

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Южно-Уральский государственный университет»  
(национальный исследовательский университет)

Архитектурно-строительный институт  
Кафедра «Строительное производство и теория сооружений»

РАБОТА (ПРОЕКТ) ПРОВЕРЕНА	ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ
Рецензент	заведующий кафедрой
_____ / Ивашенко Ю.А. /	_____ / Г.А.Пикус /
«   »                      2017г.	«   »                      2017г.

**Сравнение различных видов расчета монолитной железобетонной плиты перекрытия в многоэтажном монолитно-каркасном жилом доме с применением различных расчетных программных комплексов**

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА  
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ  
ЮУрГУ–08.04.01.2017.000.ПЗ ВКР

Руководитель проекта			
_____ /	Артемяева Л.М.	/	
«   »	2017г.		
Автор проекта			
студент группы <b>АСИ-256</b>	/	<b>Федяев А.А.</b>	/
«   »		2017г.	
Антиплагиат			
_____ /	Артемяева Л.М.	/	
«   »	2017г.		
Нормоконтролер			
_____ /	Артемяева Л.М.	/	
«   »	2017г.		

Челябинск 2017

## АННОТАЦИЯ

Федяев А. А. «Сравнение различных видов расчета монолитной железобетонной плиты перекрытия в многоэтажном монолитно-каркасном жилом доме с применением различных расчетных программных комплексов.»

– Челябинск: ЮУрГУ, АС; 2017, 61с., 53ил.,  
библиогр. список – 13 наим.

В работе был произведен расчет монолитной железобетонной плиты перекрытия с применением различных программных комплексов. Так же был выполнен расчет плиты перекрытия с учетом нелинейной работы материала. Рассмотрено сравнение 2 вариантов конструирования плиты и проведено экономическое сравнение, на основании которого сделаны выводы о целесообразности каждого из способов расчета.

					<i>АС-256.08.04.01.2017.ВКР</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>				
<i>Зав. каф.</i>		<i>Пикус Г.А.</i>			<i>Сравнение различных видов расчета монолитной жб плиты перекрытия в многоэтажном монолитно-каркасном жилом доме с применением различных расчетных программных комплексов</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Руководит.</i>		<i>Артемьева Л.М.</i>					4	60
<i>Н. контр.</i>		<i>Артемьева Л.М.</i>				ЮУрГУ		
<i>Разработал</i>		<i>Федяев А.А.</i>						

Введение

Глава 1. Создание BIM-модели объекта.

1.1. BIM-модель. Понятие о BIM- моделировании.

1.2. Создание аналитической модели здания в ПК «Revit».

1.3. Создание архитектурной модели в ПК «Revit».

Выводы по главе 1.

Глава 2. Линейно-упругий расчет плиты перекрытия.

2.1. Сбор нагрузок, создание расчетной модели, на основании которой проведен линейно-упругий расчет в ПК «Ли́ра-САПР».

2.2. Линейно-упругий расчет плиты перекрытия в ПК «Robot structure».

2.3. Создание варианта конструирования плиты при линейно-упругом расчете.

Выводы по главе 2.

Глава 3. Учет нелинейной работы материала при расчете плиты перекрытия.

Сравнение полученных результатов.

3.1. Учет нелинейной работы материала в ПК «Ли́ра-САПР».

3.2. Сравнение результатов линейного и нелинейного расчета.

Выводы по главе 3.

Заключение.

Библиографический список.

					<i>АСИ256.08.04.01.2017.ВКР</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		5

## Введение

В наше время активно развиваются компьютерные технологии. В связи с этим процесс BIM-моделирования выходит постепенно на первый план и заменяет стандартное 2D проектирование.

На данный момент строительные компании при проектировании широко используют различные расчетные программные комплексы (например «Лира-САПР», «Scad» и т.д.), но вынуждены разрабатывать чертежи с применением CAD технологий.

- 1) В данной работе создается алгоритм создания и конвертации BIM-модели здания в различные расчетные программные комплексы
- 2) Предлагается альтернативный вариант расчета конструкций, на примере плиты перекрытия, с учетом нелинейной работы материала и сравнение достоинств и недостатков каждого из видов расчета.

Объект исследования: плита перекрытия 16-ти этажного монолитно-каркасного жилого дома.

Железобетонные плиты получили огромную популярность практически сразу после выхода на рынок. В отличие от архаичных деревянных перекрытий они во много раз надёжнее и обладают такими преимуществами, как:

- огнеупорность,
- влагостойкость,
- долгий срок эксплуатации.

Железобетонные плиты не гниют и могут сохранять все свои свойства при высоких температурах и влажности. Это идеальный материал для строительства промышленных и жилищно-коммунальных объектов.

					<i>АСИ256.08.04.01.2017.ВКР</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		6

Существует много признаков, по которым проводится классификация перекрытия. В основу могут быть положены, например, тип опоры на конструкцию несущего характера, толщина или наличие либо расположение пустот.

Но самой основной считается классификация, подразделяющая плиты перекрытия на следующие виды. Это:

- пустотные. Подходит такой вид для строительства сооружений из бетона, стеновых блоков либо кирпича. За счет наличия пустот у них повышается степень звукоизоляции и теплоизоляции в сравнении с другими видами плит;

- ребристые. Их использование целесообразно для устройства крыш в различных видах зданиях промышленного назначения, например, помещениях складов, ангаров либо производственных гаражей. Чаще всего такие помещения являются неотапливаемыми и обладают очень большой площадью;

- монолитные. Самый прочный из всех видов, так как конструкция подразумевает изготовление железобетонной конструкции сплошного армированного типа. Самым востребованным направлением их использования является многоэтажное строительство, при котором подразумевается повышенная силовая нагрузка;

- облегченные. Такой вид отличается своим небольшим весом. Структура облегченной плиты – многопустотная. Целесообразным направлением использования таких изделий будет строительство зданий, обладающих недостаточно прочным фундаментом. При использовании облегченного вида не будет дополнительной нагрузки на фундамент;

- каналные полнотелые. Их использование рекомендуется при выполнении строительства коммуникационного типа систем в целях перекрытия сборных каналов. Тип и необходимый размер выбираются в

					<i>АСИ256.08.04.01.2017.ВКР</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		7

соответствии с конструкцией канала (наземной либо подземной) и его сечением;

- сплошные доборные. Существует несколько модификаций такого вида. Их использование целесообразно в строительстве объектов разного назначения в качестве несущей части перекрытия. Такой тип способен выдерживать серьезные нагрузки, именно в связи с этим фактом для его изготовления применяется бетон с качеством высокой прочности. [4]

Панели перекрытий в несущей системе многоэтажного здания рассчитываются, в первую очередь, на действие вертикальных нагрузок (собственный вес панелей, вес пола, временная нагрузка и т. д.), которые в большинстве случаев могут рассматриваться как равномерно распределенные по площади или приводиться к таковым. На первом уровне панель перекрытия рассматривается отдельно, вне связи ее с другими элементами

несущей системы; панель рассчитывается на действие нагрузок, приложенных непосредственно к ней. Для этого уровня работы панелей в рабочих чертежах на них указываются требования по прочности, трещиностойкости и жесткости, которые обеспечиваются средствами неразрушающего контроля или проверяются силовыми загрузками отдельных панелей.

При расчете различают перекрытия, работающие на изгиб из плоскости в одном и двух направлениях (рис. 6.10).

При действии на плиту равномерно распределенной нагрузки по всей площади основное уравнение метода предельного равновесия. Для расчета прочности имеет вид

$$qV = \sum m_i t_i \theta_i, \quad (6.9)$$

где  $q$  — интенсивность равномерно распределенной нагрузки, кН/м<sup>2</sup>;  $V$  — объем фигуры, получившейся в результате излома плиты на отдельные жесткие звенья;  $t_i$  — погонный изгибающий момент по  $i$ -й линии пластического

					<i>АСИ256.08.04.01.2017.ВКР</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		8

деформирования (пластического шарнира);  $l_i$  — длина  $i$ -го линейного пластического шарнира;  $\theta_i$  — угол поворота соответствующего звена в «-том линейном пластическом шарнире. [3]

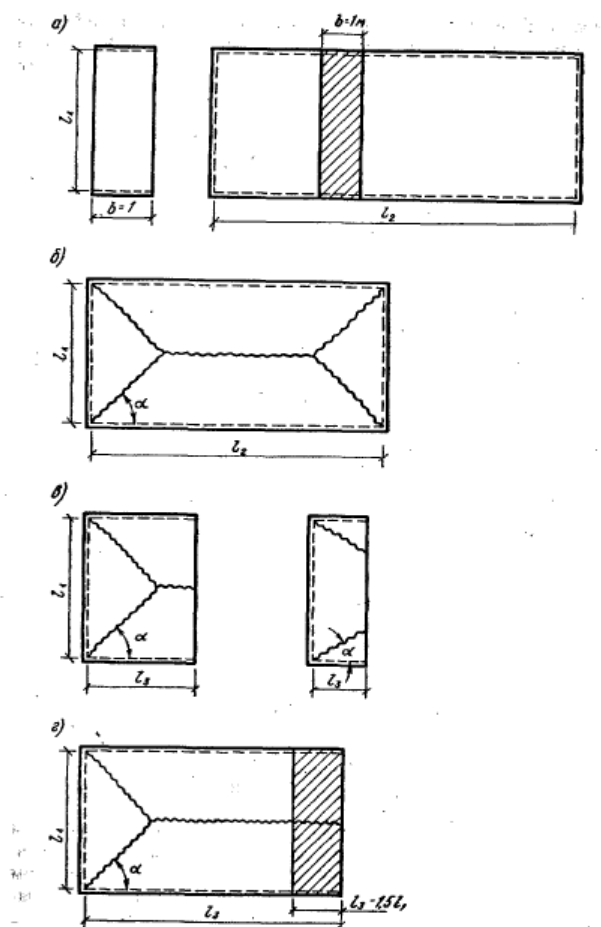


Рис. 6.10. Классификация перекрытий по характеру работы при вертикальной нагрузке  
 а — балочные; б — опертые по всему контуру; в, г — опертые по трем сторонам

В наше время все большую популярность приобретают монолитно-каркасные дома. В результате чего, монолитные перекрытия выходят на лидирующие роли.

Расчет таких плит перекрытий осуществляется в специальных расчетных программных комплексах.

Безбалочные плиты перекрытия.

Как уже указывалось, плиты перекрытий высотных зданий имеют ряд особенностей, которые значительно отличают их от ранее применявшихся

сборных плит перекрытий на прямоугольных планах. К основным особенностям можно отнести: сложную конфигурацию в плане; нерегулярно расположенные опоры различного сечения - диафрагма, пилоны, крестовые, уголковые, тавровые колонны; нерегулярно расположенные отверстия; нерегулярные включения балочных ростверков; переменная толщина плиты, вызванная необходимостью усиления опорных зон плиты в районе колонн. Важным фактором являются возможные неравномерные осадки опор плиты, особенно для верхних этажей, обусловленные не так нагрузкой собственно на плиту рассматриваемого перекрытия, как неравномерными укорочениями вертикальных элементов в общей схеме здания.

На рис. 4.44 а показаны изополя прогибов плиты верхнего этажа полученной на основании расчета плиты в составе общей схемы здания, а на рис. 4.44 б - расчет той же плиты из условия, что опоры плиты не имеют вертикальных перемещений. В действительности такие разительные отличия результатов несколько сглаживаются, так как в результате возведения здания неравномерная осадка опор уже происходит от собственного веса (это 50-70% всей нагрузки) и к моменту замоноличивания верхних этажей эта осадка в значительной степени утке «выбрана».

Наличие многочисленных нерегулярных отверстий как правило не вызывает труднопреодолимых ситуаций для армирования плиты. По сути отверстия изменяют расчетную схему плиты, а плита максимально успешно использует все резервы несущей способности. На рис. 4.45 показаны изополя изгибающих моментов для сплошной плиты и плиты с отверстиями. Для чистоты эксперимента по контуру отверстия приложена полосовая равномерно распределенная нагрузка, компенсирующая изъятую нагрузку' по площади плиты. Сравнивая НДС обеих плит можно констатировать, что отверстия, как и ожидалось, делают плиту' несколько более податливой.

					<i>АСИ256.08.04.01.2017.ВКР</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		10



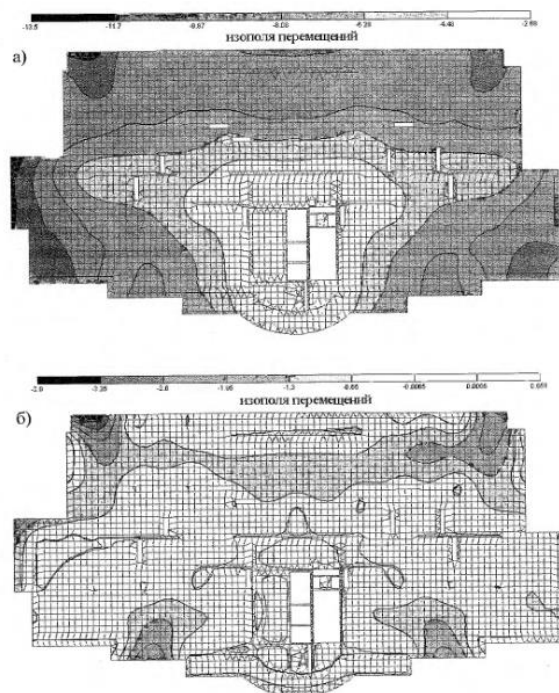


Рис. 4.44

Что же касается пролетных изгибающих моментов, то во второй схеме они значительно меньше (это может вызвать недоумение некоторых специалистов, хотя при осмыслении они убедятся в очевидное !и этой ситуации). Это явление объясняется следующим образом: произошло изменение схемы плиты - в случае с отверстиями работа плиты приблизилась к консольной схеме, об этом свидетельствует увеличение опорных моментов над колоннами в районе отверстия.

На основании такого маленького исследования можно сделать вывод: отверстия делают плиту более податливой; опорные моменты в районе отверстий несколько увеличиваются; в районе отверстий пролетные моменты уменьшаются и в этом случае арматура, окаймляющая отверстия должна носить только конструктивный характер и не обязательно компенсировать арматуру, изъятую в области отверстия.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

АСИ256.08.04.01.2017.ВКР

Лист

11

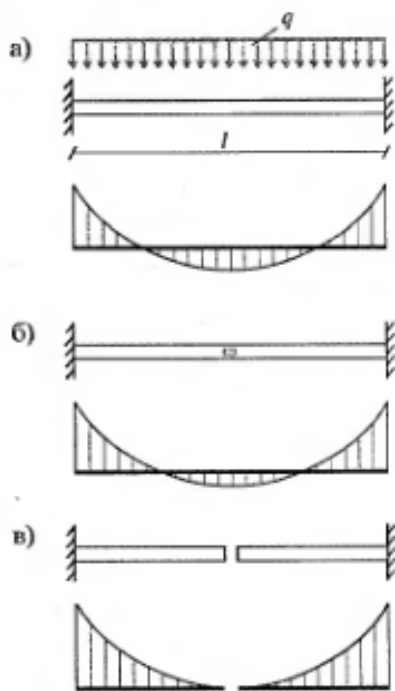


Рис. 4.46

Эта ситуация предельно проясняется на небольшом примере. На рис. 4.46 приведена заземленная балка под равномерно распределенную нагрузку.

На рис. 4.46 а дана эпюра моментов при постоянном сечении балки. В этом случае  $M_{np} = \frac{ql^2}{24}$ ,  $M_{оп} = \frac{ql^2}{12}$ . На

рис. 4.46 б дана эпюра моментов, когда среднее сечение балки ослаблено отверстием. В этом случае  $M_{np} < \frac{ql^2}{24}$ ,

$M_{оп} > \frac{ql^2}{12}$ . На рис. 4.46 в дан предельный случай, когда балка разделена в середине пролета. В этом предельном случае пролетный момент вообще равен нулю, зато опорные моменты увеличились в 1,5 раза.

Еще один вывод: плита с большим количеством опор различного типа имеет большое количество вариантов «приспособления» к нагрузкам и всегда выбирает наилучший.

