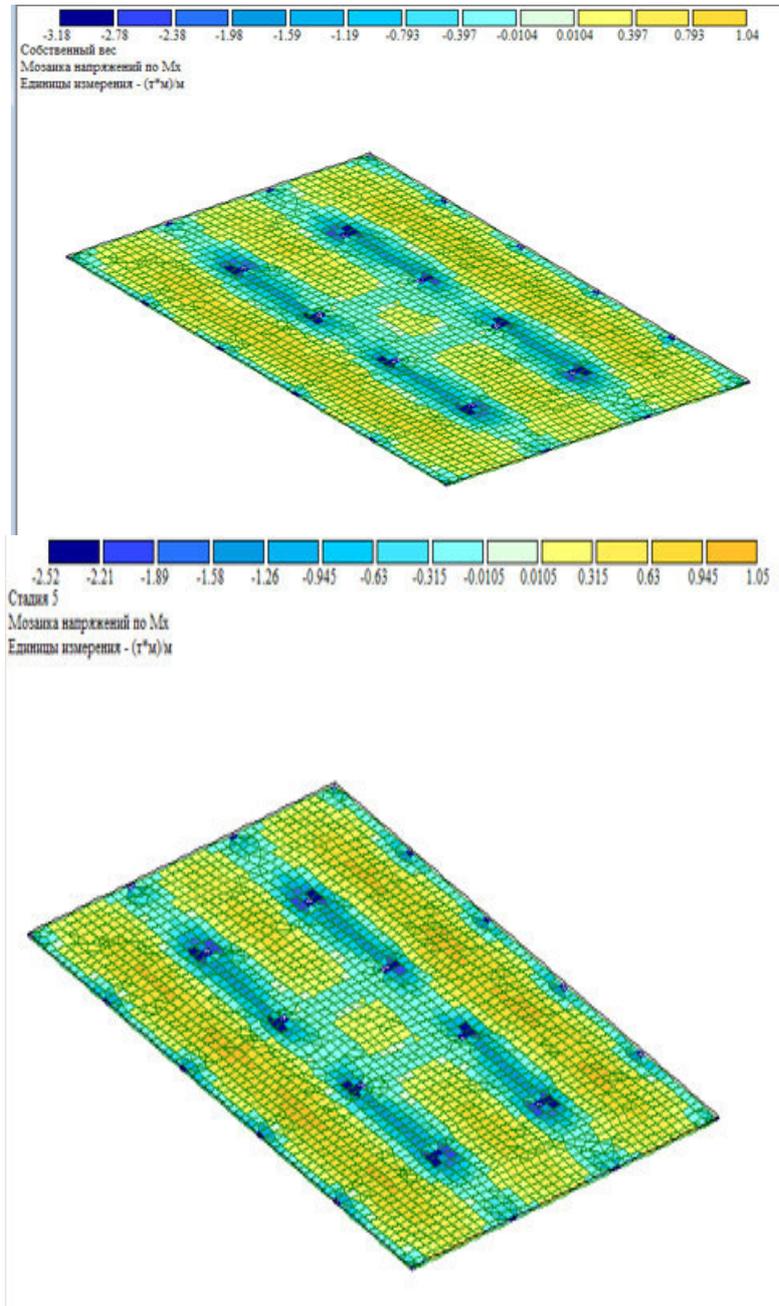


Площадь полной арматуры на 1м по оси X у верхней грани, максимум в элементе 31922



б

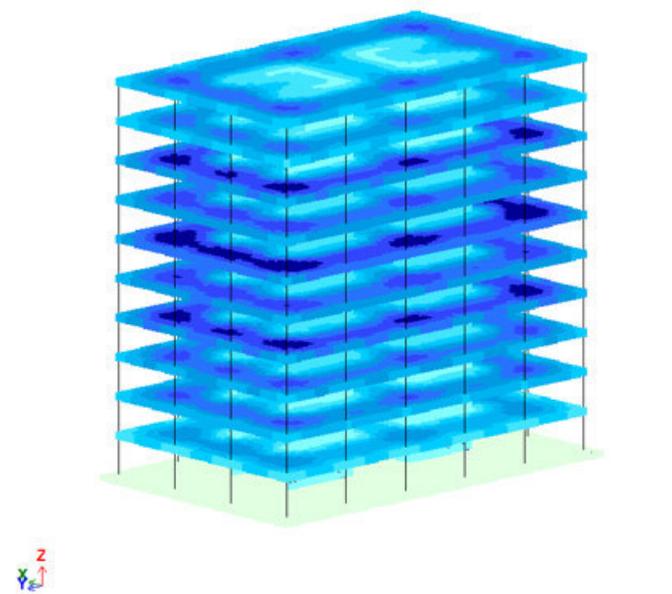
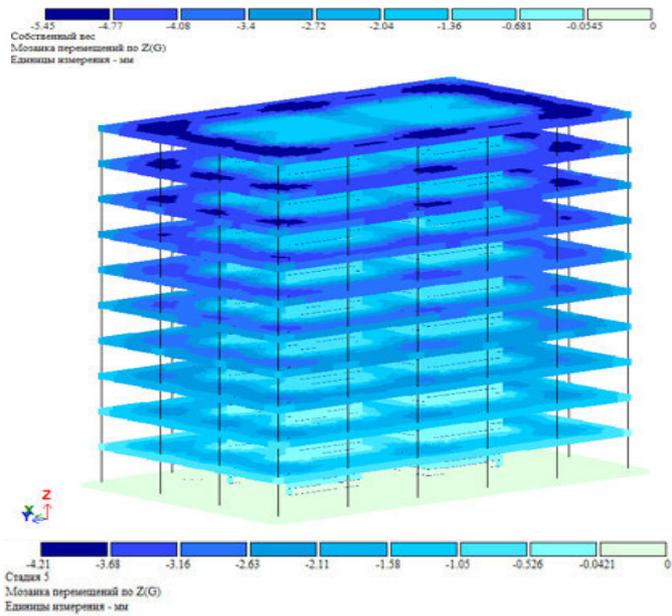
а – традиционный расчет;
б – с учетом стадий монтажа
Рисунок 2.10 – Результаты армирования плиты 9 этажа



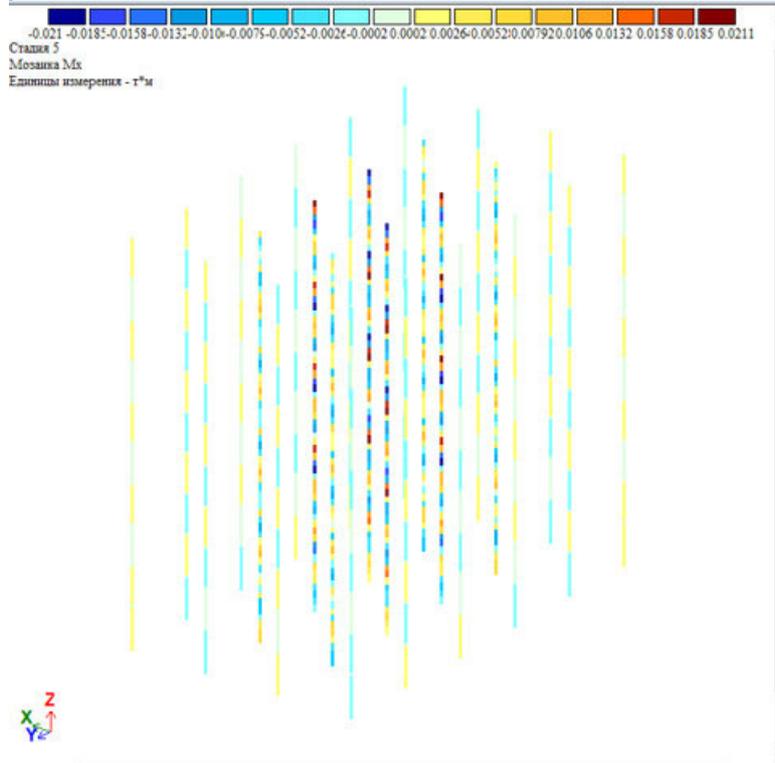
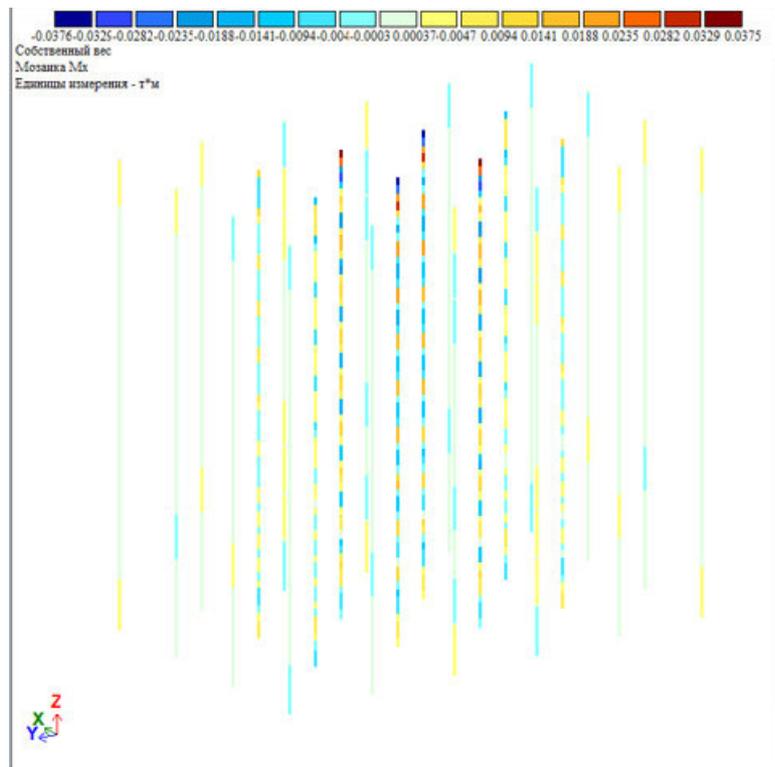
а – традиционный расчет;