Наиболее напряженными местами безбалочных перекрытий являются надпорные зоны колонн и пилонов. Здесь происходит концентрация, как изгибающих моментов, так и перерезывающих сил. Поэтому очень важно правильно оценить напряженно-деформированное состояние этой зоны с тем, чтобы с одной стороны обеспечить необходимую прочность, с другой стороны не допустить излишних запасов, так как неоправданное переармирование этой зоны приведет к трудностям се бетонирования, плохим сцеплением арматуры с бетоном, а, следовательно, к ослаблению этой зоны.

Изгибающие моменты и поперечные силы определять по грани опор. Для этого можно прибегнуть к достаточно густой конечно-элементной сетке, так чтобы размеры конечных элементов были соизмеримы с размерами сечения колонн. В этом случае сечения колонн можно «вписать» в конечно-элементную сетку используя абсолютно-жесткое тело, конфигурация которого соответствует

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

сечению колонны. Существует мнение, что если размеры конечного элемента тонкой плиты соизмеримы с ее толщиной, то необходимо использовать конечные элементы толстой плиты. Это мнение неправильно, так как различные физические соотношения для толстой и тонкой плиты определяются в зависимости от соотношений толщины плиты к пролету, а конечно-элементная сетка здесь не играет никакой роли.

Часто, особенно при автоматической триангуляции, в опорных зонах образуются вырожденные конечные элементы (треугольные и четырехугольные элементы с большим разбросом размеров сторон). Определенные в них моменты и перерезывающие силы могут иметь значительные выбросы, которые, как правило, не могут быть ориентиром для определения напряженно-деформированного состояния. Особенно это касается перерезывающих сил, точность определения которых в методе конечных элементов в перемещениях значительно ниже точности определения изгибающих моментов. В особо ответственных случаях следует прибегнуть к приемам фрагментации и исследовать напряженно-деформированное состояние узла на основе трехмерной модели. В (4.25) эти вопросы рассмотрены более подробно и, кроме рекомендаций по составлению компьютерных моделей, приводятся некоторые рекомендации по конструированию.»[2]

Изучив литературу по расчету плит перекрытий можно сделать вывод, что в приведённых источниках выполняется линейно-упругий расчет разных видов плит перекрытия. Данный метод расчета не лишен недостатков:

- никак не учитываются прогибы в плите от количества арматуры заложенной нами.
- в основе данного метода заложена диаграмма линейного деформирования бетона

Что является упрощением и не отображает реальных свойств материала, следовательно, необходимо полностью учитывать свойства материалов, что

					<i>АСИ256.08.04.01.2017.ВКР</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		13

позволяет нам сделать новый СП 63.13330.2012. Данный метод расчета принципиально отличается от предыдущего, тем, что мы сначала задаемся арматурой, а затем оценивая прогибы, мы можем скорректировать армирование в наиболее ослабленных местах.

Исходя из этого можно сформулировать следующие цели:

Цели проводимого исследования:

1. Выполнить линейно-упругий расчет плиты перекрытия в «Лира-САПР» и «Robot structure».
2. Выполнить расчет плиты перекрытия с учетом нелинейной работы материала в «Лира-САПР»
3. Сделать выводы по проделанной работе. Оценка недостатков и преимуществ каждого из видов расчета.

Исходя из целей можно сформулировать задачи:

1. Создание BIM-модели в «Revit». Конвертация 3D модели в различные программные комплексы.
2. Линейно-упругий расчет плиты перекрытия в «Лира-САПР».
3. Линейно-упругий расчет плиты перекрытия в «Robot structure».
4. Сравнение результатов линейно-упругого расчета. Создание единого варианта конструирования плиты.
5. Расчет плиты перекрытия с учетом нелинейной работы материала в «Лира-САПР». Создание варианта конструирования плиты.
6. Сравнение двух вариантов плит. Расчет стоимости двух плит.
7. Оценка недостатков и преимуществ каждого из видов расчета.

					<i>АСИ256.08.04.01.2017.ВКР</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		14

## Глава 1. Создание ВІМ-модели объекта

					<i>АСИ256.08.04.01.2017.ВКР</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		15

## 1.1. BIM-модель. Понятие о BIM- моделировании.

BIM (Building Information Modeling / Информационное моделирование здания) – это уникальный подход к проектированию, возведению, эксплуатации и ремонту здания. Информационное моделирование управляет жизненным циклом объекта на всех этапах его существования: от концептуальной модели до демонтажа и оценки объемов строительного мусора.

Основным отличием BIM от прочих видов проектирования является сбор и комплексная обработка всей архитектурно-конструкторской, технологической, экономической, эксплуатационной и прочей информации о здании в единой информационной среде (BIM-модели). При этом все элементы модели являются взаимосвязанными и взаимозависимыми, что, по сути, наделяет модель фактором реалистичности (приближенности к реальному зданию и реальной ситуации).

Технологии информационного моделирования обладают обилием качественных преимуществ. Так, казалось бы, неощутимое изменение пространственного мышления проектировщика в конечном итоге существенно снижает риски возникновения ошибок, физических и интеллектуальных коллизий. Проектировщик имеет возможность и прямую необходимость мыслить о здании, как о целостном трехмерном объекте (существующем также во времени), а не как о наборе чертежей для прохождения экспертизы.

Технологии информационного моделирования обладают обилием качественных преимуществ. Так, казалось бы, неощутимое изменение пространственного мышления проектировщика в конечном итоге существенно снижает риски возникновения ошибок, физических и интеллектуальных коллизий. Проектировщик имеет возможность и прямую необходимость мыслить о здании, как о целостном трехмерном объекте (существующем также во времени), а не как о наборе чертежей для прохождения экспертизы.

					<i>АСИ256.08.04.01.2017.ВКР</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		16



Рис. 1.1.1 Статистические данные  
Для BIM характерны такие понятия, как LOD и LOI.

**LOD (Level of Model Detail)** – уровень проработки (детализации) BIM-модели, графического контента.

**LOI (Level of Model Information)** – уровень проработки информации, неграфического (атрибутивного) контента.

На каждом из этапов разработки проекта LOD и LOI идут параллельно в сторону увеличения. Они относятся, как ко всей модели, так и к отдельным её элементам. Однозначный консенсус в этом вопросе еще не был достигнут, однако принято считать начальным уровнем детализации модели – LOD 100 (концептуальные решения), а завершающим – LOD 500 (эксплуатация и ремонт).

**LOD 100 (Концепт)** – модель представлена в виде объемных формообразующих элементов с приблизительными размерами, формой и ориентацией.

**LOD 200 (Предпроектные решения)** – модель представлена в виде объекта или сборки, как характерный представитель системы здания с приблизительными размерами, формой, пространственным положением, ориентацией и необходимой неграфической информацией.

**LOD 300 (Стадия П)** – модель представлена в виде объекта или сборки, принадлежащей конкретной системе здания с точными размерами, формой, пространственным положением, ориентацией, связями и необходимой неграфической информацией.

**LOD 400 (Стадия Р)** – модель представлена в виде конкретной сборки с детальными размерами, формой, пространственным положением, ориентацией, четкими связями, данными по изготовлению и монтажу, а также другой необходимой неграфической информацией.

**LOD 500 (Эксплуатация)** – модель представлена в виде конкретной сборки с фактическими размерами, формой, пространственным положением, ориентацией и неграфической информацией достаточной для передачи модели в эксплуатацию.

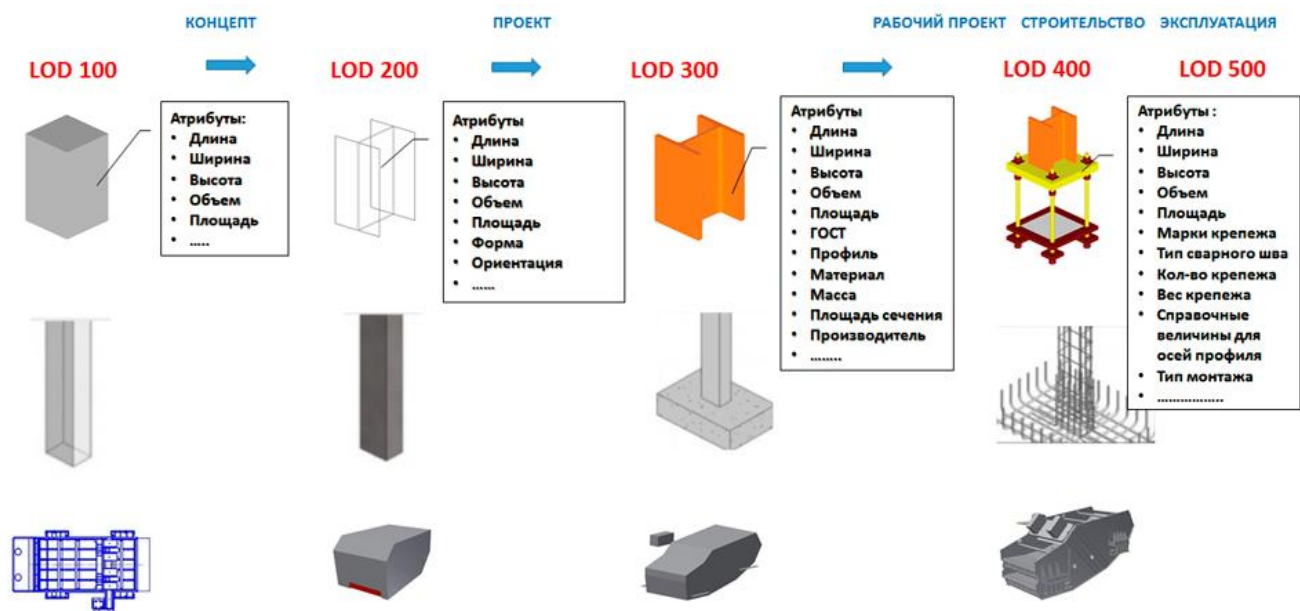


Рис. 1.1.2 Уровни детализации BIM модели



## 1.2. Создание аналитической модели здания в программном комплексе «Revit»

Создание BIM-модели можно разделить на два этапа:

1. Создание аналитической модели несущих элементов
2. Доработка созданной аналитической модели. Создание архитектурной модели.

Создание аналитической модели в ПК «Revit» необходимо для дальнейшего расчета в программном комплексе «Robot structure». На данном этапе создания 3D элементам задается параметр, позволяющий привязывать архитектурный элемент к расчетной схеме.

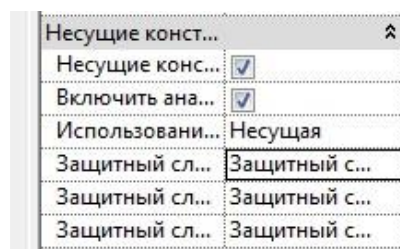


Рис. 1.2.1 Свойства объекта в Revit«

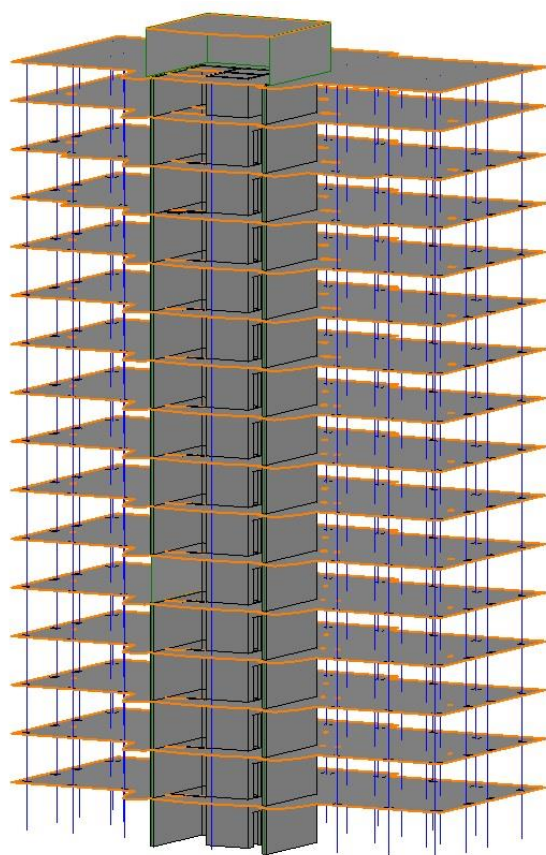


Рис. 1.2.2  
Аналитическая модель  
в «Revit»

### 1.3. Создание архитектурной модели здания в программном комплексе «Revit».

На основе созданной аналитической модели создается непосредственно архитектурная модель, после создания которой можно получить все необходимые АР чертежи.



Рис. 1.3.1. Архитектурная модель в ПК «Revit»

На основе созданной архитектурной модели можно получить любые чертежи и виды, что значительно ускоряет процесс проектирования..

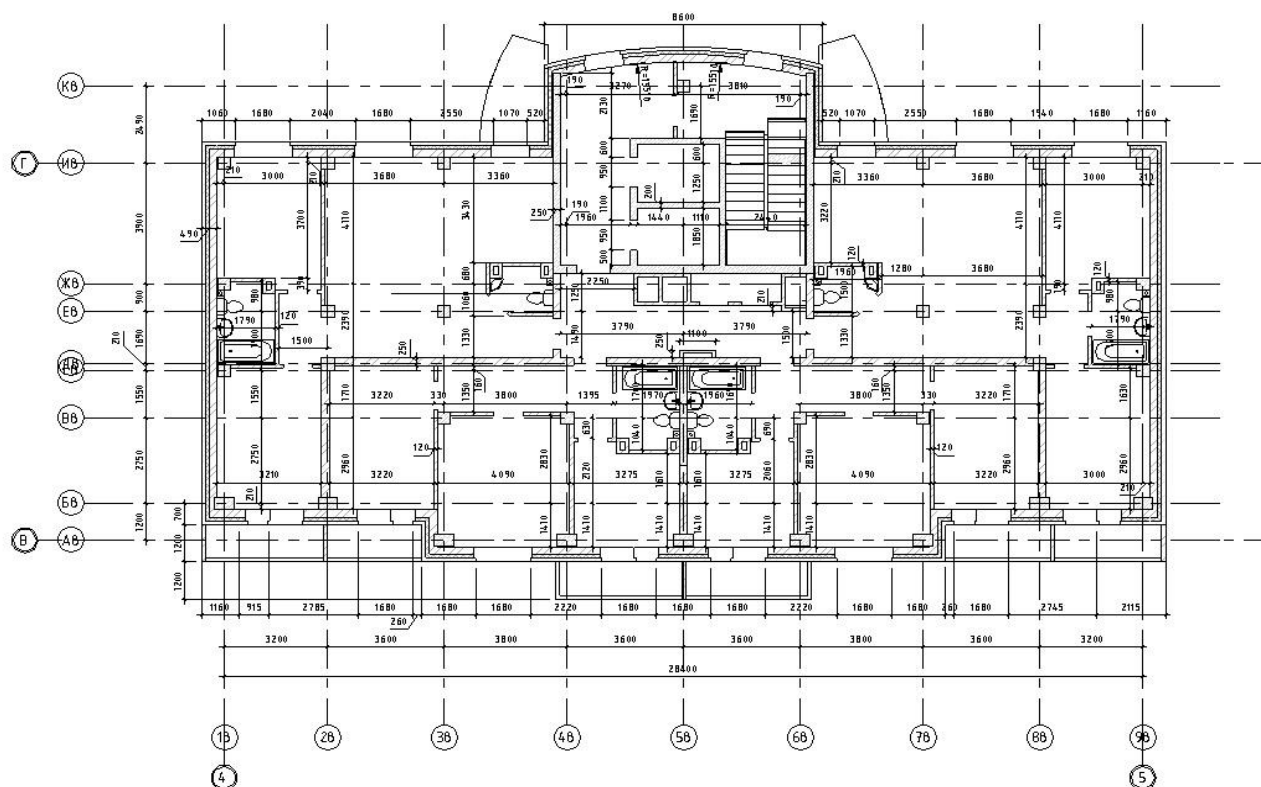


Рис.1.3.2

План типового этажа в «Revit»



Рис.1.3.3

Пример визуализации одной из квартир в «Revit»

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

АСИ256.08.04.01.2017.ВКР

Лист

21

## Выводы по главе 1

В наше время особое место занимают прогрессивные компьютерные технологии. BIM- моделирование – это будущее строительной отрасли. Данные технологии будут развиваться и набирать обороты. В 2015г. в России началась разработка единого реестра объектов для BIM моделирования. В данной главе описан процесс создания модели 16-ти этажного здания, а также рассмотрены как достоинства, так и недостатки этой технологии.