б – с учетом стадий монтажа

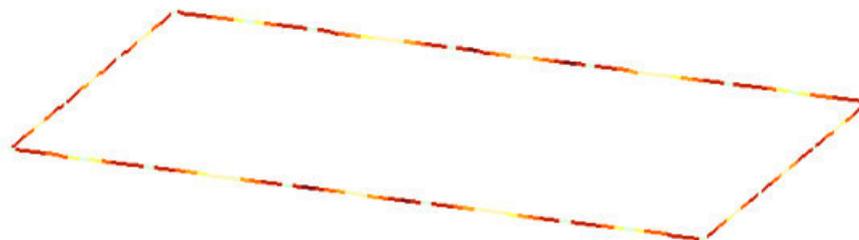
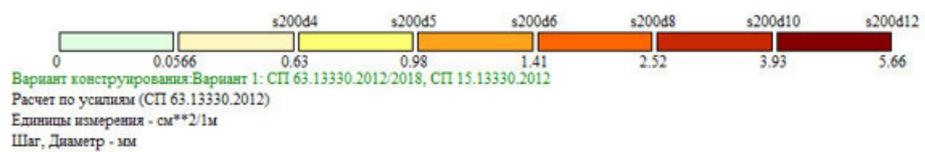
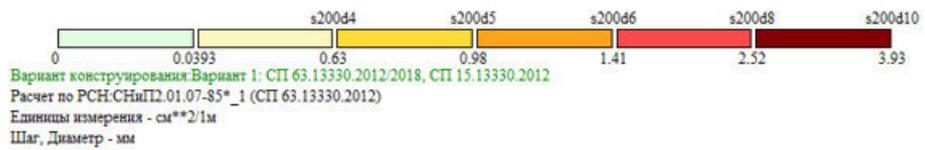
Рисунок 2.11 – Мозаика напряжений плиты 9 этажа



а – традиционный расчет;
 б – с учетом стадий монтажа
 Рисунок 2.12 – Мозаика перемещений



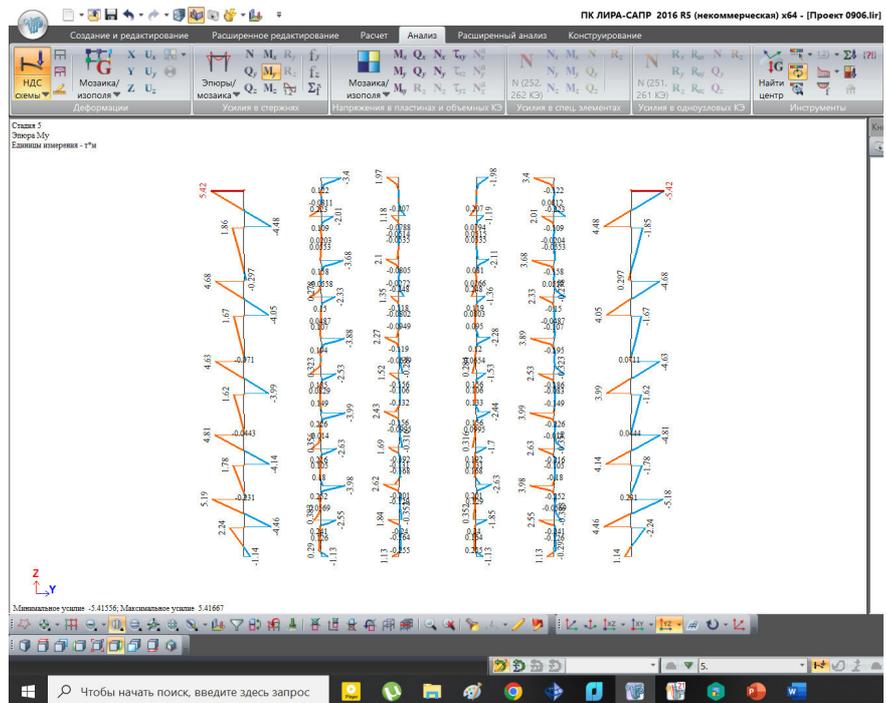
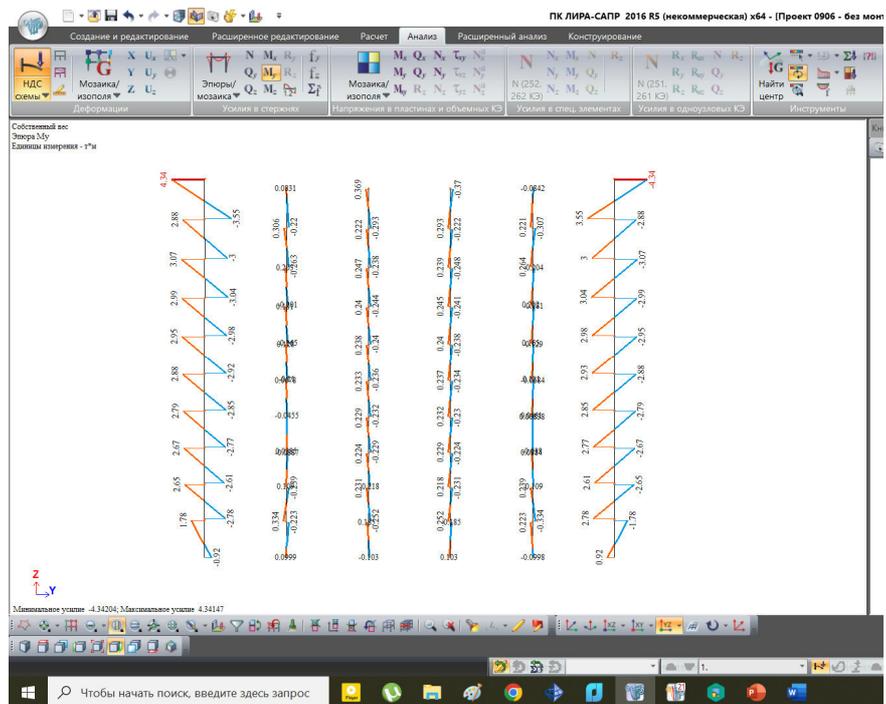
а – традиционный расчет;
 б – с учетом стадий монтажа
 Рисунок 2.13 – Усилия в стержнях



а – традиционный расчет;

б – с учетом стадий монтажа

Рисунок 2.14 – Результаты армирования балки 9 этажа



а – традиционный расчет;
 б – с учетом стадий монтажа
 Рисунок 2.16 – Площадь арматуры балки 9 этажа

Как мы видим, учет генетической нелинейности привел к перераспределению усилий в отдельных элементах. Особенно важно отметить, что в некоторых элементах нелинейный расчет дал меньшие внутренние усилия, когда были получены новые расчетные сочетания усилий на начальных стадиях монтажа здания и меньшее значение требуемой площади сечения армирования. В нашем примере расхождение получилось не таким большим, так как рассматриваемое здание имеет всего десять этажей,

но для высотных зданий эта поправка может быть значительной и может привести к невыполнению требований по первой группе предельных состояний.

Выводы: По результатам расчетов можно сказать, что возникающие деформации и напряжения в конструкциях монолитного железобетонного 10-этажного здания по традиционной методике и с учётом постепенного возведения имеют разные значения и характер поведения. При учете последовательности возведения учитывается начальная деформированность системы, которая отсутствует в традиционной модели. Следовательно, отрицание начального напряженно-деформированного состояния конструкций, при расчете по традиционной расчетной модели является одним из основных ее недостатков. Расчет с учётом постепенного возведения здания оказался более точным, поскольку был максимально приближен к реальным условиям работы и стадийность возведения значительно влияет на формирование напряженно-деформированного состояния несущей системы конструкций. Однако значительно увеличивается время, трудоемкость расчета и требуется мощная вычислительная техника. С увеличением количества этажей в здании и при наличии этажей повышенной жесткости, использование традиционной методики расчёта ведет к расхождению в результатах по сравнению с результатами, полученными с использованием системы «Монтаж» для учёта постепенного возведения. Сравнив схемы с учётом постепенного возведения, в которых учитывались различные факторы (набор прочности бетоном, монтажные нагрузки), можно сделать вывод о том, что на значения полученных усилий наибольшее влияние оказал набор прочности бетона. Монтажная нагрузка оказала незначительное влияние.

2.3 Расчет железобетонных конструкций с учетом конструктивной нелинейности

Конструктивная нелинейность возникает вследствие конструктивных особенностей системы, которые вызывают изменения расчетной схемы в процессе ее деформирования (выпадают или образуются новые связи, изымаются из работы или включаются в нее те или иные элементы и т.д.).

На этапе проектирования также необходимо учитывать изменение напряженно-деформированного состояния ж/б конструкций на каждой стадии жизненного цикла конструкции. Это необходимо для построения адекватных расчетных схем, выявления дополнительных резервов несущей способности, снижения материалоемкости, обеспечения устойчивости от прогрессирующего обрушения.

В задачах конструктивной нелинейности имеет место изменение расчетной схемы по мере деформирования конструкции – например, в момент достижения некоторой точкой конструкции определенной величины прогиба возникает контакт этой точки с опорой.

Для решения таких задач шаговый нелинейный процессор организует процесс пошагового нагружения конструкции и обеспечивает решение линеаризованной системы уравнений на каждом шаге для текущего

приращения вектора узловых нагрузок, сформированного для конкретного нагружения.

Шаговый нелинейный процессор позволяет получить напряженно-деформированное состояние для мономатериальных и для биматериальных, в частности железобетонных, конструкций.

Рассмотрим данную задачу на примере того же здания торгового центра в городе Биробиджан, что и в предыдущем примере с учетом модели грунта. Зададим параметры грунта (рисунки 2.17, 2.18). Параметры расчета показаны на рисунке 2.19.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
1																				
2	№	Усл.	Наименование	Цвет	Модуль	Кэф-	Удель-	Кэффи-	Природ-	Показа-	Вода	Кэффи-	Удельное	Угол	Предельное	Кэффи-				
3	ИГЭ	обозн.	грунта		дефор-	фици-	ный	ент пере-	ная	тель	Лесс	циент	сцепление	внутрен-	напряже-	пропорцио-				
4					мации,	ент	вес	хода ко 2	ная	теку-		порис-	т/м**2	него	растяже-	нальности K,				
5					т/м**2	Плас-	грунта,	модулю де-	влаж-	чести		т/м**2	т/м**2	Rs,	т/м**2	и код грунта				
6	1		Насыпной		1000	0.3	1.8	5	0.263	0.2		0.7	0.5	16	0.1	520	22		Плотный песок средн	
7	2		Суглинок тугоплас		1500	0.3	1.91	5	0.263	0.42	W	0.74	2.14	19	0.02	600	Ls		Суглинок тугопластич	
8	3		Супесь пластично		1680	0.3	1.98	5	0.216	0.39	W	0.64	0.6	25	0.16	235	Sp		Супесь пластичная IL	
9	4		Песок мелкий		2800	0.35	1.87	5	0.133		W	0.65	0.2	32	0.4	493	S1		Песок мелкий e=0.6...	
10	5		Гравелистый грунт		4000	0.42	1.92	5	0.02		W	0.65	0.7	43	1	2178	24		Плотный песок гравел	
11																				

Примечания: значения Rc, Fi, Rs в расчете коэффициентов постели C1, C2 не используются, но задаются для последующего экспорта в жесткости ЛИРА-САПР. Значения IL и K используются для расчета жесткости свай (КЭ 57)

Рисунок 2.17 – Параметры грунта

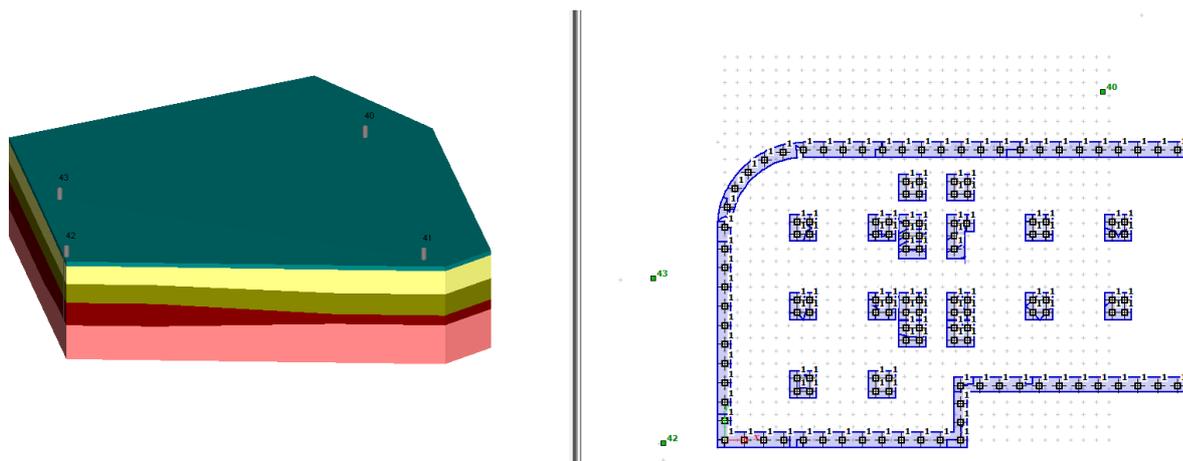


Рисунок 2.18 – Модель грунта

Параметры расчета

Кoeffициент глубины сжимаемой толщи

Минимальная глубина сжимаемой толщи м

Дополнительное постоянное напряжение по всей глубине т/м²

Учитывать вес грунта выше отметки приложения нагрузки

Шаг триангуляции нагрузок для построения изополей м

Вычислять результаты в пределах площади импортированных нагрузок по укрупненной прямоугольной сетке

Шаг сетки м

Расчет осадки существующих зданий от строящихся сооружений

Выбор норм

СНиП 2.02.01-83

СП 50-101-2004

ДБН В.2.1-10:2009

СП 22.13330.2011

Рисунок 2.19 – Параметры расчета

Затем выполним расчет коэффициентов постели в 1-м приближении на равномерные нагрузки (напряжения под ФП). От коэффициентов постели, полученных после 1-го приближения, определяются по результатам расчета схемы неравномерные напряжения R_z .

Полученный после 1-го приближения R_z , следует экспортировать в исходные данные в качестве R_z для системы ГРУНТ для получения коэффициентов постели во 2-м приближении.

Количество итераций (приближений) должно быть таким, чтобы между настоящей и предыдущей итерацией сохранялся качественный характер коэффициентов постели, а количественно расхождение не превышало 10%.

Начиная с версии Лира-САПР 2019, реализован инструмент для автоматизации выполнения итерационных расчетов без постоянного участия пользователя (рис.2.20).

Пересчет коэфф. постели C1, C2 и жесткости свай по модели грунта

С текущей задачей связана модель грунта
 c:\Vira sapr\lira sapr 2019\data\w018грунт2_2\корпус.sld
 Выберите требуемые действия:

пересчитать значения коэффициентов постели упругого основания C1 и C2 по модели грунта

пересчитать жесткости свай (КЭ 57) по модели грунта

Нагрузки

Текущие

Уточнить

Выбор загрузки

Загрузка

РСН

№ РСН

Параметры расчета

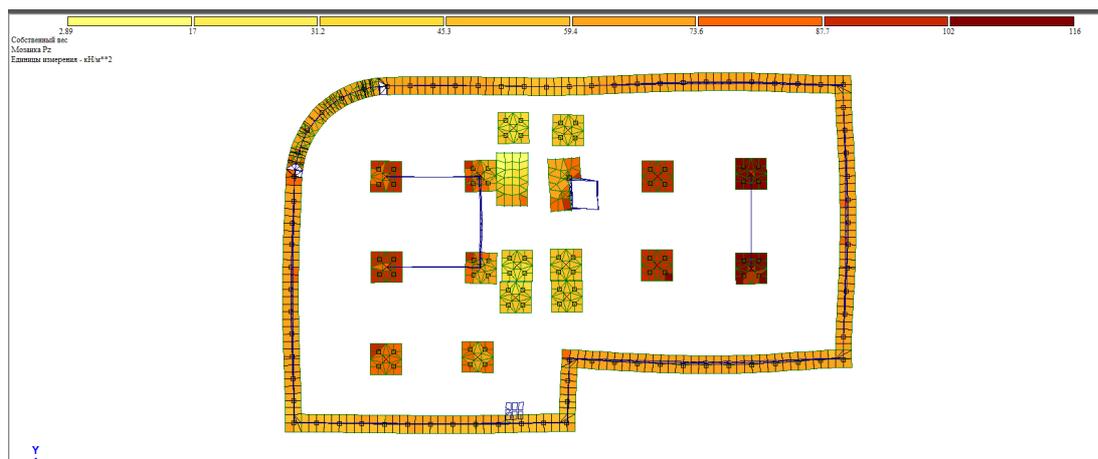
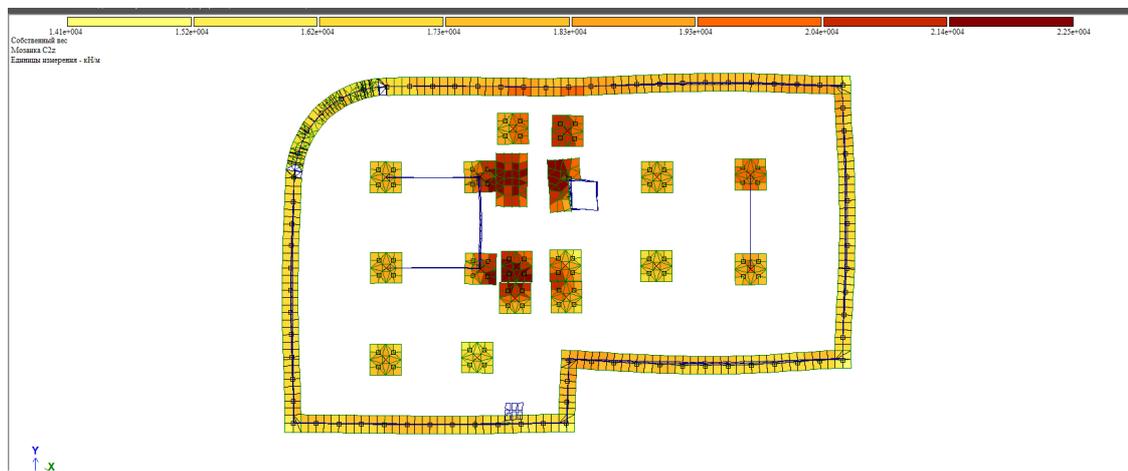
Количество итераций

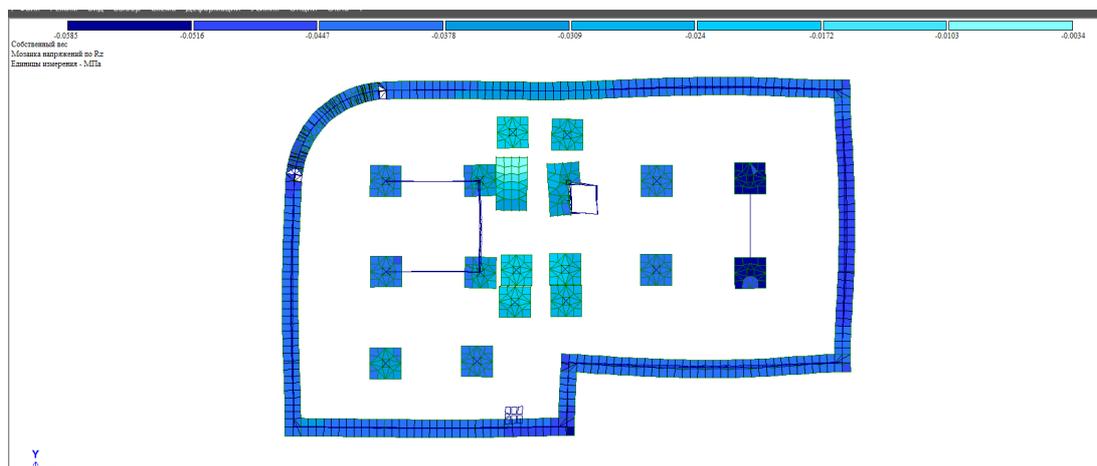
Завершить расчет, если изменение нагрузки не превышает %

Нажмите «Пересчитать», чтобы выполнить выбранные действия и затем начать МКЭ-расчет, или «Пропустить», чтобы пропустить этап пересчета, или «Отменить» для отмены всех расчетов

Рисунок 2.20 – Расчет грунта с выполнением итерационного расчета

. В итоге получим реальную картину распределения напряжений по площади фундамента здания.





- а – коэффициент постели С1;
- б - коэффициент постели С2;
- в – напряжения в фундаменте;
- г – напряжения в грунте

Рисунок 2.21– Результаты расчета в первом приближении

2.3 Расчет железобетонных конструкций при расчете физической нелинейности

Физическая нелинейность обусловлена учетом нелинейной зависимости между компонентами обобщенных напряжений и деформаций $\sigma_i = f(\varepsilon_i)$ при расчете и характеризует работу материала конструкции на упругопластичном участке.

Железобетон – это композитный материал, имеющий ярко выраженные свойства физической нелинейности. Физическая нелинейность важна при расчете железобетонных конструкций по второй группе предельных состояний – для расчета прогибов и трещин. С целью определения реального состояния конструкции выполним два расчета. Первый расчет линейный, второй выполним с учетом физической нелинейности, где учитывается реальная работа бетона и материалов.

Рассмотрим данную задачу на примере здания, выполненного из монолитного железобетона в городе Биробиджан.