Преимущество BIM моделирования заключается

- С имеющейся информационной 3D модели здания мы можем получить любые необходимые чертежи, виды, разрезы и визуализации, что делает процесс проектирования более наглядным, информативным и более быстрым, чем использование 2D технологий.
- Все изменения, внесенные в 3D модель, мгновенно отображаются и синхронизируются между проектировщиками, что позволяет снизить количество ошибок при проектировании.
- Правильно построенная 3D модель позволяет использовать ее в различных расчетных программных комплексах.

Недостатки BIM моделирования:

- Отсутствие законодательной базы для применения технологий BIM.
  - Дороговизна лицензионного программного обеспечения.
- Необходимость мощных ПК и современных серверных помещений.
- Необходимость в квалифицированном персонале на всех стадиях строительства.

## Глава 2. Линейно-упругий расчет плиты перекрытия.

					<i>АСИ256.08.04.01.2017.ВКР</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		23

## **2.1. Сбор нагрузок, создание расчетной модели, на основании которой проведен линейно-упругий расчет в ПК «Лира-САПР»**

Разрабатывается проект многоэтажного жилого дома. Здание 16-ти этажное, находится на ул.Татищева в Центральном районе г.Челябинска, в плане имеет размеры 28,4x15,8 м (в осях). Сетка колонн нерегулярная, увязана с объемно-планировочным решением здания, максимальный шаг колонн 5,3x4м. В центральной части здания располагается ствол жесткости размерами 8x6м (в осях).

Для проектируемого дома в расчетной-конструктивной части производится расчет каркаса, производится подбор рабочего армирования плиты перекрытия, также выполняются конструктивные чертежи плиты перекрытия (опалубочные и арматурные).

Описание несущих конструкций каркаса:

- пилоны – монолитные железобетонные;
- колонны – монолитные железобетонные;
- стены ствола жесткости – монолитные железобетонные;
- плиты перекрытий – монолитные железобетонные;

Классификация района строительства:

- ветровой район – II.
- снеговой район – III.

### **Сбор нагрузок на здание.**

#### **Нагрузки на плиту покрытия.**

На плиту покрытия действуют нагрузки от:

- собственного веса
- веса конструкции кровли
- веса парапетной стены
- снега

					<i>АСИ256.08.04.01.2017.ВКР</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		24

**Собственный вес монолитной железобетонной плиты перекрытия.** ( $\delta=200\text{мм}$ ,  $\gamma=2.5\text{т/м}^3$ )  $P=0.5\text{ т/м}^2$ .

По СП.20.13330.2016 «Нагрузки и воздействия» коэффициент надежности по нагрузке  $\gamma_f=1.1$ , примем 1.2, чтобы учесть также вес вентиляционных шахт.

#### **Вес от конструкции кровли.**

- цементный раствор –  $\delta=50\text{ мм}$ ,  $\gamma_{\text{р-ра}}=1.8\text{ т/м}^3$
- утеплитель (пенополистирол  $\gamma=0.038\text{ т/м}^3$ )  $\delta=100\text{ мм}$ .
- цементный раствор для уклонообразования –  $\delta=50\text{ мм}$ ,  $\gamma_{\text{р-ра}}=1.8\text{ т/м}^3$
- пятислойный рубероидный ковер, уложенный на мастике ( $0.005\text{т/м}^2$ ).

Распределенная нагрузка на плиту покрытия:

$$P=0.05\text{ м}\cdot 1.8\text{ т/м}^3+0.038\text{ т/м}^3\cdot 0.1\text{ м}+0.05\text{ м}\cdot 1.8\text{ т/м}^3+0.005\text{ т/м}^2=0.188\text{т/м}^2.$$

По таблице 7.1. СП.20.13330.2016 «Нагрузки и воздействия» коэффициент надежности по нагрузке для покрытий, выполненных на стройплощадке  $\gamma_f=1.3$

#### **Вес парапетной стены.**

Состав парапетной стены:

- облицовочный кирпич,  $\delta=130\text{мм}$  вместе с раствором,  $\gamma_{\text{кирпича}}=1.4\text{т/м}^3$
- полнотельный кирпич,  $\delta=250\text{мм}$  вместе с раствором,  $\gamma_{\text{кирпича}}=2\text{ т/м}^3$

Линейно-распределенная нагрузка на плиту покрытия:

$$P=0.13\text{м}\cdot 1.4\text{ т/м}^3\cdot 1\text{м}+0.25\text{м}\cdot 2\text{ т/м}^3\cdot 1\text{м}=0.682\text{т на п.м.}$$

#### **Снеговая нагрузка.**

По СП.20.13330.2016 «Нагрузки и воздействия» расчетная снеговая нагрузка составляет для III снегового района  $0.18\text{т/ м}^2$ .  $\gamma_f=1.4$ .

					<i>АСИ256.08.04.01.2017.ВКР</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		25



### **Нагрузки на плиту перекрытия типового этажа.**

На плиту перекрытия действуют нагрузки от:

- собственного веса
- конструкции полов
- веса ограждающих стен
- нагрузки от перегородок
- временная полезная

**Собственный вес монолитной железобетонной плиты перекрытия.** ( $\delta=200\text{мм}$ ,  $\gamma=2.5\text{т/м}^3$ )  $P=0.5\text{т/м}^2$ .

По СП.20.13330.2016 «Нагрузки и воздействия» коэффициент надежности по нагрузке  $\gamma_f=1.1$ , примем 1.2, чтобы учесть также вес вентиляционных шахт.

### **Вес от конструкции полов.**

- цементный раствор –  $\delta=100\text{мм}$ ,  $\gamma_{\text{р-ра}}=1.8\text{т/м}^3$
- устройство чистого пола -  $\delta=30\text{мм}$ ,  $\gamma=0.008\text{т/м}^3$

$$P=0.1\text{м}\cdot 1.8\text{т/м}^3+0.008\text{т/м}^3\cdot 0.03\text{м}=0.180\text{т/м}^2.$$

Согласно п.8.2.2. СП.20.13330.2016 «Нагрузки и воздействия»  $\gamma_f=1.3$

### **Вес ограждающих стен.**

Состав ограждающей стены:

- облицовочный кирпич,  $\delta=120\text{мм}$ ,  $\gamma_{\text{кирпича}}=1.4\text{т/м}^3$
- утеплитель (минеральная вата  $\gamma=0.038\text{ т/м}^3$ )  $\delta=120\text{мм}$
- полнотелый кирпич,  $\delta=250\text{мм}$  вместе с раствором,  $\gamma_{\text{кирпича}}=2\text{ т/м}^3$

Линейно-распределенная нагрузка на плиту покрытия:

					<i>АСИ256.08.04.01.2017.ВКР</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		26



$$P=(0.12\text{м}\cdot 1.4 \text{ т/м}^3\cdot 1\text{м}+0.25\text{м}\cdot 2 \text{ т/м}^3\cdot 1\text{м}+0.038 \text{ т/м}^3\cdot 0.12\text{м})\cdot 3 \text{ м}=1.569 \text{ т}$$

на п.м.

### Вес от перегородок.

Объем кирпича на 1 этаж:  $V=72\text{м}^3$ ,  $\gamma_{\text{кирпича}}=1.4\text{т/м}^3$

Нагрузка от перегородок:  $P=72\cdot 1.4/1\text{м}^2=0.130\text{т/м}^2$ .

По табл.7.1. СП.20.13330.2016 «Нагрузки и воздействия»  $\gamma_f=1.1$

### Временная полезная нагрузка.

По таблице 8.3. п.п. 1. СП.20.13330.2016 «Нагрузки и воздействия» полезная нагрузка на составляет  $P=0.15 \text{ т/м}^2$ ,  $\gamma_f=1.3$ .

Результаты расчетов приведены в таблицу 2.1.

Табл 2.1

Нагрузки на плиту покрытия			
Вид нагрузки	Нормат. Значение т/м2	$\gamma_f$	Расчетное значение т/м2
<b>Постоянные</b>			
Конструкция кровли	0,102	1,3	0,133
Собственный вес монолитной плиты	0,5	1,2	0,6
Вес парапетной стены	-	-	0,682п.м.
<b>Временные</b>			
Снеговая нагрузка для III ветрового района		1,4	0,18
Нагрузки на плиту перекрытия типового этажа			
Собственный вес полов	0,18	1,3	0,234
Собственный вес монолитной плиты	0,500	1,2	0,600
Вес перегородок	0,13	1,3	0,169
Наружные стены	-	-	1,569 п.м.
<b>Временные</b>			
Полезная нагрузка на типовые этажи	0,150	1,3	0,195

### Ветровая нагрузка на здание.

Согласно табл. 11.1 СП.20.13330.2016 «Нагрузки и воздействия» нормативное значение ветрового давления для II ветрового района составляет  $0.03 \text{ т/м}^2$ .

Нормативное значение средней составляющей ветровой нагрузки определяется по формуле:

$$W_m = W_0 \times k(z_e) \times c$$

, где  $k$  – коэффициент, учитывающий изменение ветрового давления по высоте

$c$  – аэродинамический коэффициент (напор – 0.8, отсос – 0.6)

$W_0$  – нормативное значение ветрового давления.

Результаты расчета сведены в таблицу 2.2:

Табл.2.2.

Этаж	Коэффициент	Нагрузка(т/м2)	Суммарная нагрузка напор(т/м2)	Суммарная нагрузка отсос(т/м2)
1 этаж	0.5	0.03	0.024	0.018
2 этаж	0.58	0.03	0.02784	0.02088
3 этаж	0.663	0.03	0.031824	0.023868
4 этаж	0.723	0.03	0.034704	0.026028
5 этаж	0.781	0.03	0.037488	0.028116
6 этаж	0.843	0.03	0.040464	0.030348
7 этаж	0.883	0.03	0.042384	0.031788
8 этаж	0.92	0.03	0.04416	0.03312
9 этаж	0.958	0.03	0.045984	0.034488
10 этаж	0.9956	0.03	0.0477888	0.0358416
11 этаж	1.03	0.03	0.04944	0.03708
12 этаж	1.07	0.03	0.05136	0.03852
13 этаж	1.1	0.03	0.0528	0.0396
14 этаж	1.137	0.03	0.054576	0.040932
15 этаж	1.117	0.03	0.053616	0.040212
16 этаж	1.1965	0.03	0.057432	0.043074
Тех.пом	1.25	0.03	0.06	0.045
Кровля	1.227	0.03	0.058896	0.044172

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

АСИ256.08.04.01.2017.ВКР

Лист

28

В соответствии с требованиями действующих норм [7] при расчете зданий и сооружений высотой более 40 м на ветровую нагрузку следует учитывать помимо статической пульсационную составляющую этой нагрузки. Поэтому при расчете с использованием программного комплекса «ЛИРА-САПР» моделируются дополнительные динамические загрузки для каждого ветрового нагружения.

В данном примере смоделировано 2 нагружения с ветровым давлением:

Ветер вдоль оси X

Ветер по оси Y

Исходя из заданных условий заполняем таблицу динамических нагружений

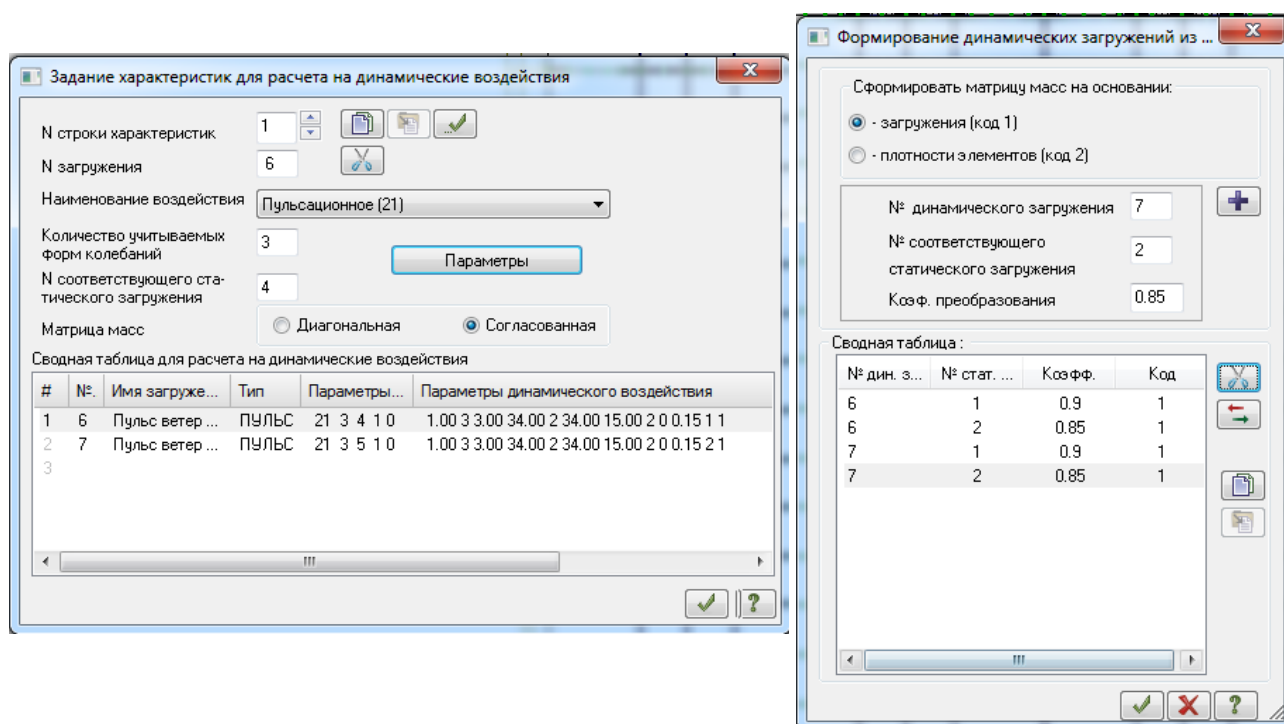


Рис .2.1.1. Таблица динамических нагружений.

При динамическом расчете необходимо учесть статические нагружения собственного веса конструкций и полезной нагрузки

### 2.3 Описание расчетной схемы

Формирование расчетной схемы здания должно максимально соответствовать конструктивной схеме, схеме действующих нагрузок и условиям стыковки конструктивных элементов по передаче усилий и моментов. В расчетной схеме здания использовались стержневые конечные элементы, моделирующие колонны здания, и пластинчатые элементы, моделирующие плиты перекрытий, диафрагмы и стены. Внешние и межквартирные стены считаются ненесущими и заменяются погонной и распределенной нагрузкой.