Создадим аналитическую модель здания (рисунок 2.21)

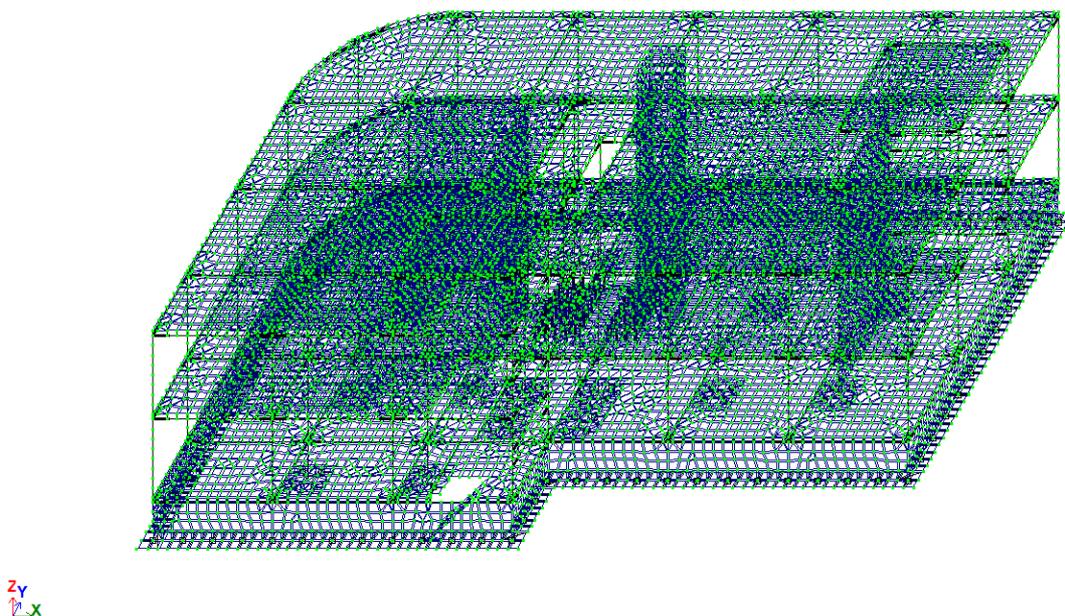


Рисунок 2.21 – Аналитическая модель здания

Наиболее точные результаты дает пространственная модель, но возьмем один средний этаж для упрощения расчета (рисунок 2.22).

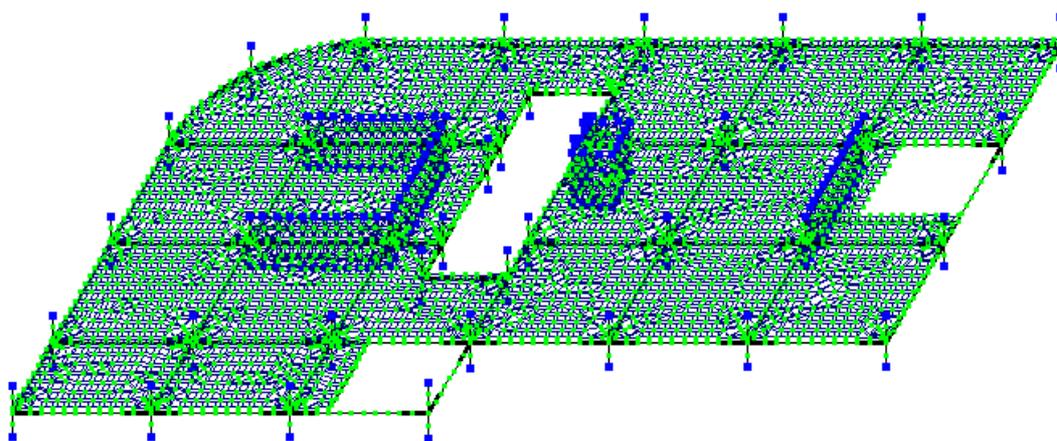


Рисунок 2.22 – Плита перекрытия

Из общей конструкции выделим типовой этаж, зададим жесткие связи на опорных узлах сверху и снизу и выполним линейный расчет.

Для выполнения нелинейного расчета предварительно сменим тип конечных элементов: КЭ44 на КЭ244, КЭ42 на КЭ242 - физически нелинейные конечные элементы в форме четырехугольников и треугольников (рисунок 2.23).

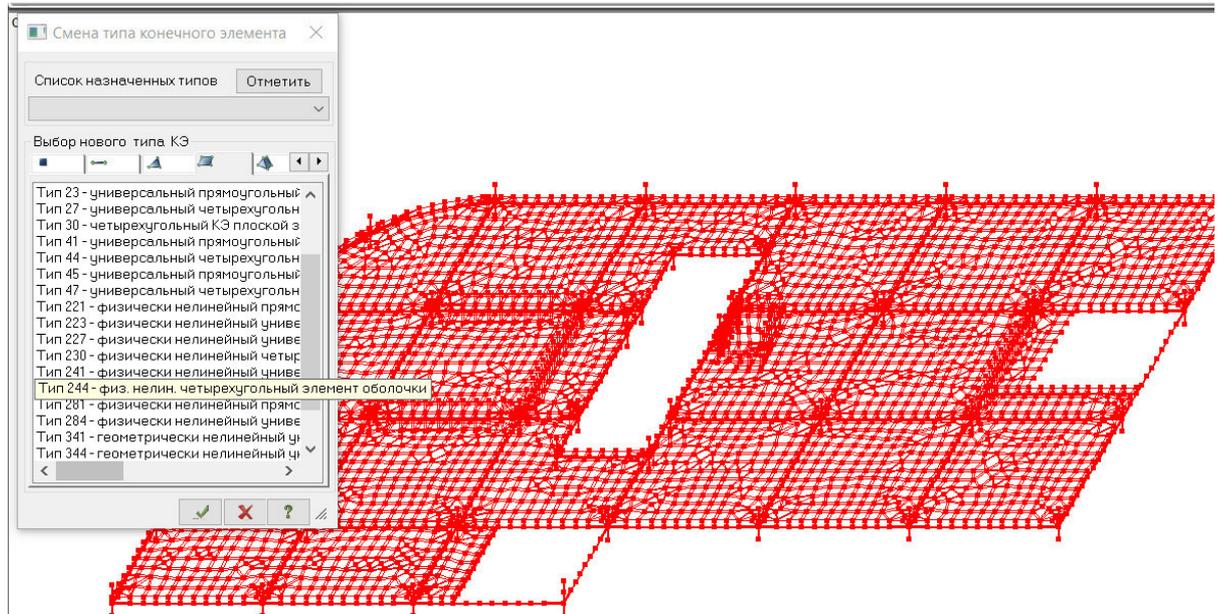


Рисунок 2.23 – Смена типа конечных элементов

Для новых типов конечных элементов необходимо создать новую жесткость: скопируем ее из уже имеющейся жесткости пластины, вкладка железобетон, далее – редактировать (рисунок 2.24)

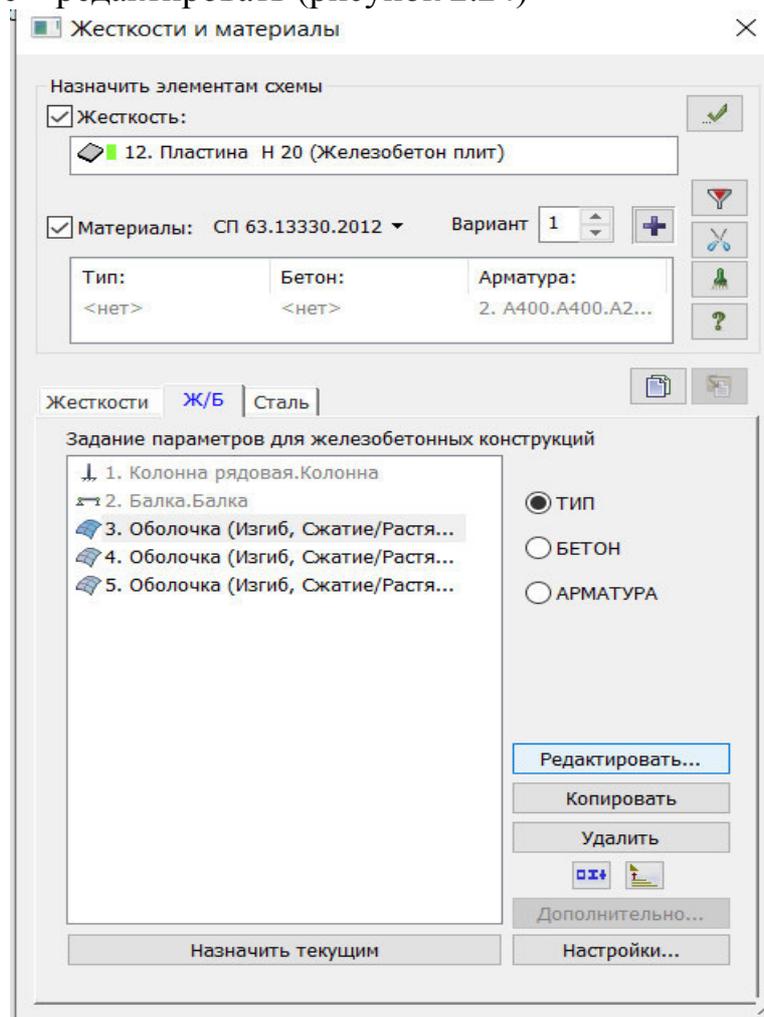


Рисунок 2.24 – Редактирование жесткости

Далее зададим параметры арматуры для нелинейного расчета, выбрав ТЗА (типы заданного армирования)



Рисунок 2.25 – Подтверждение нелинейного расчета

Выбираем 11 нелинейный закон деформирования: экспоненциальный закон деформирования, класс бетона В25 атмосферного твердения, учитывать армирующий материал (рисунок 2.26).