Создание конечно-элементной модели каркаса здания и расчет выполнен с помощью ПК «Revit», «Сапфир» и ПК «Лира-САПР»

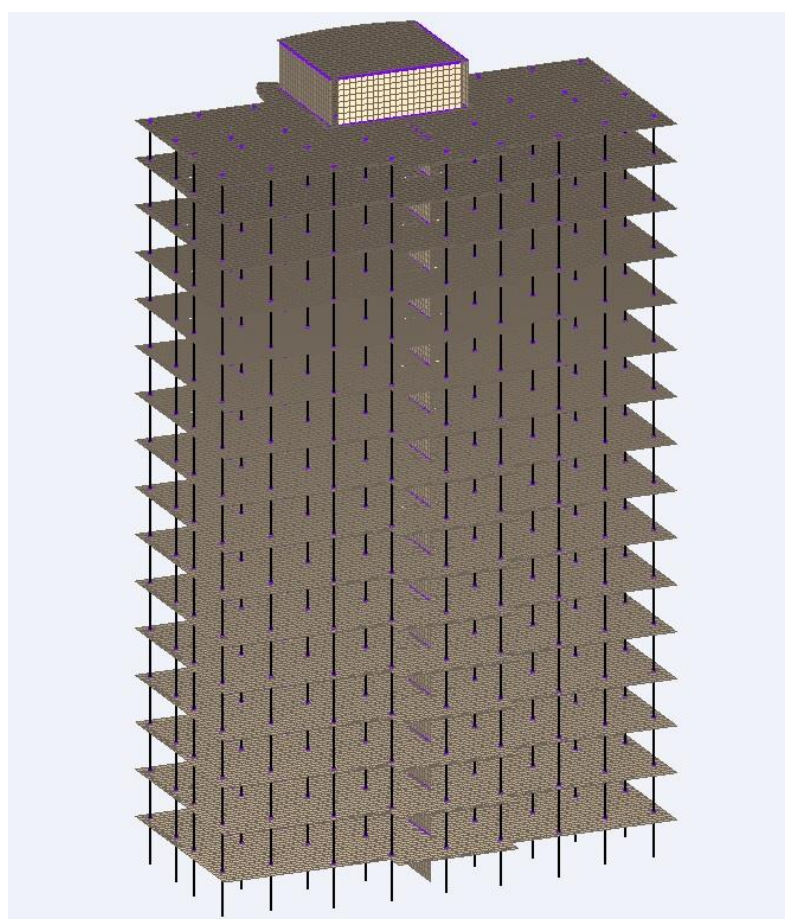


Рис. 2.1.1 Конечноэлементная модель каркаса в ПК «Сапфир», полученная после экспорта из «Autodesk Revit»

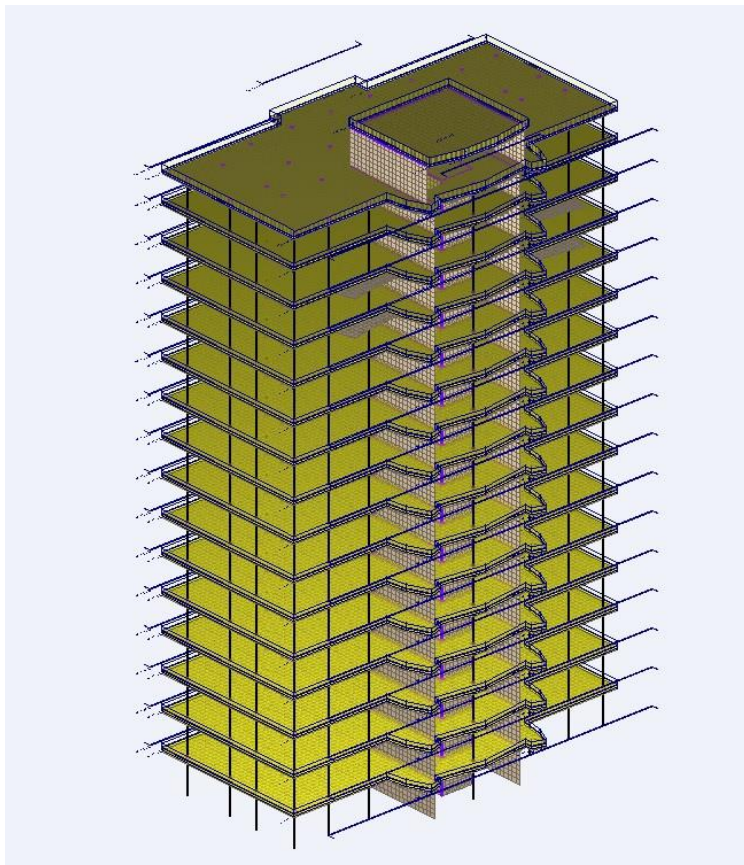


Рис. 2.1.2 Конечноэлементная модель каркаса в ПК «Сапфир» с заданными нагрузками

Наименование	Ветер фасад
Загрузка (наименование)	Ветер фасад
Угол/Х, °	0.00
Отметка планировки, м	-2.100000
Нормативный документ	СНиП 2.01.07-85
☐ Параметры по СНиП 2.01.07-85	
Ветровой район СССР	II
Тип местности	B
Аэродинамический коэф.	1.400000

Загрузка 1. «Собственный вес конструкций здания».

Загрузка 2. «Полезная нагрузка».

Загрузка 3. «Снег на покрытии».

Загрузка 4. «Статический ветер поперек здания(по X)».

Загрузка 5. «Статический ветер вдоль здания (по Y)».

Загрузка 6. «Пульсационная составляющая ветровой нагрузки по X».

Загрузка 7. «Пульсационная составляющая ветровой нагрузки по Y».



После задания всех нагрузок расчетная схема экспортируется в ПК «Ли́ра-САПР» для расчета.

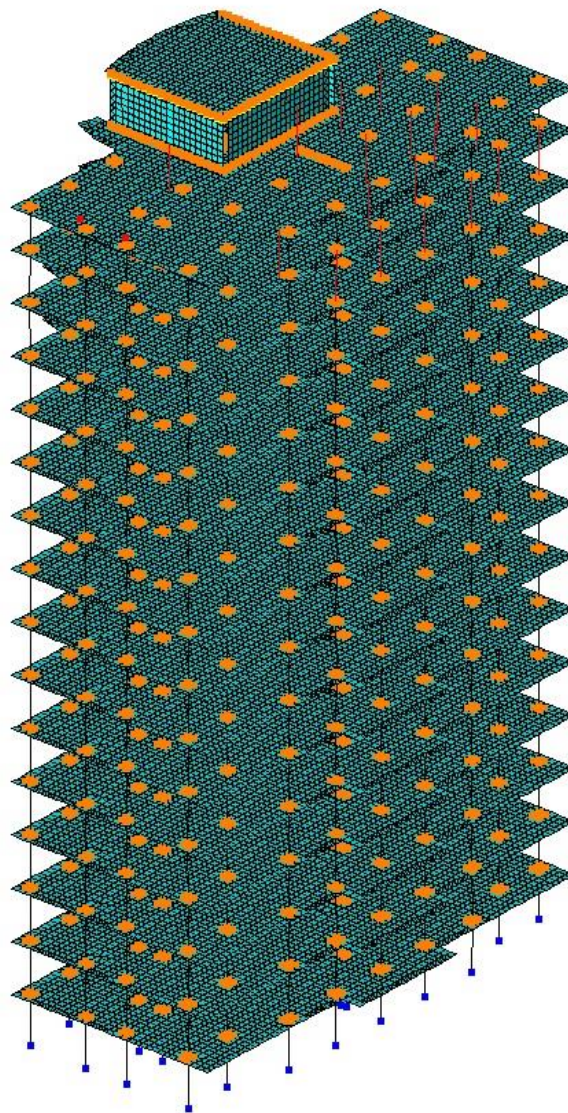


Рис. 2.1.4 Расчетная схема каркаса в ПК «Ли́ра-САПР».

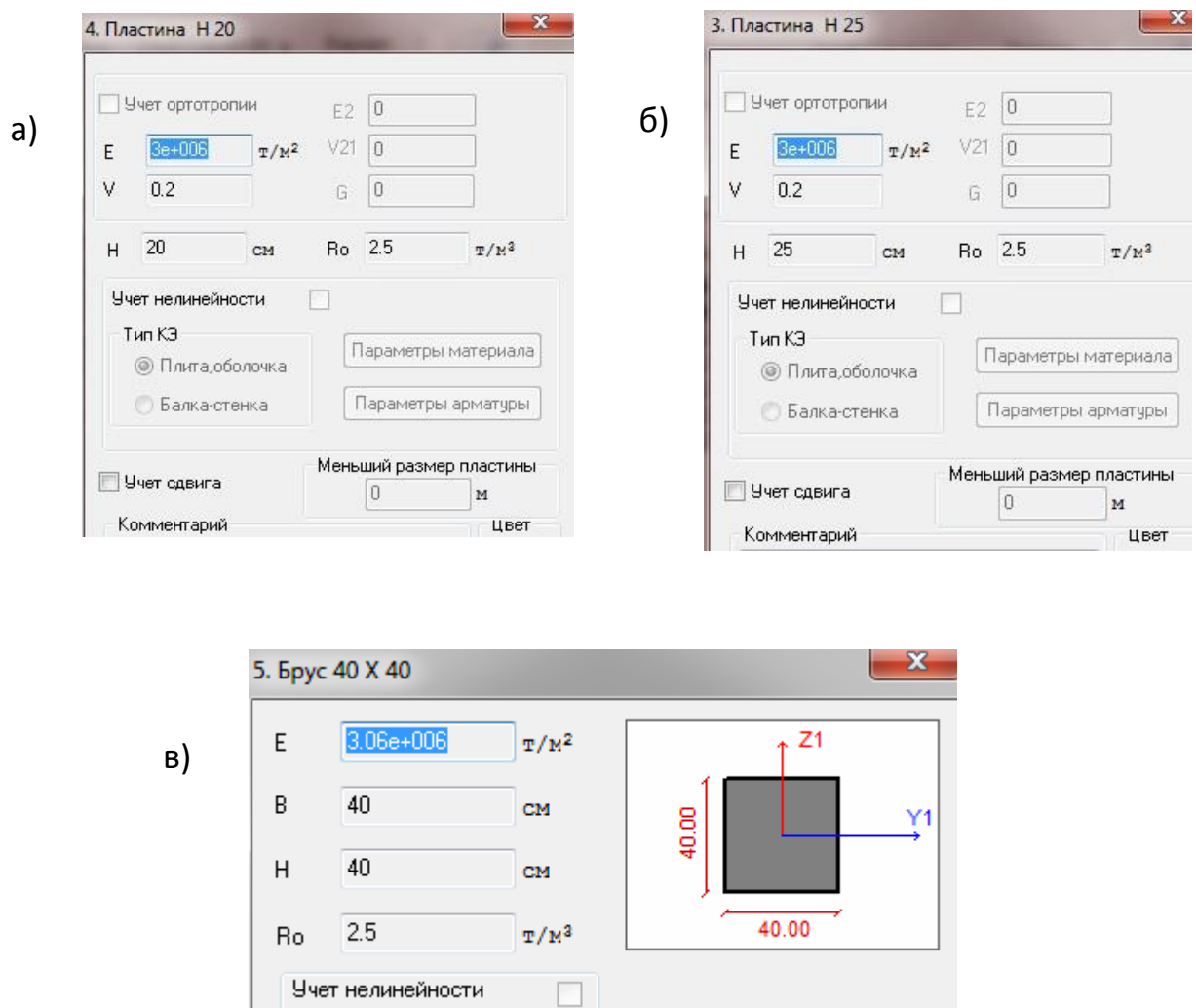


Рис. 2.1.5 Жесткости, заданные для плиты перекрытия(а), диафрагмы жесткости(б) и колонн (в)

- Колонны, сборные из бетона В25. Сечением 40х40см.
- Плита перекрытия из бетона В25. Толщина 20см.
- Диафрагма жесткости из бетона В25. Толщина 25см.

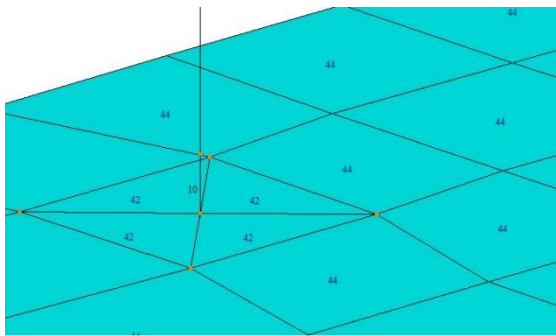


Рис. 2.1.6 Соединение колонны и плиты перекрытия в ПК «ЛИРА»

Тип жесткости			Тип жесткости			Тип жесткости		
4. Пластина Н 20			1. Брус 40 X 40			4. Пластина Н 20		
Тип КЭ	Угол соглас.	Ортогопия	Тип КЭ	К-во сечений	Ортогопия	Тип КЭ	Угол соглас.	Ортогопия
44	-8.41633	0	10	2		42	-45	0
Площадь, координаты центра тяжести			Площадь, координаты центра тяжести			Площадь, координаты центра тяжести		

Рис. 2.1.7 Типы КЭ, используемых при расчете

Расчет всего каркаса произведен по расчетным сочетаниям усилий.

Подбор армирования плиты перекрытия осуществлен в конструирующей системе ПК «Лира-САПР» по расчетным сочетаниям усилий.

Расчетные сочетания усилий

Строительные нормы: СП 20.13330.2011

Номер загрузки: 4 Ветер фасад

Вид загрузки: Мгновенное (7)

Н группы объединяемых временных загрузок: 0

Учитывать знакопеременность:

Н группы взаимноисключающих загрузок: 1

NN согласующих загрузок: 0

Кoeffициент надежности: 1.40

Доля длительности: 0.00

Не учитывать для II-го пред. сост.:

Ограничения для кранов и тормозов: Кран  Тормоз

Кoeffициенты для РСУ

#	1 основ.	2 основ.	Особ.(0)	Особ.(6 С)	5 сочет.	6 сочет.	7 сочет.	8 сочет.	9 сочет.
1	1.00	1.00	0.90	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	1.00	1.00	0.80	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3	1.00	1.00	0.50	0.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4	1.00	1.00	0.50	0.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	1.00	1.00	0.50	0.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Сводная таблица для вычисления РСУ:

№.	Имя загрузки	Вид	Параметры РСУ	Кoeffициенты РСУ
1	Собственный вес конструкции	Постоянное (0)	0 0 0 0 0 0 1.20 1.00	1.00 1.00 0.90 1.00
2	Временные полезные	Длительное (1)	1 0 0 0 0 0 1.30 1.00	1.00 1.00 0.80 1.00
3	Ветер справа	Мгновенное (7)	7 0 1 1 0 0 0 1.40 0.00	1.00 1.00 0.50 0.80
4	Ветер фасад	Мгновенное (7)	7 0 1 1 0 0 0 1.40 0.00	1.00 1.00 0.50 0.80
5	Снег полная	Кратковременное (2)	2 0 0 0 0 0 0 1.40 0.35	1.00 1.00 0.50 0.80

Рис. 2.1.8 Таблица РСУ



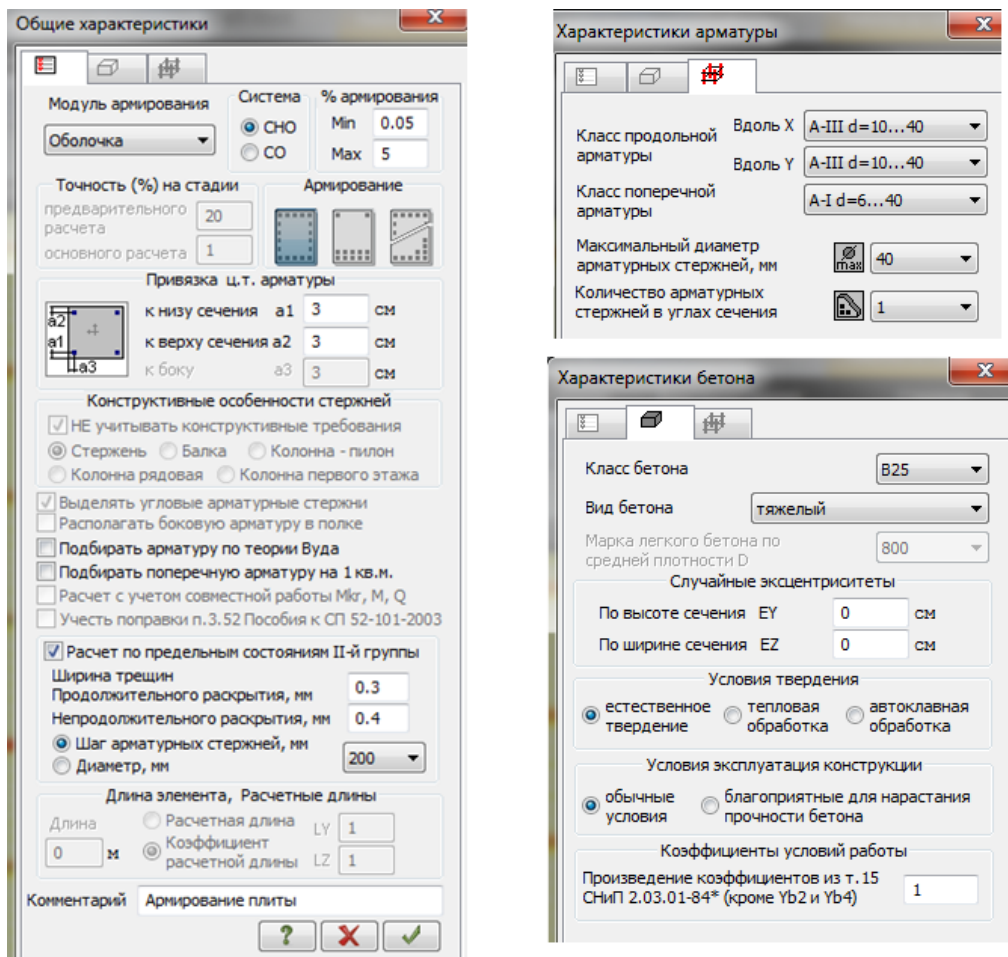


Рис. 2.1.9 Задание материалов при армировании плиты перекрытия

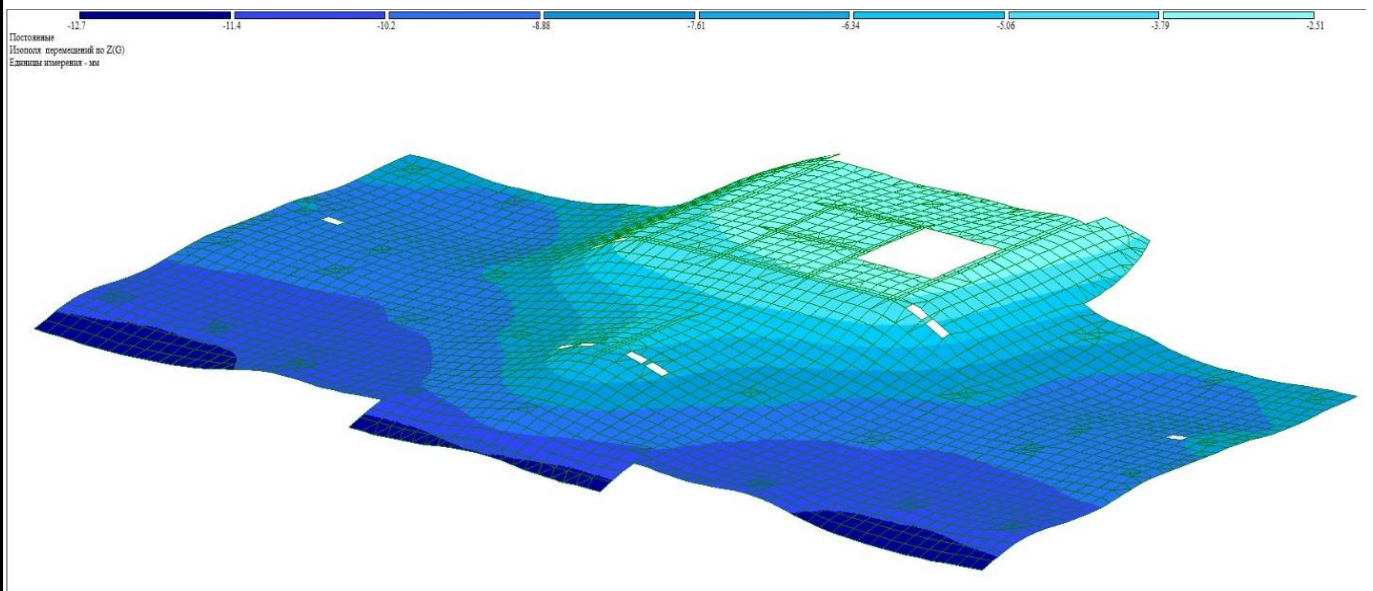


Рис. 2.1.10 Схема деформирования плиты 14



Рис. 2.1.11 Схема деформирования каркаса здания

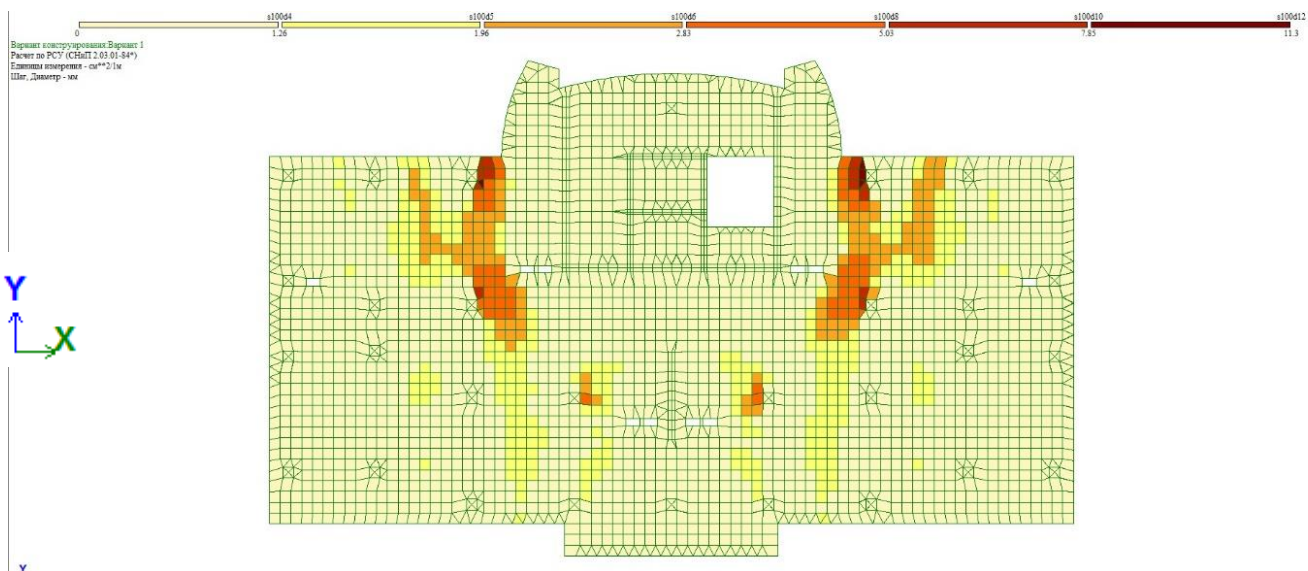
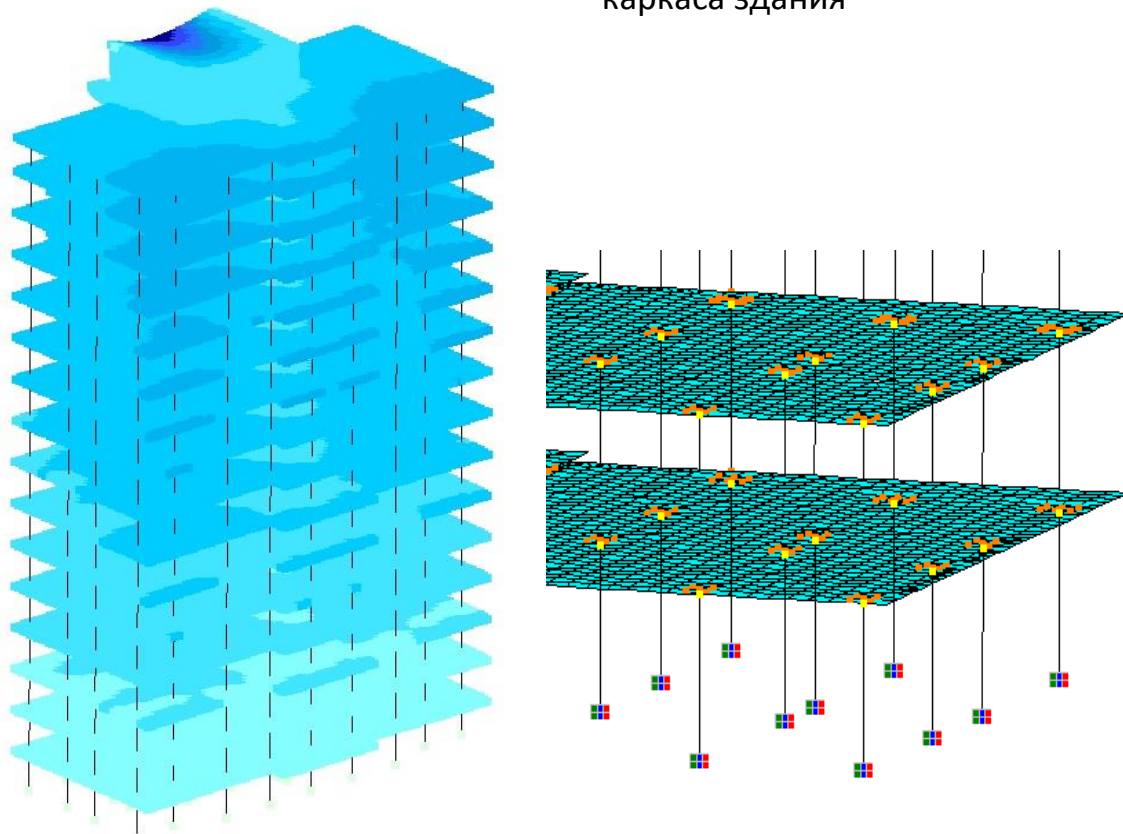


Рис. 2.1.13 Нижняя арматура по оси X



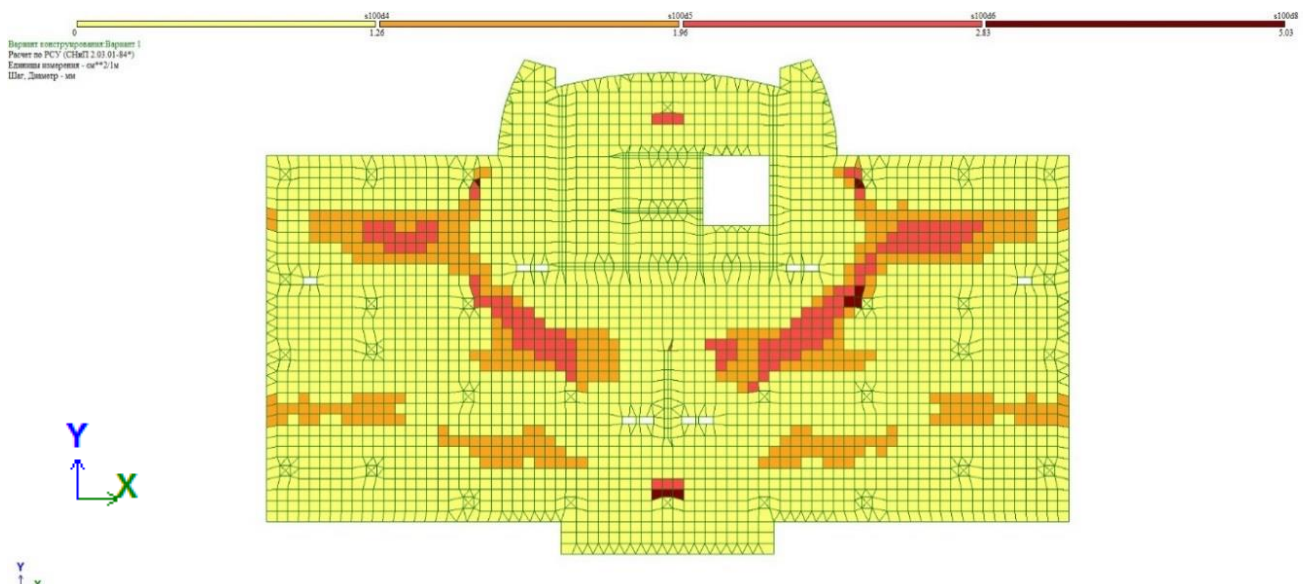


Рис. 2.1.14 Нижняя арматура по оси Y

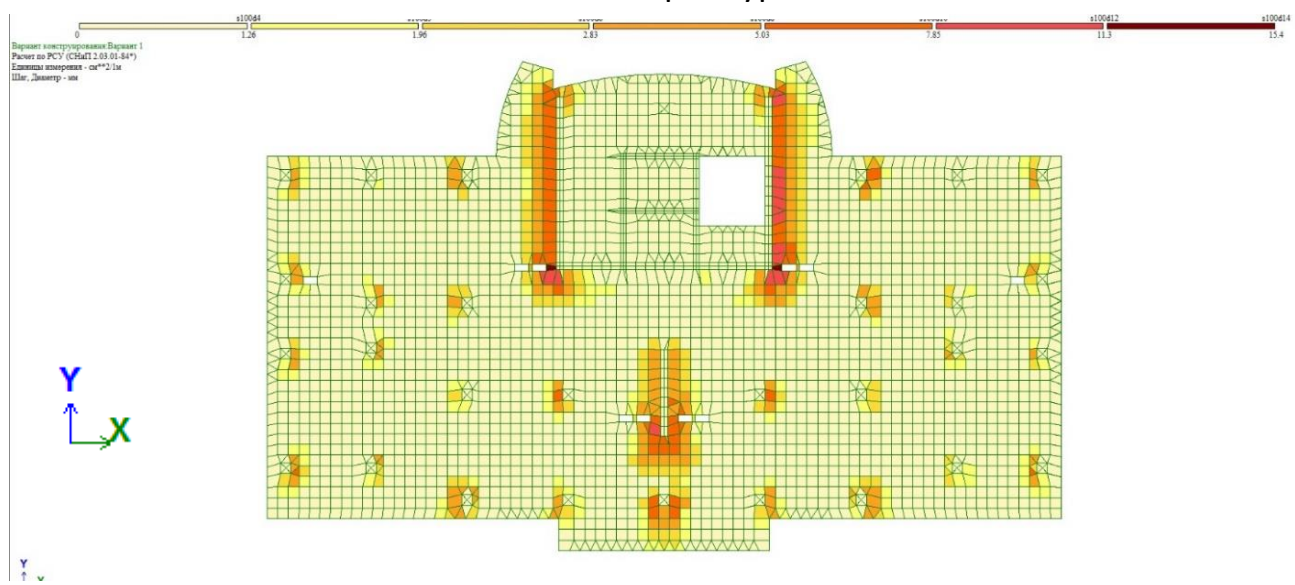


Рис. 2.1.15 Верхняя арматура по оси X

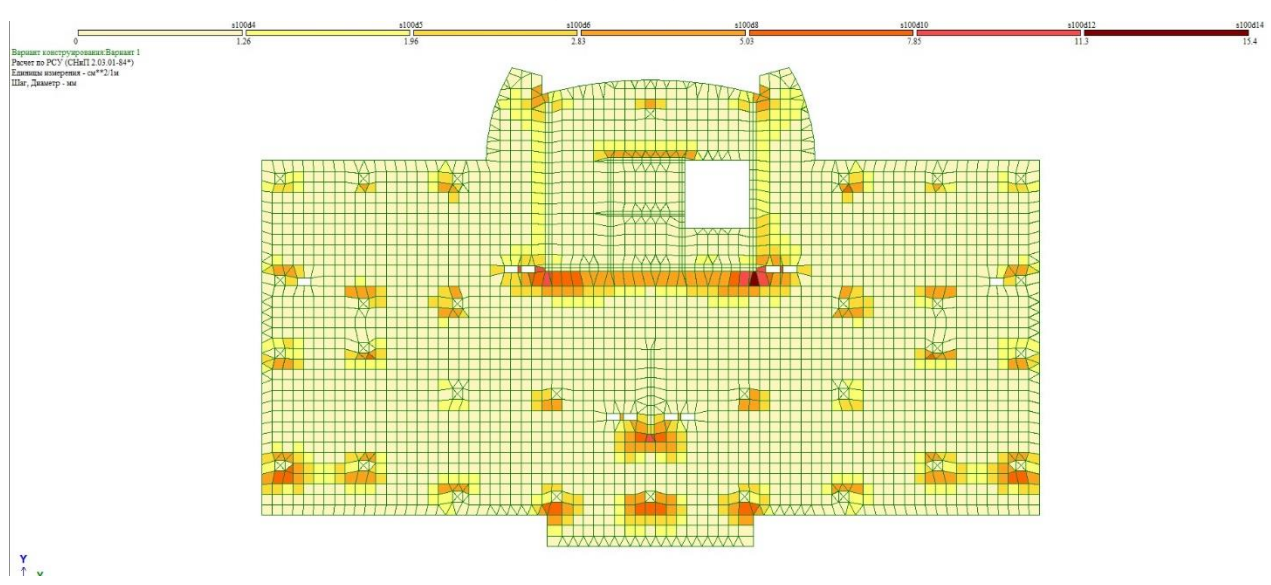


Рис. 2.1.16 Верхняя арматура по оси Y

Из результатов конструирования видно, что требуется минимальное армирование в пролетах и небольшое усиление на опорах. Разложим фоновую арматуру диаметром 10 мм (из условий технологии) с шагом 200 сверху и снизу. На опорах усилим верхней арматурой, диаметром 12 мм с шагом 200.