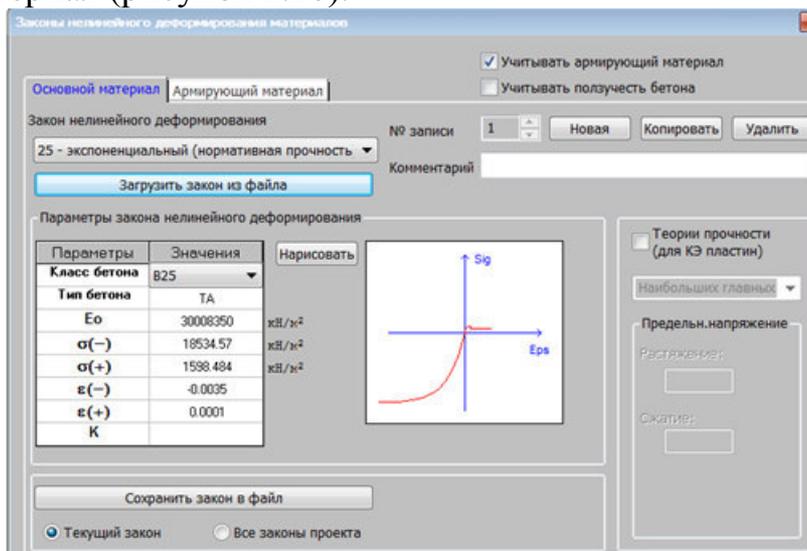


Рисунок 2.26 – Параметры бетона

Подберем параметры для армирующего материала. Тип закона - 11 нелинейный закон деформирования: экспоненциальный (расчетная прочность) закон деформирования (рисунок 2.27)

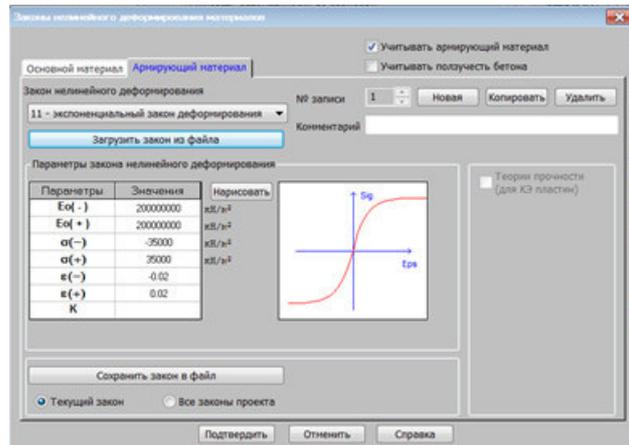


Рисунок 2.27 – Параметры армирования

Далее выберем шаговый метод расчета (рисунок 2.28)

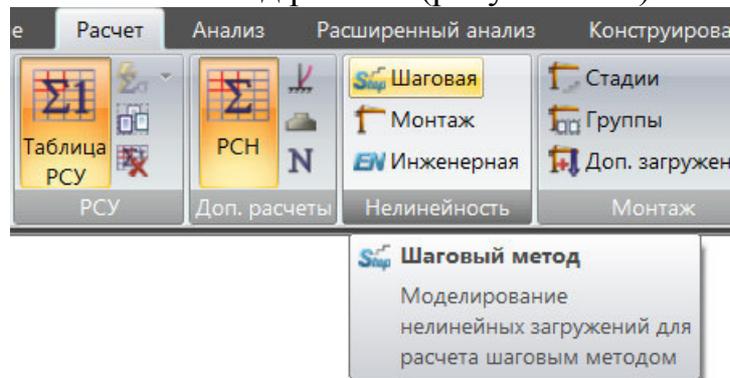


Рисунок 2.28 – Параметры нелинейного расчета

Выберем 2 имеющиеся нагрузки на плиту: собственный вес и эксплуатационная. Для них зададим одинаковые параметры расчета: метод расчета простой шаговый, количество шагов 10, перемещения и усилия после каждого шага (рисунок 2.29)

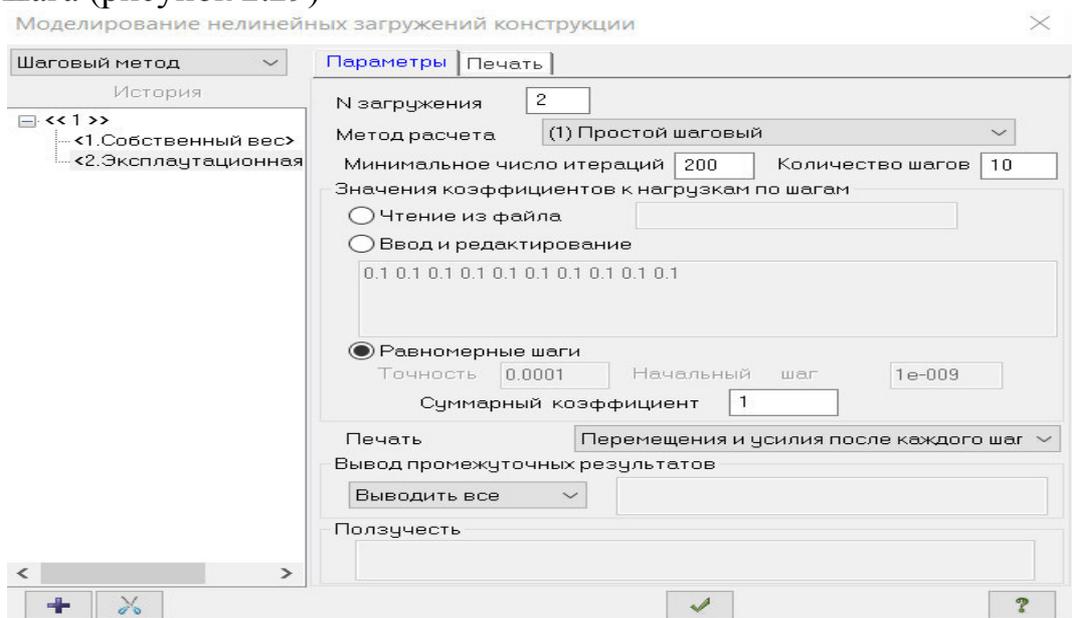


Рисунок 2.29 – Настройка параметров расчета

После проделанных операций сравним результаты линейного и нелинейного расчета (рисунки 2.30...2,35)

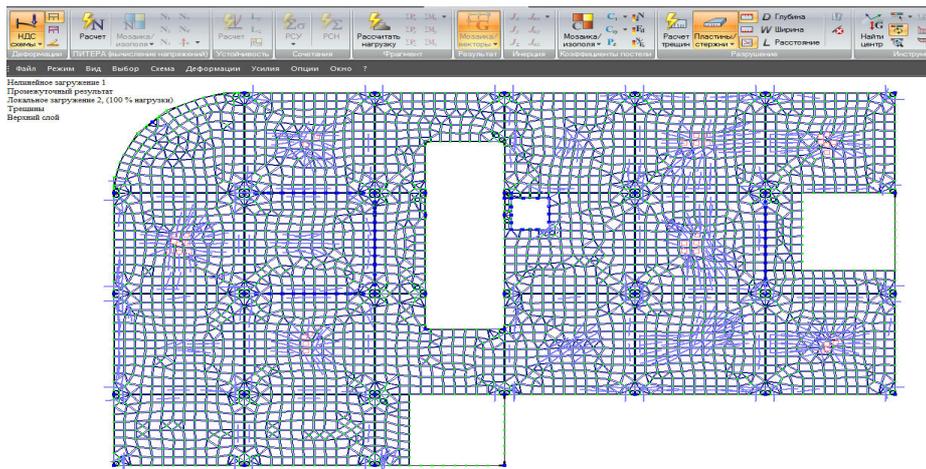
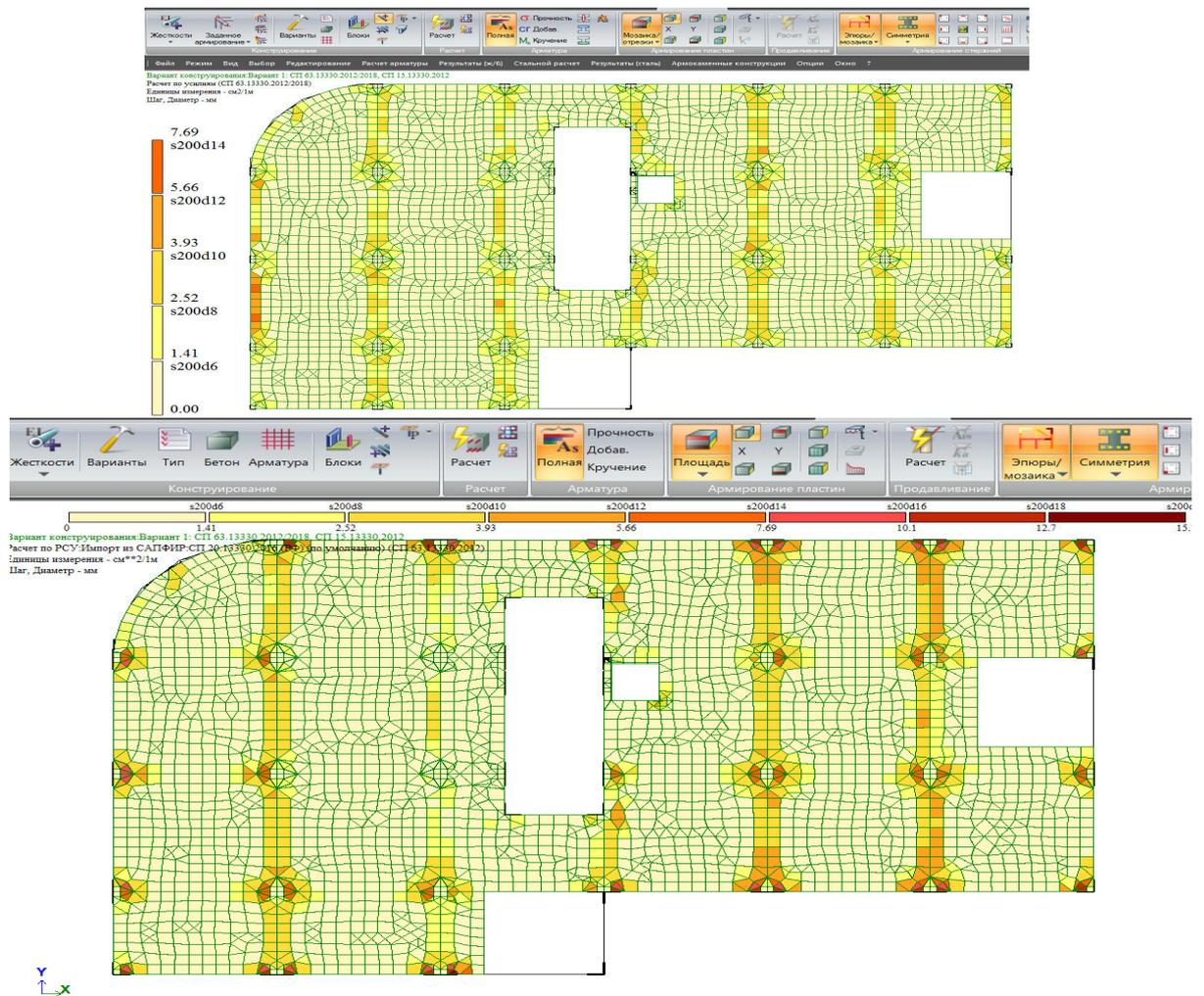
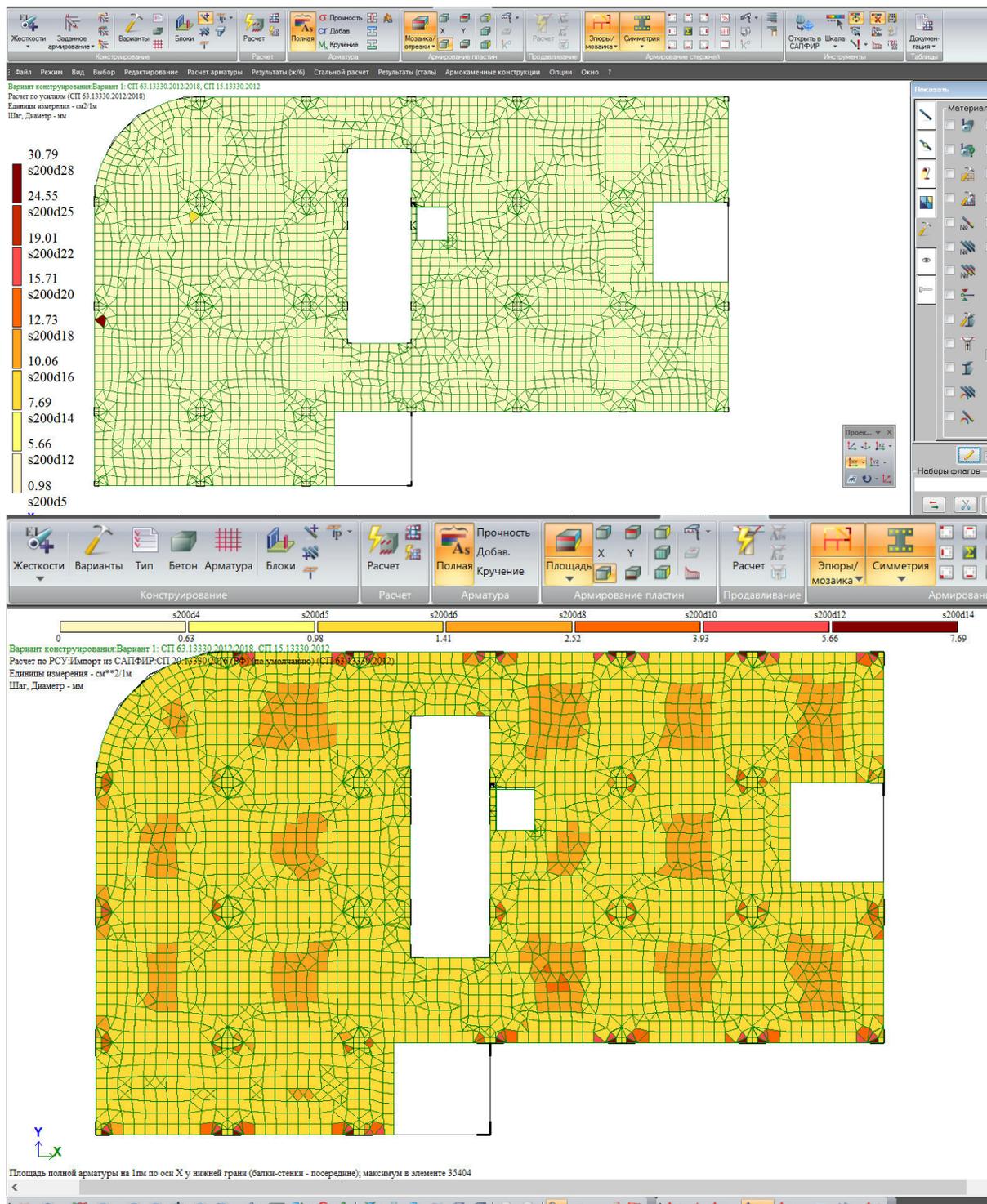