## 2.4 Расчет железобетонной плиты перекрытия на продавливание.

Расчет производится по СП 63.13330.2012.

Расчет на продавливание производят для плоских железобетонных элементов (плит) при действии на них (нормально к плоскости элемента) местных, концентрированно приложенных усилий – сосредоточенных силы и изгибающего момента.

При расчете на продавливание рассматриваю расчетное поперечное сечение, расположенное вокруг зоны передачи усилий на элемент на расстоянии  $\frac{h_0}{2}$  нормально к его продольной оси, по поверхности которого действуют касательные усилия от сосредоточенных сил и изгибающего момента.[2]

Действующие касательные усилия по площади расчетного поперечного сечения должны быть восприняты бетоном с сопротивлением бетона осевому растяжению  $R_{bt}$  и расположенной по обе стороны от расчетного поперечного сечения на расстоянии  $\frac{h_0}{2}$  поперечной арматурой с сопротивлением поперечной арматуры растяжению  $R_{sw}$ .

### Исходные данные

- плита плоского монолитного перекрытия толщиной 200мм;
- колонны, примыкающие к перекрытию сверху и снизу, сечением 400х400мм;
- нагрузка, передающаяся с перекрытия на колонну  $N=21.833\text{кН}$

					<i>АСИ256.08.04.01.2017.ВКР</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		38

Таблица РСУ						Усилия						№№ загруж
№ элем	№ сечен	№ столбца	Кран/сейсм	Группа РСУ	Критерий	N (т)	Mx (т*м)	My (т*м)	Qz (т)	Mz (т*м)	Qy (т)	
1232	1	2	-	A1	2	- 21.833	- 0.008	- 1.086	0.880	- 0.303	- 0.247	1 2 3 4 5
1232	1	1	-	A1	5	- 20.427	- 0.008	- 1.347	1.098	- 0.334	- 0.273	1 2 4
1232	1	2	-	A1	6	- 20.652	- 0.007	- 0.692	0.583	- 0.289	- 0.238	1 3 4 5
1232	1	2	-	A1	10	- 20.057	- 0.007	- 1.118	0.931	- 0.324	- 0.262	1 2 4 5
1232	1	1	-	A1	27	- 18.506	- 0.007	- 0.493	0.466	- 0.300	- 0.243	1 5
1232	1	1	-	A1	29	- 20.652	- 0.007	- 0.692	0.583	- 0.289	- 0.238	1 3
1232	2	1	-	A1	1	- 19.083	- 0.008	1.726	1.098	0.429	- 0.273	1 2 4
1232	2	1	-	A1	2	- 18.938	- 0.007	0.702	0.416	0.357	- 0.227	1 3 5
1232	2	2	-	A1	4	- 19.308	- 0.007	0.939	0.583	0.376	- 0.238	1 3 4 5
1232	2	2	-	A1	6	- 18.713	- 0.007	1.489	0.931	0.410	- 0.262	1 2 4 5
1232	2	2	-	A1	8	- 20.489	- 0.008	1.378	0.880	0.388	- 0.247	1 2 3 4 5
1232	2	1	-	A1	27	- 17.162	- 0.007	0.813	0.466	0.380	- 0.243	1 5
1232	2	1	-	A1	29	- 19.308	- 0.007	0.940	0.583	0.376	- 0.238	1 3
1235	1	2	-	A1	2	- 18.796	- 0.010	- 0.743	0.604	- 7.044	- 4.836	1 2 3 4 5
1235	1	2	-	A1	3	- 16.505	- 0.010	- 0.770	0.645	- 6.931	- 4.741	1 2 4 5
1235	1	2	-	A1	22	- 18.488	- 0.009	- 0.378	0.339	- 6.199	- 4.269	1 3 4 5
1235	1	1	-	A1	27	- 18.862	- 0.008	- 0.279	0.291	- 6.078	- 4.166	1 5

Рис. 2.1.17 Таблица усилий в колоннах

- максимальные моменты в сечении колонн равны:  $M_x=0.08\text{кНм}$ ,  
 $M_y=3.03\text{кНм}$ ;

- бетон класса В25 ( $R_{bt}=1.05\text{Мпа}=1050\frac{\text{кН}}{\text{м}^2}$ );

Требуется проверить плиту перекрытия на продавливание.

Расчет.

Полезную высоту плиты принимаем равной  $h_0=170\text{мм}$ .

За сосредоточенную продавливающую силу принимаем нагрузку от перекрытия  $F=N=218.31\text{кН}$ ;

За площадь опирания этой силы – сечение колонны  $0.4\times 0.4\text{м}$ .

Определим геометрические характеристики контура расчетного поперечного сечения:

- периметр  $u=2(a+b+2h_0)=2(0.4+0.4+2\cdot 0.17)=2.28\text{м}$ ;

- момент сопротивления сечения в направлении момента  $M_x$  и  $M_y$ .

$$W_x = W_y = (a + h_0) \left( \frac{a+h_0}{3} + b + h_0 \right) = (0.4 + 0.17) \left( \frac{0.4+0.17}{3} + 0.4 + 0.17 \right) = 0.4332 \text{ м}^2$$

Проверяем условие, принимая  $M = M_y = 3.03 \text{ кНм}$ ,  $W_b = W_{b,x} = 0.4332 \text{ м}^3$  и добавляя к левой части  $\frac{M_x}{W_{b,x}} = \frac{0.07}{0.4332} = 0.1641 \frac{\text{кН}}{\text{м}}$ ;

$$\text{При этом } \frac{M_y}{W_{b,y}} + \frac{M_x}{W_{b,x}} = \frac{3.03}{0.4332} + 0.1641 = 7.158 \frac{\text{кН}}{\text{м}} < \frac{F}{u} = \frac{183.1}{2.28} = 80.3 \frac{\text{кН}}{\text{м}},$$

следовательно, момент не корректируем.

$$\frac{F}{u} + \frac{M_x}{W_{b,x}} + \frac{M_y}{W_{b,y}} = 7.158 + 95.7 = 102.9 \frac{\text{кН}}{\text{м}} < R_{bt} h_0 = 1050 \cdot 0.17 = 178.5 \frac{\text{кН}}{\text{м}}$$

Условие выполняется.

					<i>АСИ256.08.04.01.2017.ВКР</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		40

## 2.2. Линейно-упругий расчет плиты перекрытия в ПК «Robot structure»

Используя стандартные инструменты ПК «Revit» и расчетного комплекса «Robot structure» произведен расчет созданной в «Revit» аналитической модели.

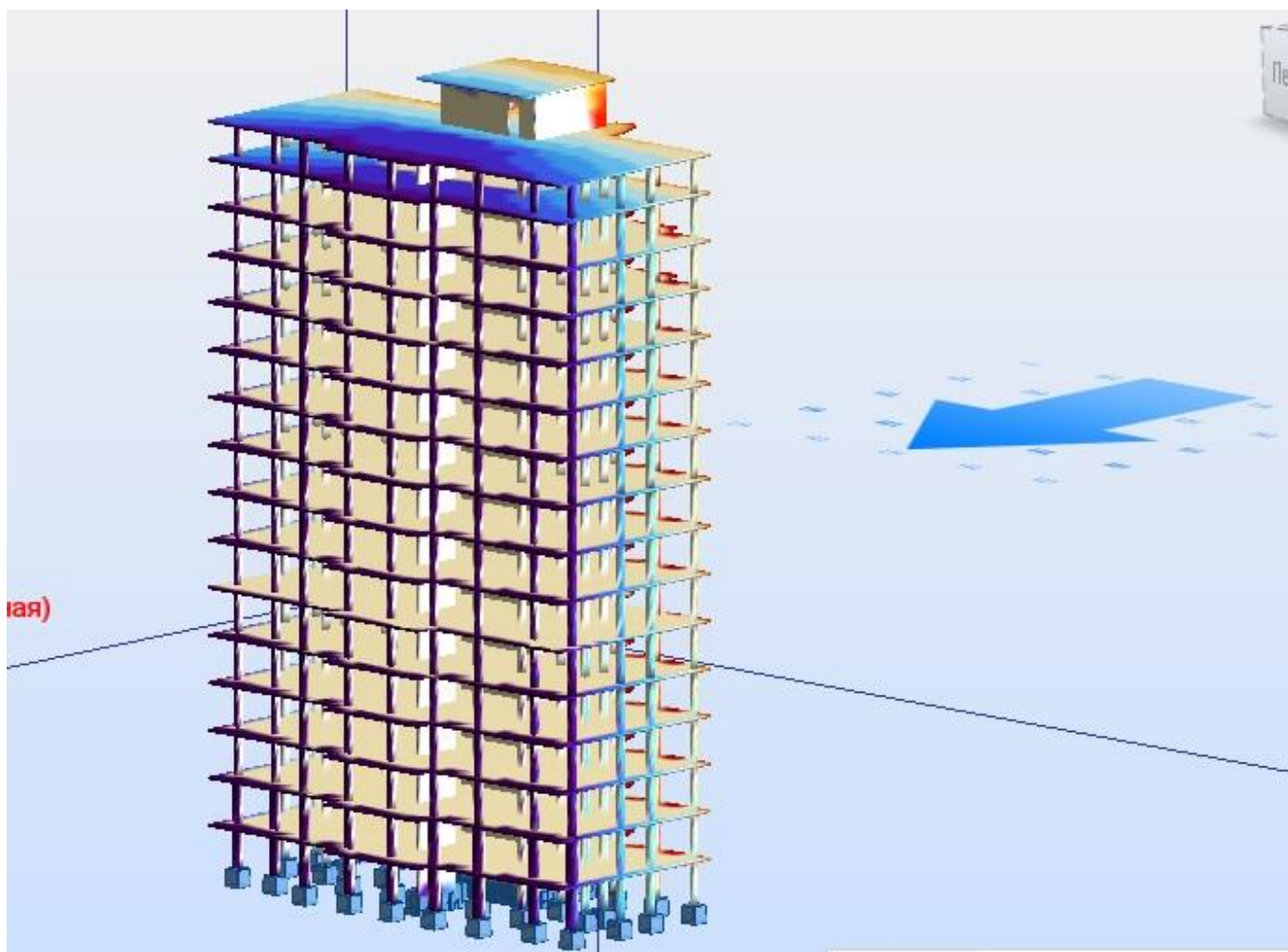


Рис. 2.2.1 Задание ветровой нагрузки в «Robot structure»



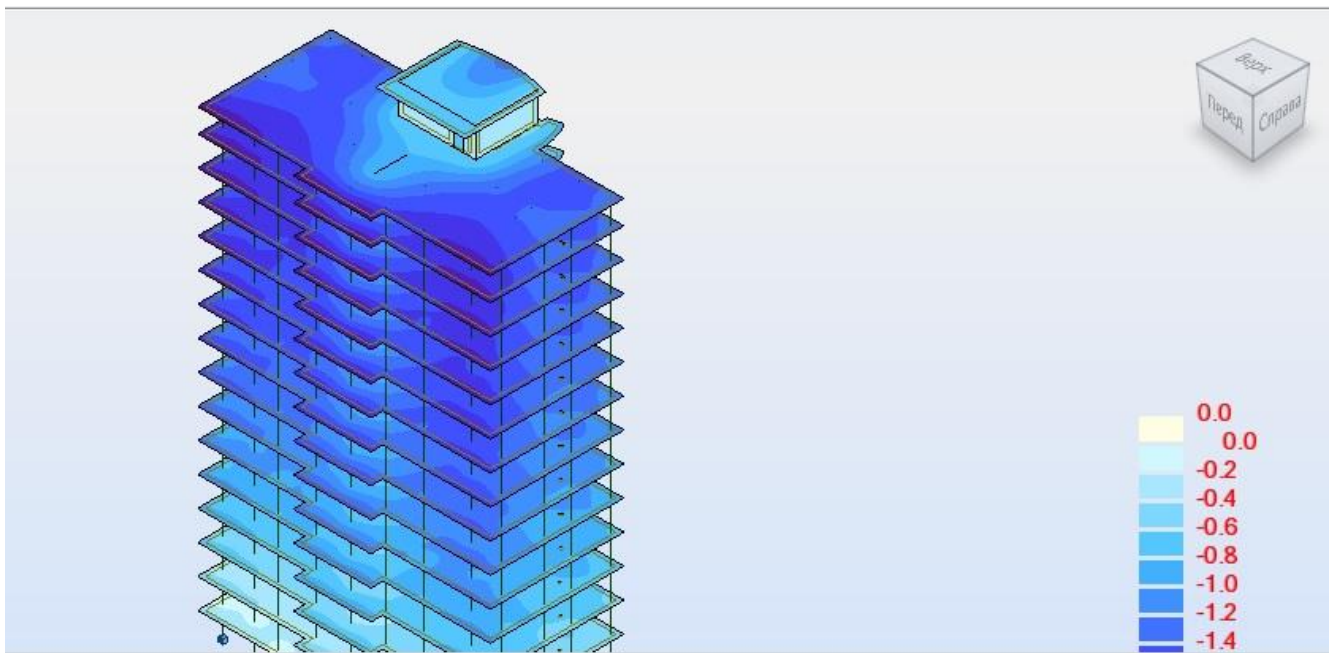


Рис. 2.2.2 Деформированная схема каркаса в «Robot structure»

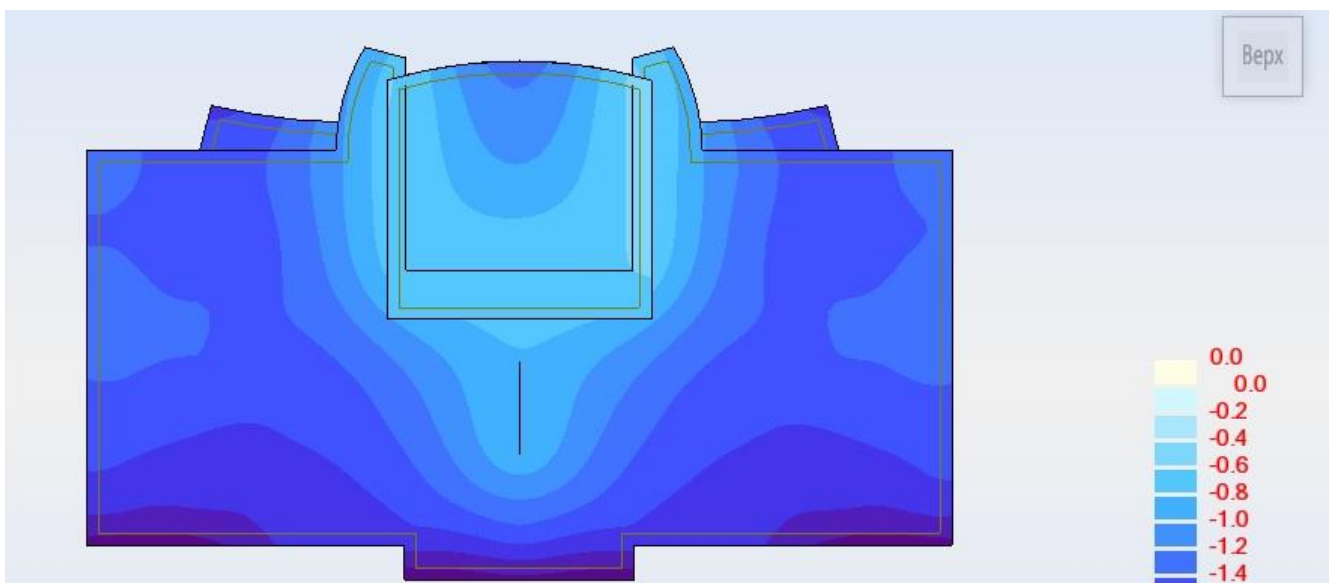


Рис. 2.2.3 Деформированная схема плиты перекрытия в «Robot structure»