Рисунок 2.30 – Схема образования трещин



а – нелинейный расчет;
б – линейный расчет

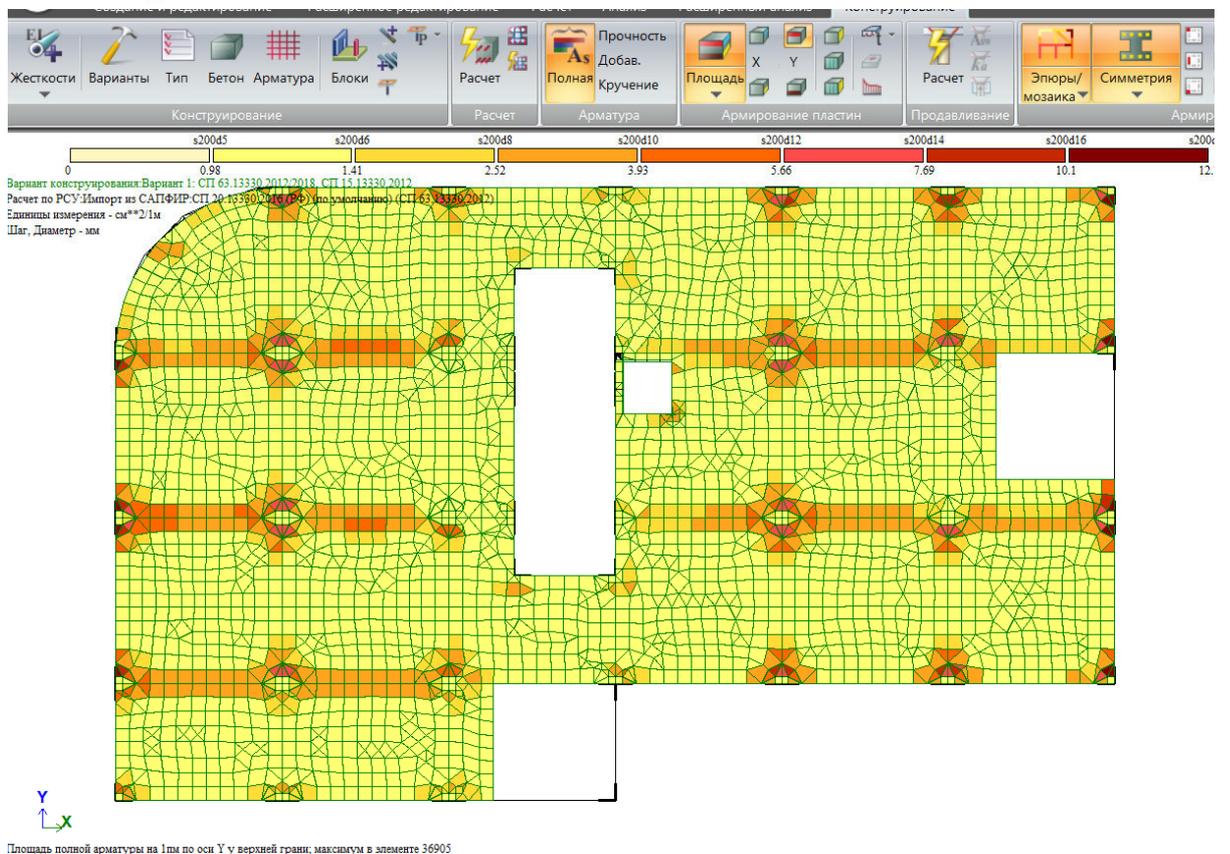
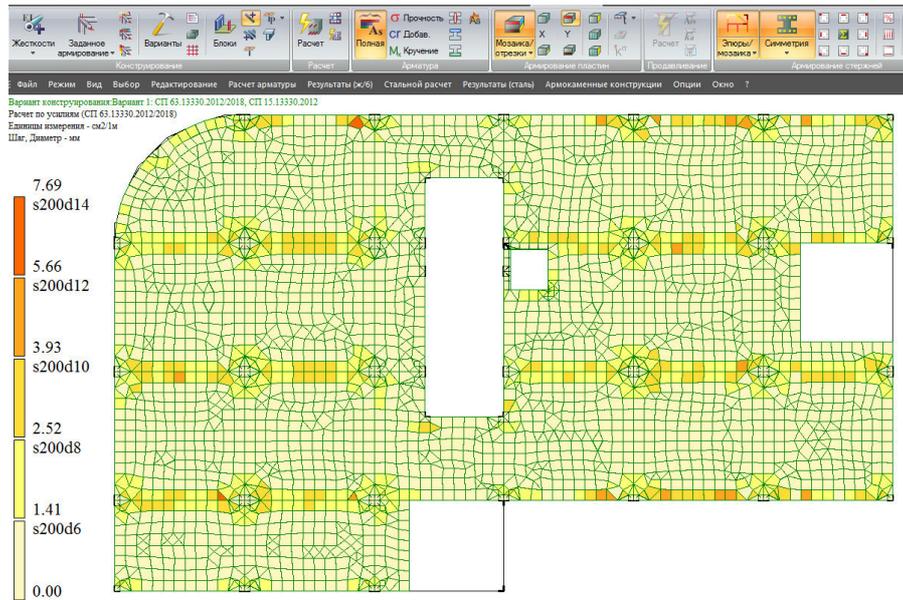
Рисунок 2.31 – Верхнее армирование по оси OX



а – нелинейный расчет;