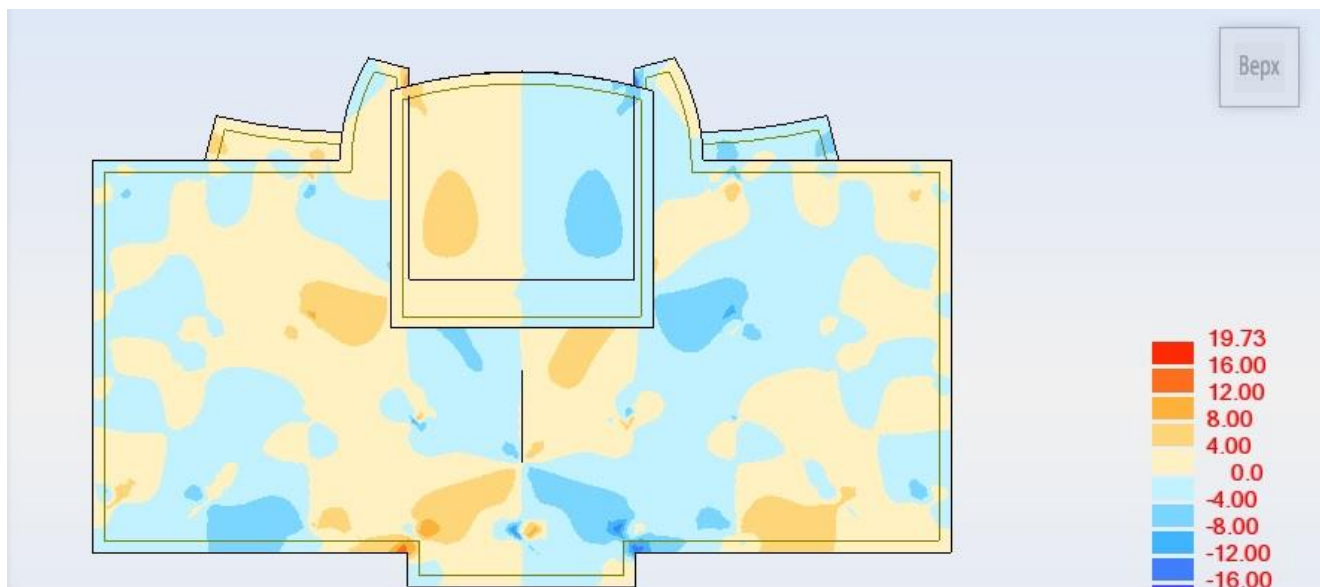


Рис. 2.2.4 Мозаика напряжений  $M_x$  в «Robot structure»

К сожалению ввиду использования демо версии программного комплекса «Robot structure» не представляется возможным произвести подбор арматуры и создание варианта конструирования плиты перекрытия.

Максимальные перемещения плиты перекрытия составили 12,7 мм и 14 мм соответственно, что говорит о схожести результатов.

Произведя линейно-упругий расчет плиты перекрытия, можно наглядно увидеть схожесть результатов в ПК «Лира-САПР» и ПК «Robot structure».

### 2.3. Создание варианта конструирования плиты при линейно-упругом расчете

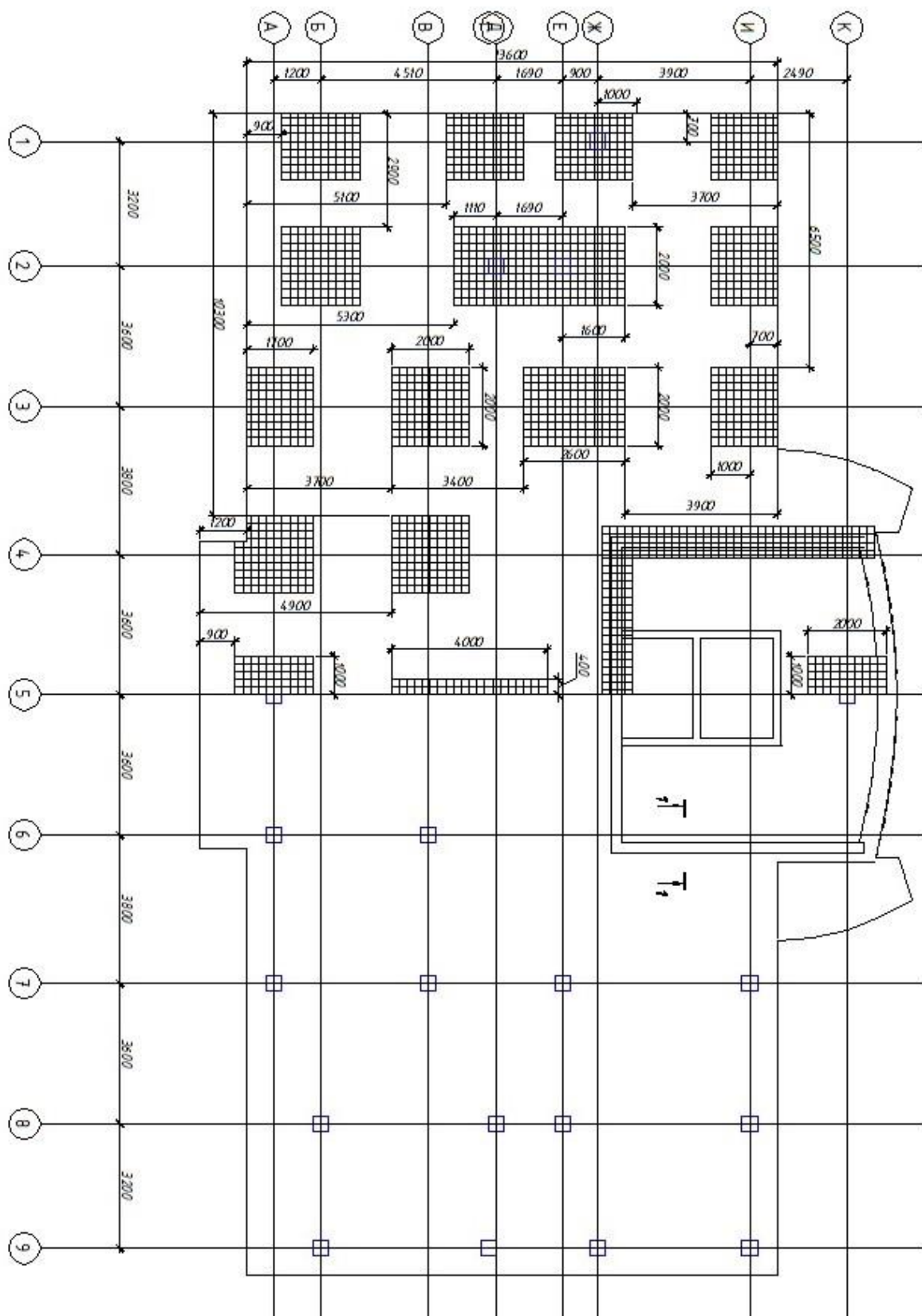
По результатам линейно-упругого расчета можно сделать вывод о том, что вариант конструирования плиты перекрытия в ПК «Лира-САПР» и ПК «Robot structure» будет схожим, поэтому за основу принимается армирование, подобранное с помощью ПК «Лира-САПР»

По результатам расчета получается, что требуется минимальное армирование в пролетах и небольшое усиление верхней арматурой на опорах. Разложим фоновую арматуру диаметром 10мм (из условий технологии) с шагом 200 сверху и снизу. На опорах усилим арматурой диаметром 12 мм с шагом 200. Толщина плиты 20мм. Класс бетона В25.

Табл. 2.3.1 Спецификация арматуры в плите перекрытия

Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Масса ед., кг	Примечание
1	ГОСТ 5781-82*	φ 10-А-III	2251	0,62	п.м.
2	ГОСТ 5781-82*	φ 12-А-III L=1500	28	0,93	
3	ГОСТ 5781-82*	φ 12-А-III L=2000	167	1,24	
4	ГОСТ 5781-82*	φ 12-А-III L=2500	245	1,55	
6	ГОСТ 5781-82*	φ 12-А-III L=3000	46	1,86	
7	ГОСТ 5781-82*	φ 12-А-III L=3500	7	2,17	
8	ГОСТ 5781-82*	φ 12-А-III L=6000	19	3,72	
9	ГОСТ 5781-82*	φ 12-А-III L=10000	5	6,17	

Рис. 2.3.1 Схема верхнего армирования плиты перекрытия

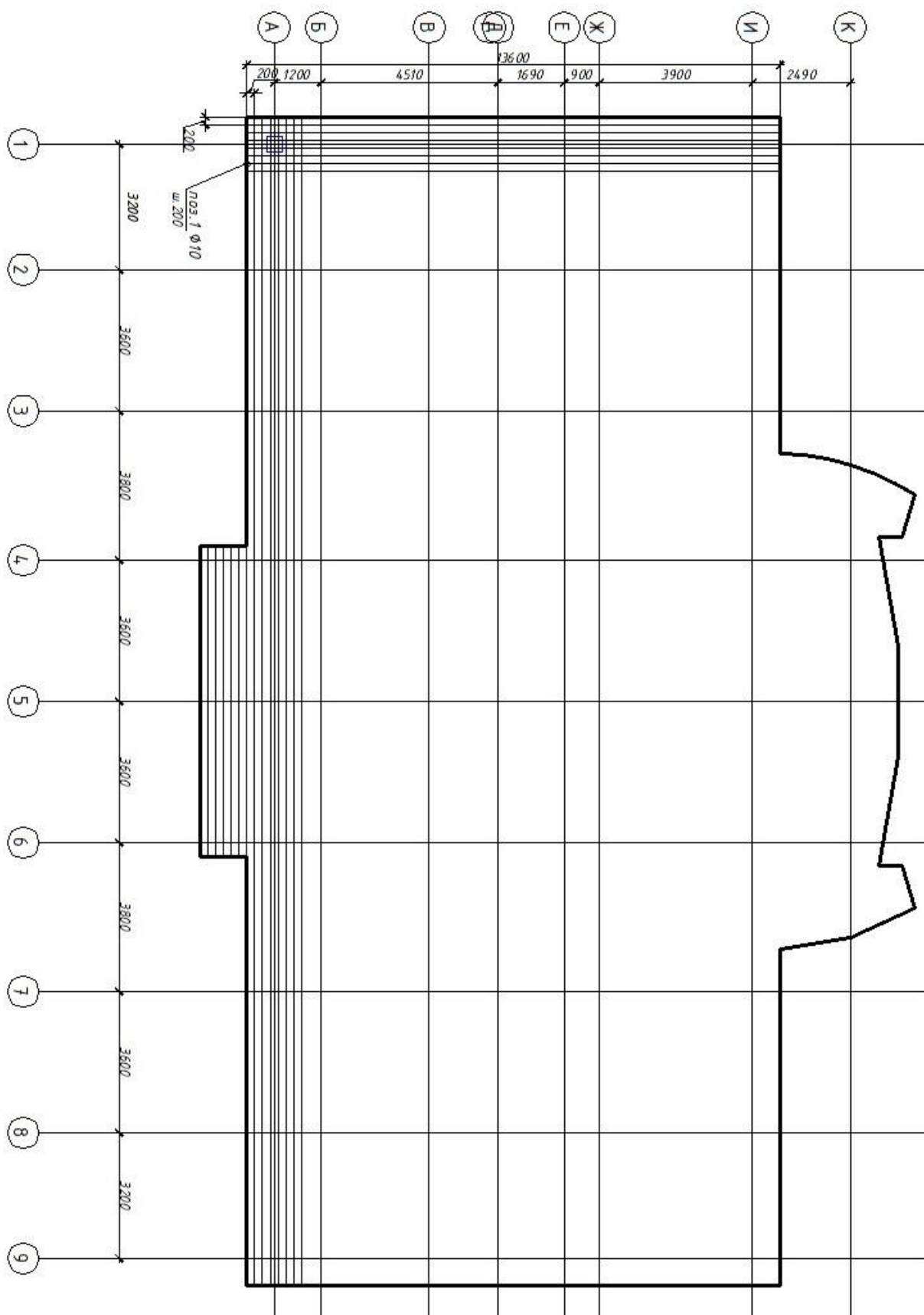


Верхнее армирование (усиление) по буквенным и цифровым осям

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

АСИ256.08.04.01.2017.ВКР

Рис. 2.3.2 Схема фоновго армирования плиты перекрытия



Верхнее и нижнее армирование по буквенным и цифровым осям

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

АСИ256.08.04.01.2017.ВКР

Лист

46

## Выводы по главе 2

1. Произведен линейно-упругий расчет плиты перекрытия
2. Проанализированы результаты расчета, создан вариант конструирования плиты перекрытия
3. Качественно сравнив результаты расчета в данных расчетных комплексах, можно сделать вывод о схожести вариантов конструирования плит, на основании чего принимается один вариант конструирования для упруго-линейного расчета плиты перекрытия

					<i>АСИ256.08.04.01.2017.ВКР</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		47

Глава 3. Учет нелинейной работы материала при расчете плиты перекрытия. Сравнение полученных результатов.

					<i>АСИ256.08.04.01.2017.ВКР</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		48

### 3.1. Учет нелинейной работы материала в ПК «Лира-САПР»

Согласно СП 63.13330.2012 «Бетонные и железобетонные конструкции»

при расчете железобетонных элементов можно учитывать нелинейный характер деформирования бетона. По пункту 6.1.20 СП можно вычислить сжимающие напряжения бетона  $\sigma_b$  в зависимости от относительных деформаций укорочения бетона  $\varepsilon_b$ .

Для бетона В25, используемого в конструкции, получаем следующую диаграмму нелинейного деформирования:

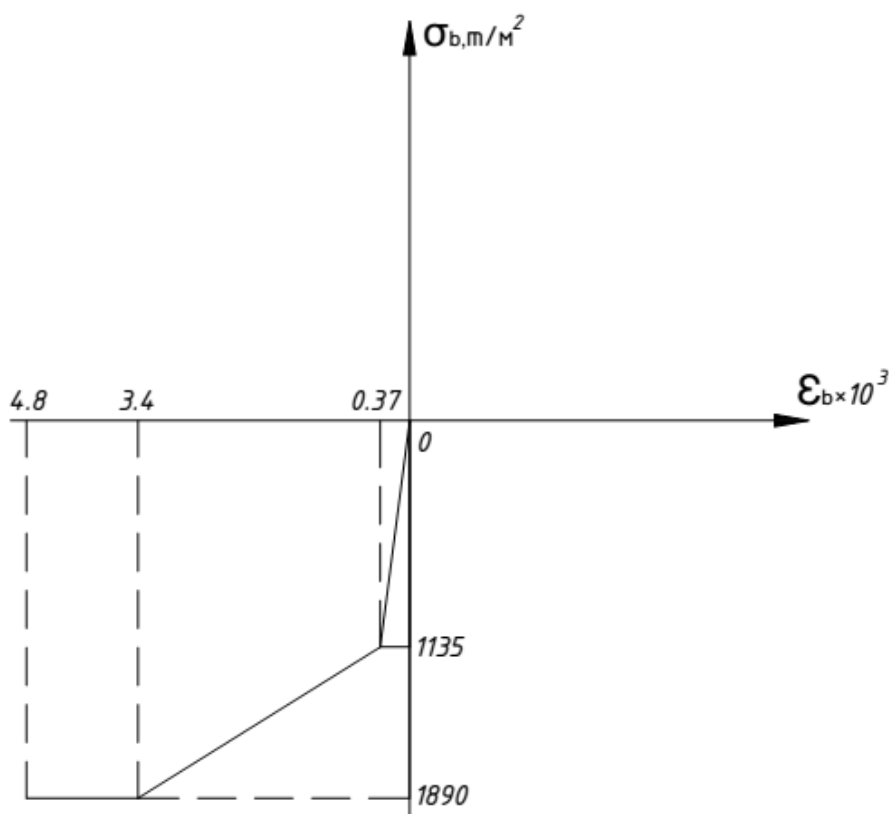
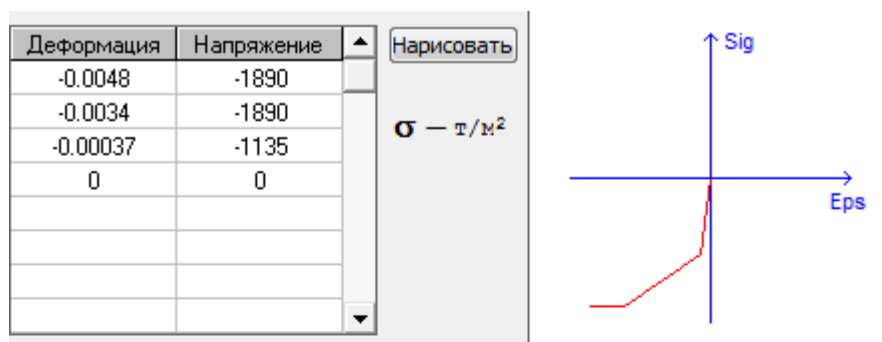


Рис. 3.1.1 Диаграмма нелинейного деформирования бетона

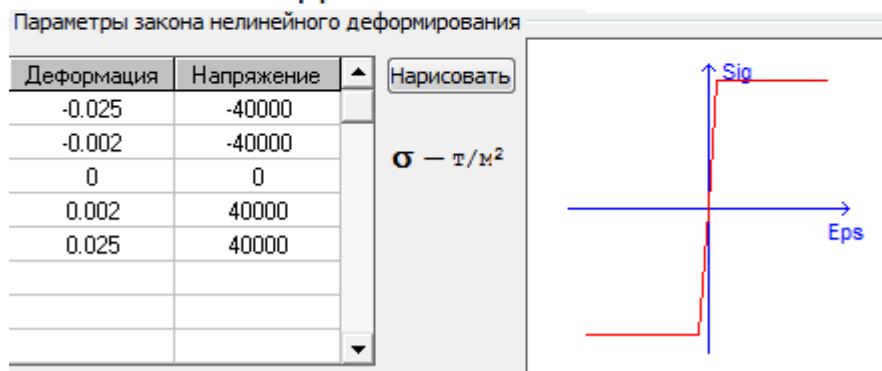
Программный комплекс «Ли́ра-САПР» позволяет учесть нелинейную диаграмму деформирования бетона, а также арматуры, при расчете железобетонных конструкций.