б – линейный расчет

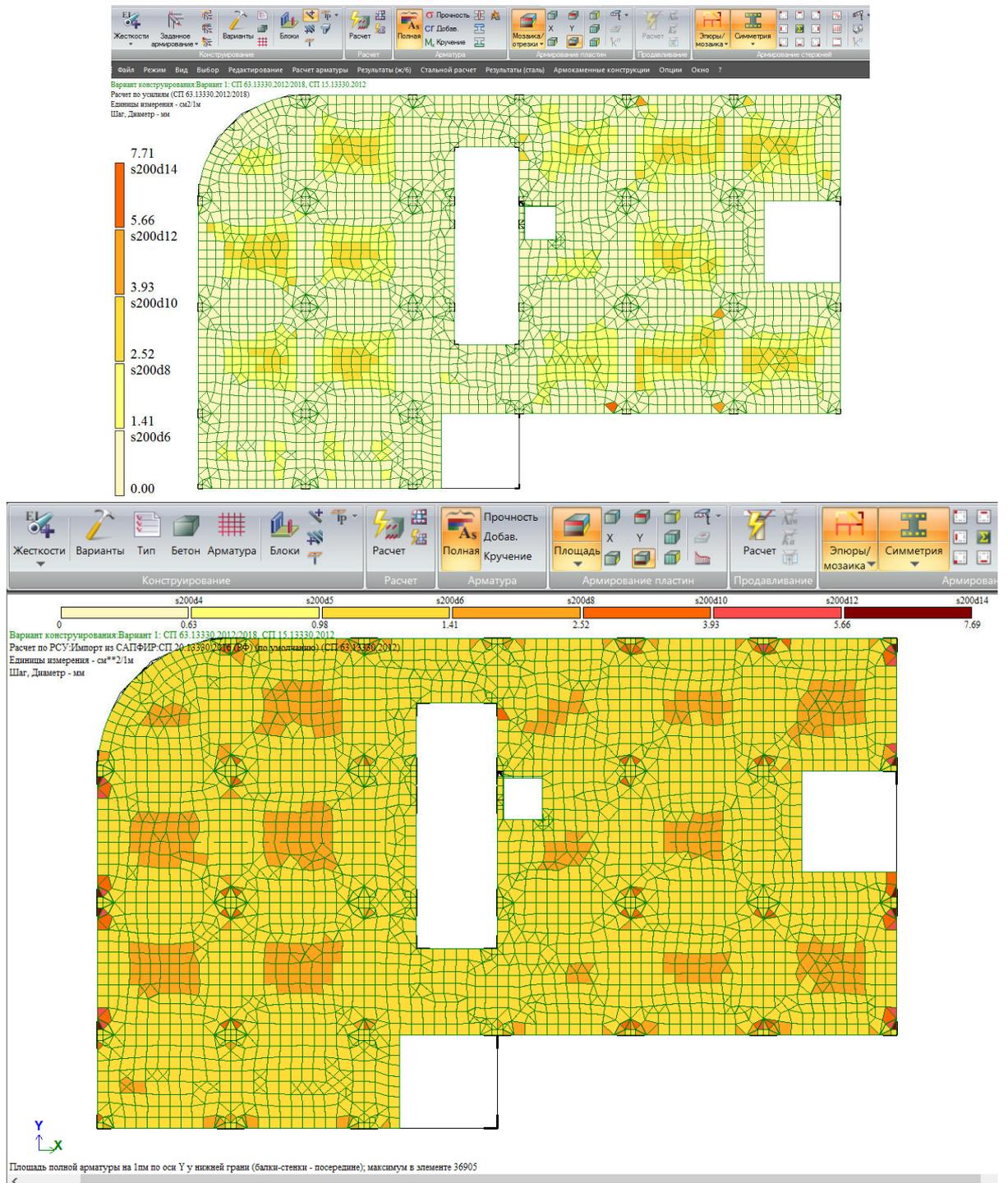
Рисунок 2.32 – Нижнее армирование по оси OX



а – нелинейный расчет;

б – линейный расчет

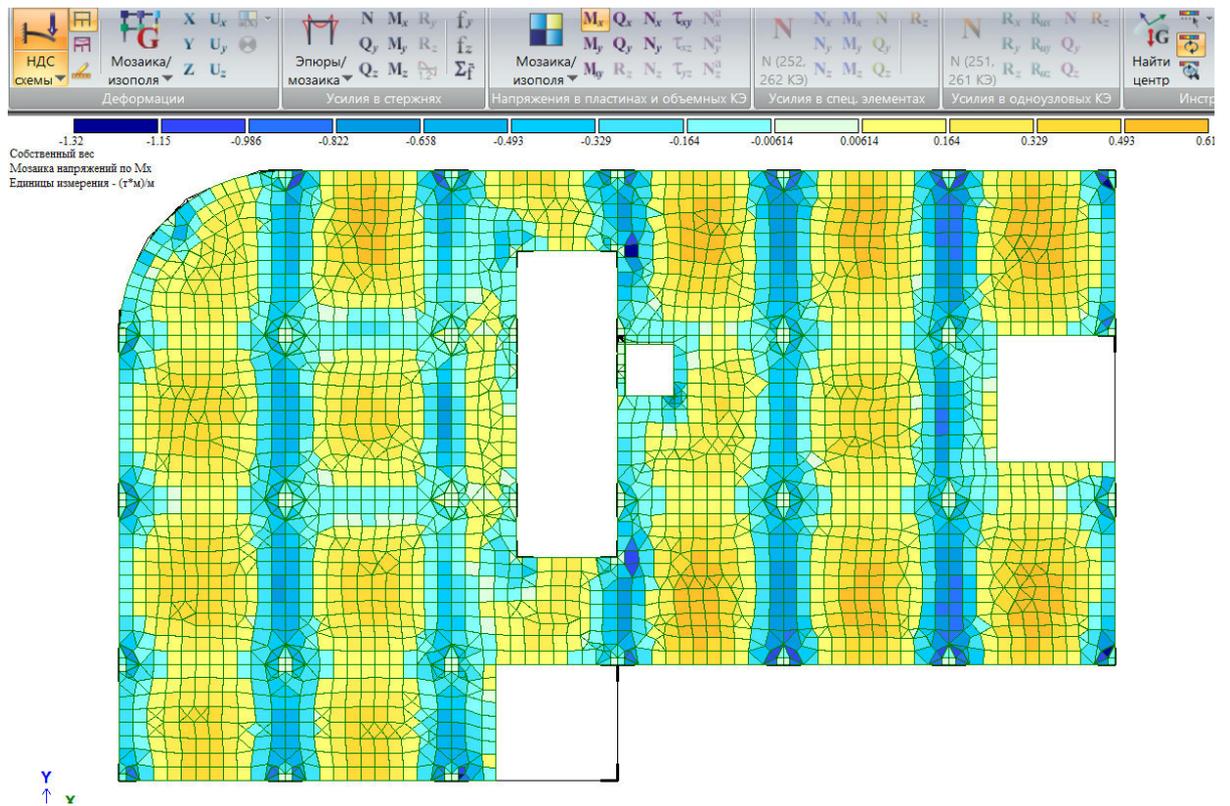
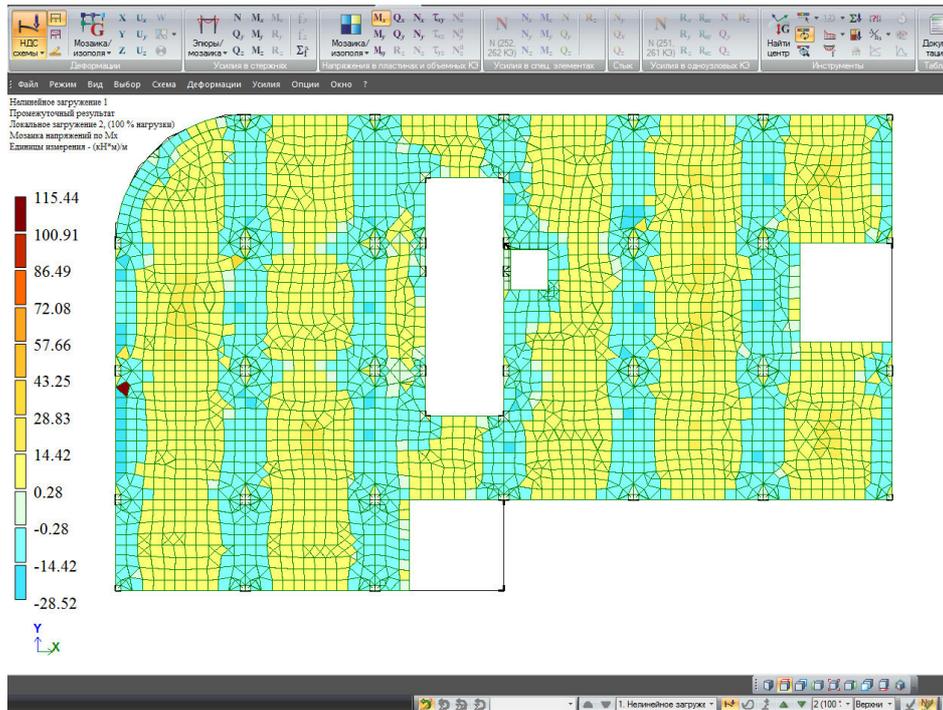
Рисунок 2.33 – Верхнее армирование по оси OY



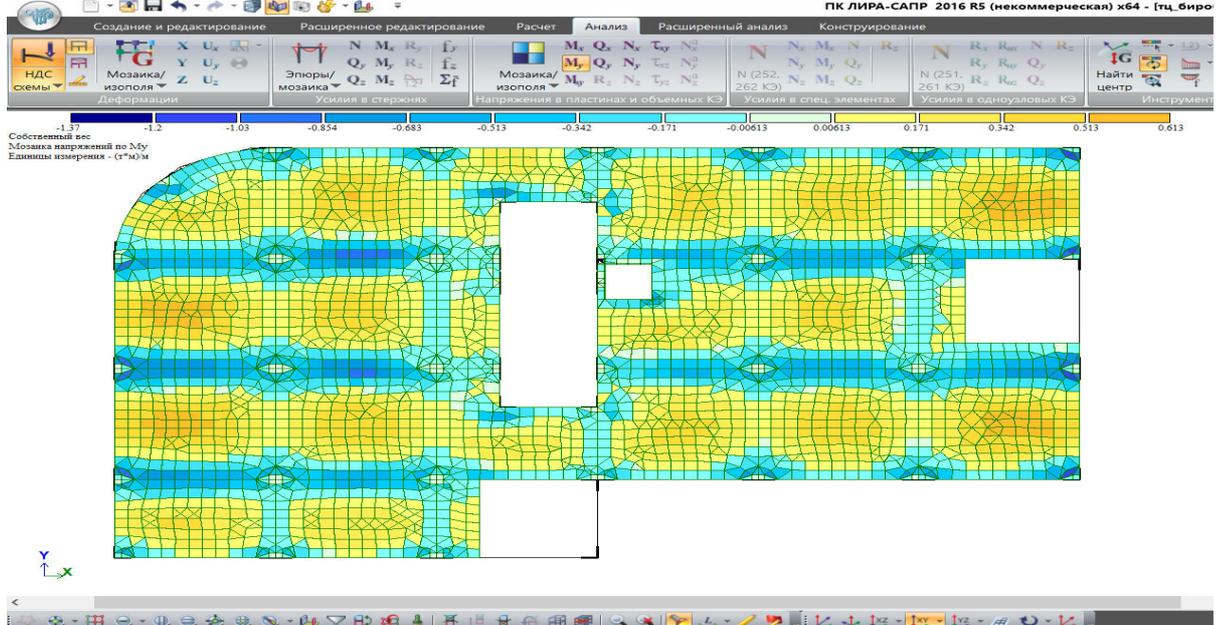
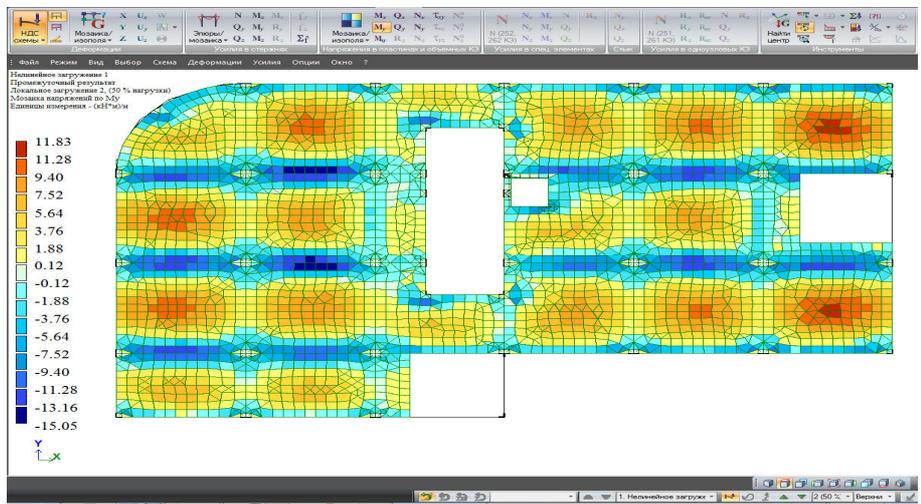
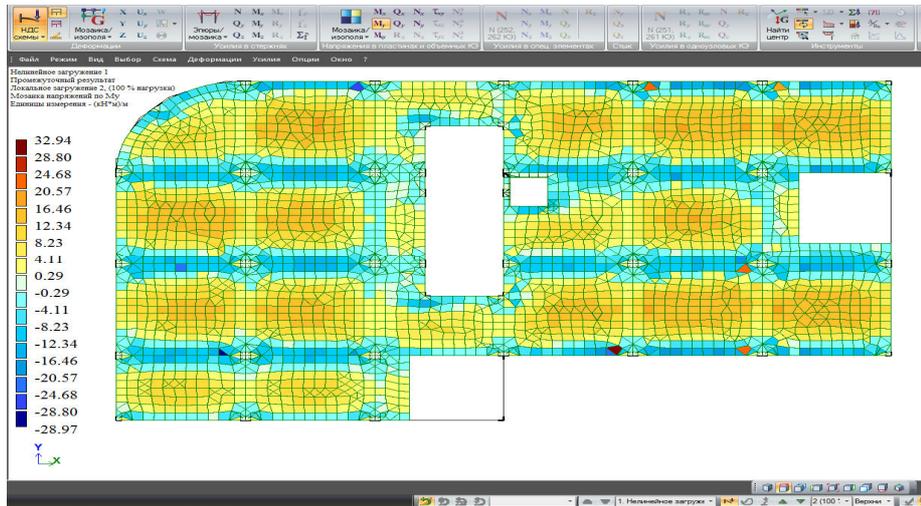
а – нелинейный расчет;

б – линейный расчет

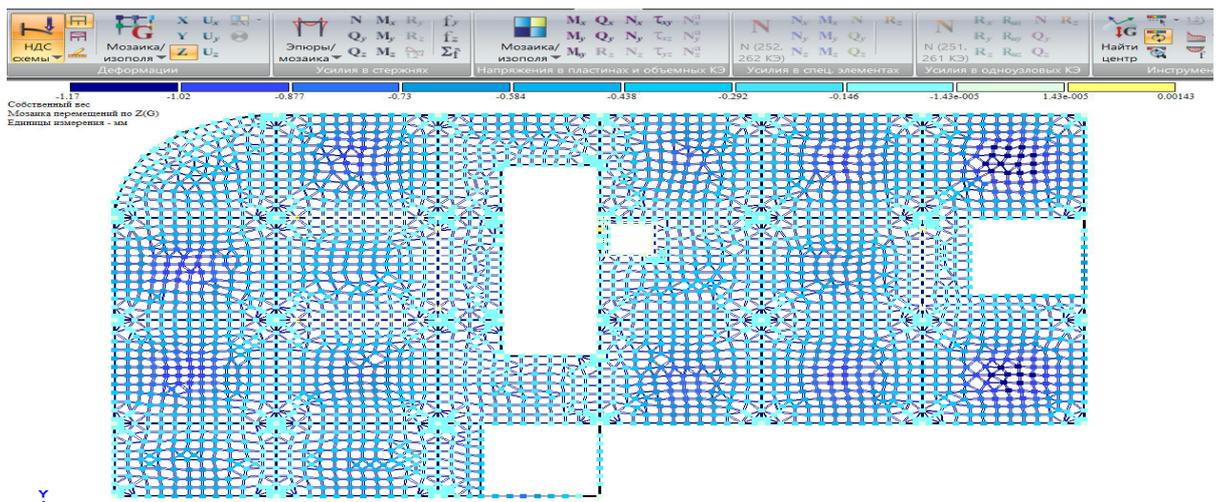
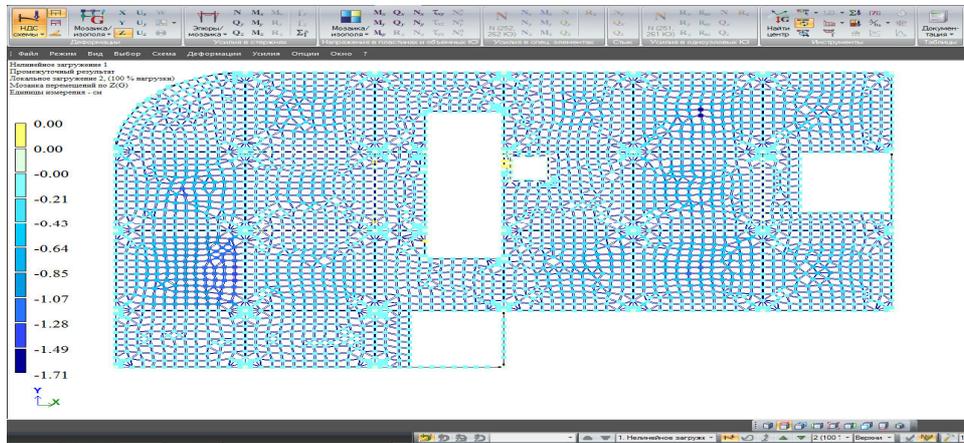
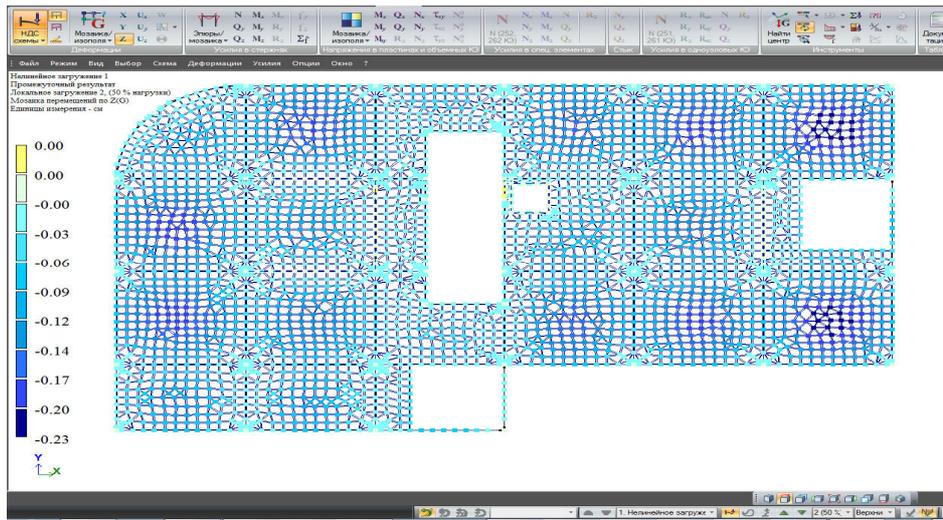
Рисунок 2.34 – Нижнее армирование по оси OY



а – нелинейный расчет;
 б – линейный расчет
 Рисунок 2.35 – Напряжения в пластине M_x



а – нелинейный расчет 5 шаг;
б - нелинейный расчет 10 шаг;
в – линейный расчет
Рисунок 2.36 – Напряжения в пластине M_y



а – нелинейный расчет 5 шаг;

б - нелинейный расчет 10 шаг;

в – линейный расчет

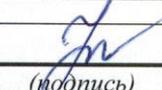
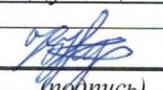
Рисунок 2.37 – Деформации в плите перекрытия

Выводы

Проведенные статические и конструктивные расчеты несущих железобетонных конструкций в линейной и нелинейной постановке показали значительное изменение параметров напряженно-деформированного состояния элементов в зависимости от выбранной математической модели. Учет физической нелинейности приводит к перераспределению изгибающих элементов – опорные моменты уменьшаются, и происходит небольшое увеличение опорных моментов. Это приводит к тому, что армирование подобранное с учетом физической нелинейности железобетона оказывается более экономичным, чем при линейном расчете.

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Комсомольский-на-Амуре государственный университет»

	<u>СОГЛАСОВАНО</u>
<u>Декан ФАМТ</u>	<u>Заведующий кафедрой</u>
 О.А.Красильникова (подпись)	 В.В.Куриный (подпись)
« 14 » 06 2022 г.	« 14 » 06 2022 г.

АКТ о приемке проекта «Разработка проекта многоэтажного монолитного здания с учетом поэтапного возведения этажей.

« 14 » 06 2022 г.

Комиссия в составе представителей:

заказчика

- Ю.Н. Чудинов – руководитель СПБ
- В.В. Куриный – Заведующий кафедрой САПР,
- О.А.Красильникова – декан ФАМТ

исполнителя

- К.О. Шейкина – студент группы ИПСМ-1,

составила акт о нижеследующем:

К.О. Шейкина передает результаты проекта «Разработка проекта многоэтажного монолитного здания с учетом поэтапного возведения этажей».

Результаты проекта «Разработка проекта многоэтажного монолитного здания с учетом поэтапного возведения этажей» будут использованы в разработке выпускной квалификационной работы.

Руководитель СКБ / проекта

Ответственный исполнитель

 / Ю.Н. Чудинов/

 / К.О. Шейкина /

Таблица учета проектной работы в учебных дисциплинах

Дисциплина	Форма учтенной работы (номер ЛР, КП, КР, РГР, зачет, зачет с оценкой, экзамен)	Преподаватель (дата, ФИО, подпись)	Примечание (ЗУН полученные при выполнении проекта)
<i>Железобетонные и каменные конструкции</i>	<i>РГР</i>		<p>Знает: руководящие документы по разработке и оформлению технической документации в сфере градостроительной деятельности; требования основных нормативно-технических документов по расчету и проектированию элементов железобетонных конструкций; основные положения расчетов зданий и сооружений, в том числе и на особые нагрузки;</p> <p>Умеет: моделировать расчетные схемы, действующие нагрузки, свойства элементов проектируемого объекта и его взаимодействие с окружающей средой; выполнять расчет и конструирование зданий и сооружений с использованием лицензионных средств автоматизированного проектирования.</p> <p>Владеет: навыками расчетов зданий и сооружений с использованием лицензионных средств автоматизированного проектирования - навыками разработки эскизных и технических проектов в сфере инженерно-технического проектирования для градостроительной деятельности</p>