Это позволяет оценить прогибы, которые возникают в конструкции, а также самостоятельно регулировать эти прогибы с помощью дополнительного армирования.

При упруго-линейном расчете прогиб получился 12,7 мм. Поэтому при нелинейном расчете задаем армирование таким, чтобы получить наиболее схожий результат.



### Для бетона В25



### Для арматуры

Рис. 3.1.2 Диаграмма нелинейного деформирования заданные в ПК «Ли́ра-САПР».



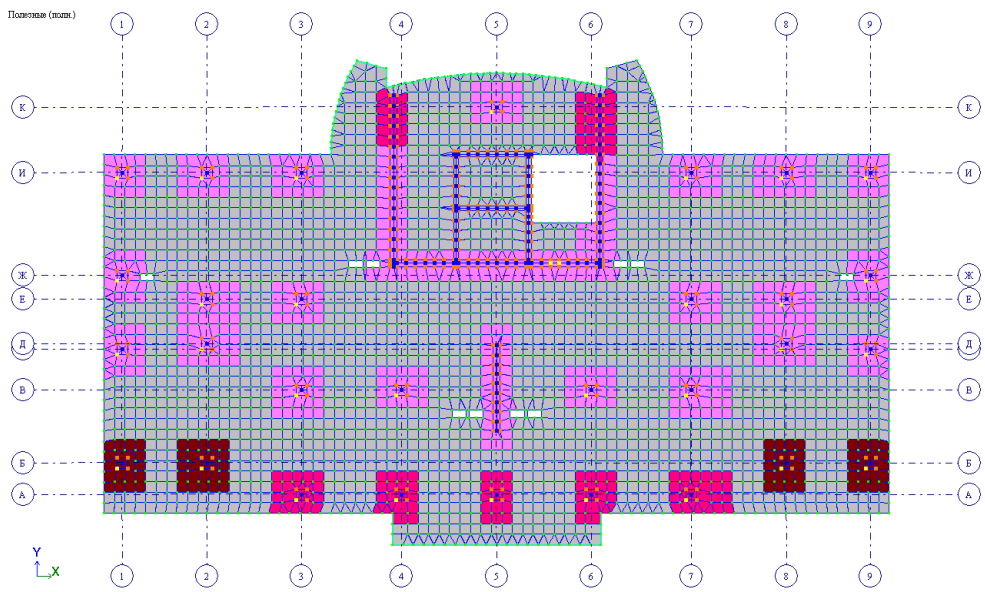






Рис. 3.1.3 Верхнее армирование плиты (усиление) перекрытия в ПК «Лира-САПР» при нелинейном расчете.

Условные обозначения армирования

-  - фоновое армирование, стержни  $d=10\text{мм}$ , с шагом  $300\text{мм}$
-  - усиление, стержни  $d=12\text{мм}$ , с шагом  $300\text{мм}$
-  - усиление, стержни  $d=10\text{мм}$ , с шагом  $100\text{мм}$
-  - усиление, стержни  $d=12\text{мм}$ , с шагом  $100\text{мм}$

При полученном армировании получаем следующие значения прогибов:

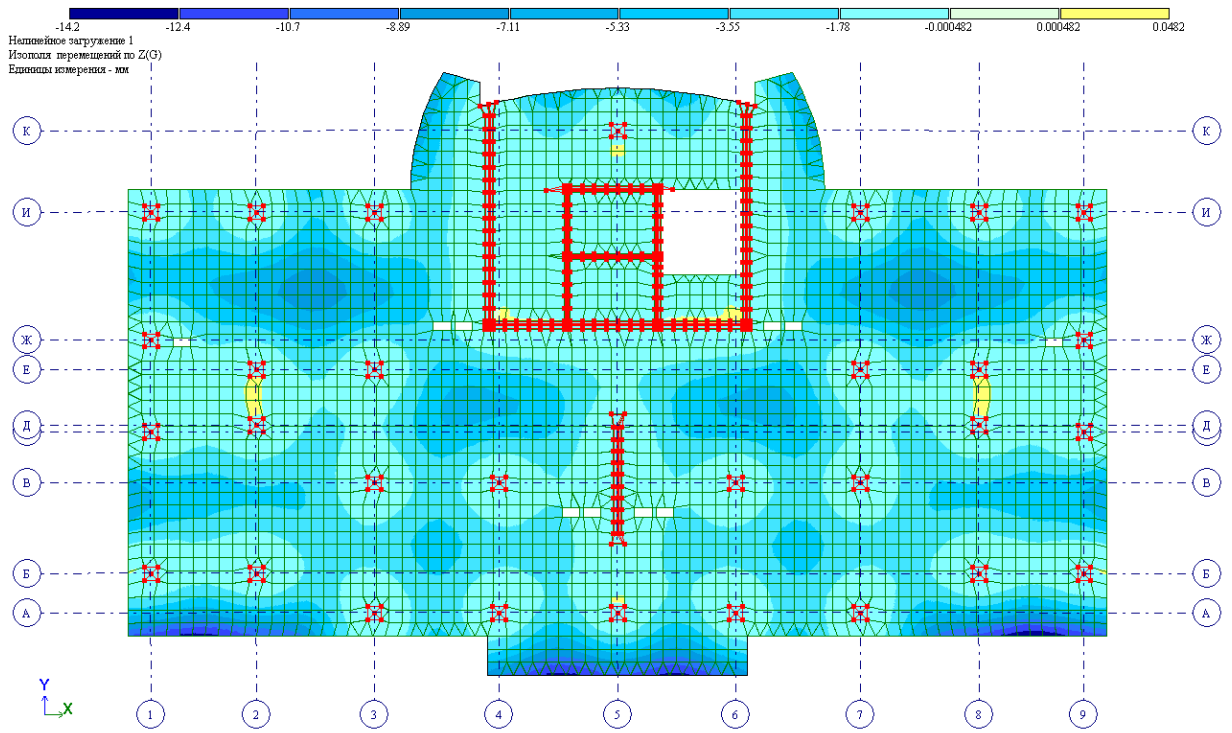
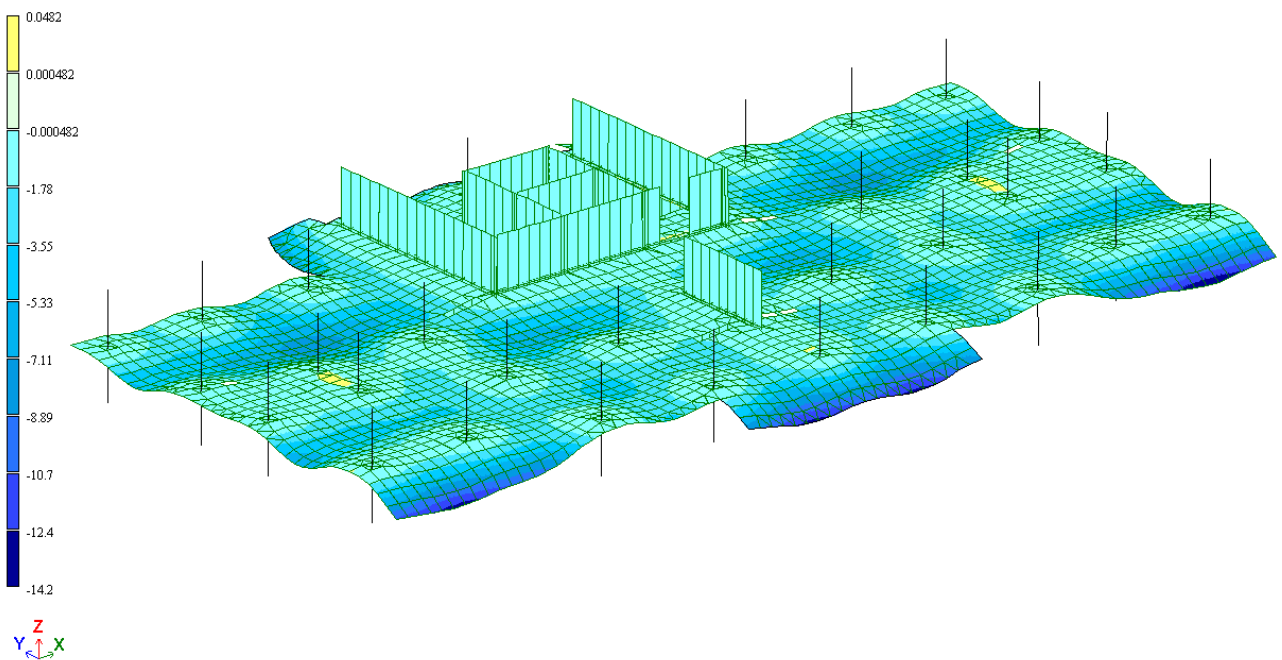


Рис. 3.1.4 Прогибы в плите, при нелинейном расчете.

Нелинейное нагружение 1  
Изополюс перемещений по Z(G)  
Единица измерения - мм



Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

АСИ256.08.04.01.2017.ВКР

Лист

52

При изменении толщины плиты и варианта армирования получился прогиб в 14,2 мм, что в свою очередь схоже с результатом линейно-упругого расчета (12,7 мм).

Учет нелинейной работы бетона при расчетах плит перекрытий оказывает существенное влияние на результаты. Можно получать более точные результаты работы конструкции, что ведет к снижению потребности материалов, более эффективному их использованию.

В результате нелинейного расчета получилось:

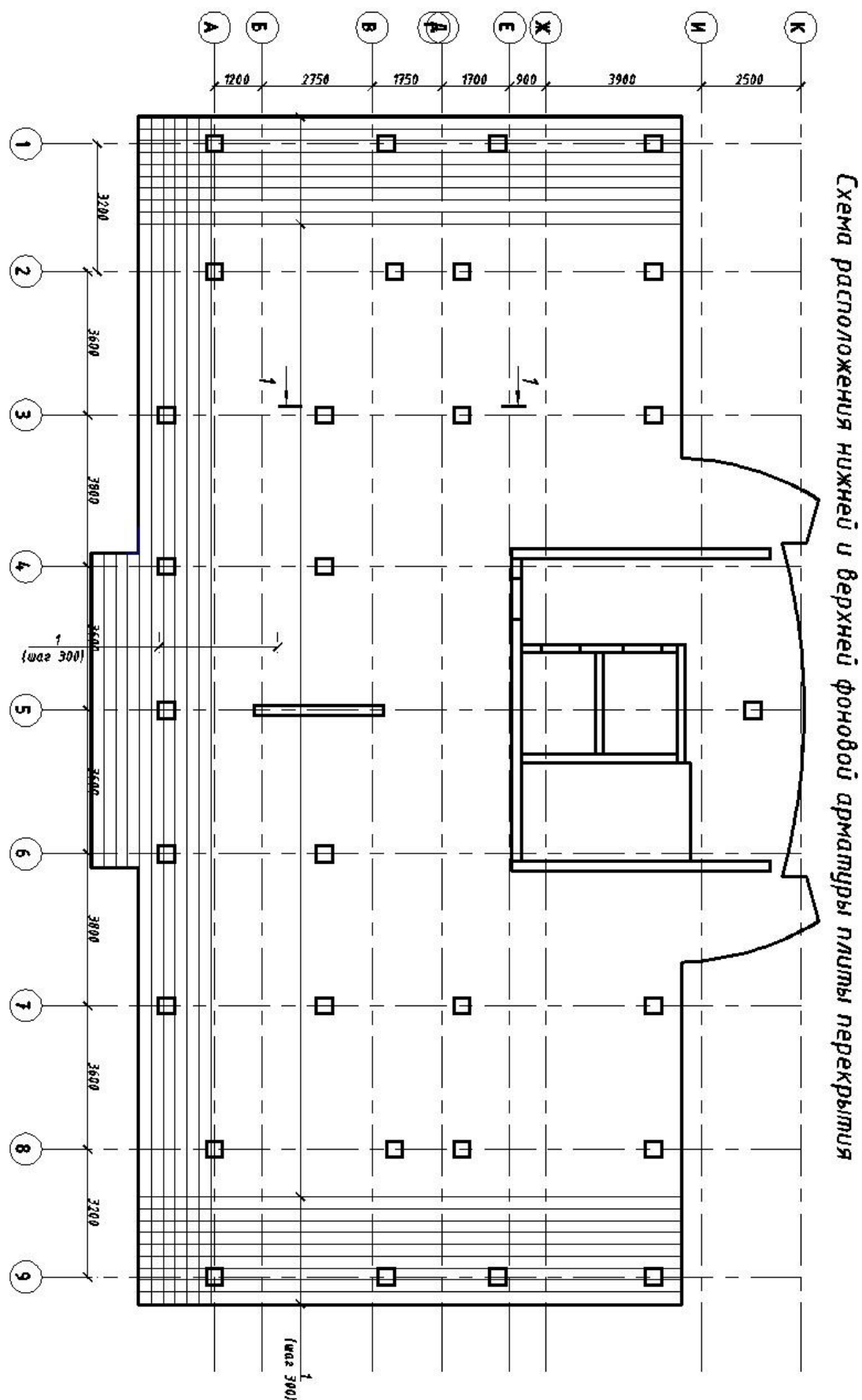
Уменьшилась толщина плиты (18см вместо 20) и более рационально расположен армирующий материал в теле плиты.

На основании этих данных разработан второй вариант конструкции плиты.

Табл. 3.1.1 Спецификация арматуры при нелинейном расчете.

<i>Поз.</i>	<i>Обозначение</i>	<i>Наименование</i>	<i>Кол.</i>	<i>Масса ед.,кг.</i>	<i>Примеч.</i>
<b>Нижняя арматура</b>					
<b>1</b>	<b>ГОСТ 5781-82*</b>	<b>Ø10 А-III</b>	<b>1449</b>	<b>2.21</b>	<b>1986</b>
<b>Верхняя арматура</b>					
<b>1</b>	<b>ГОСТ 5781-82*</b>	<b>Ø10 А-III</b>	<b>554</b>	<b>1.234</b>	<b>644</b>
<b>2</b>	<b>ГОСТ 5781-82*</b>	<b>Ø12 А-III</b>	<b>722</b>	<b>0.99</b>	<b>718</b>

Рис. 3.1.5 Фоновое армирование плиты перекрытия



Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

АСИ256.08.04.01.2017.ВКР

Лист

54

Рис. 3.1.6 Схема верхнего армирования плиты перекрытия

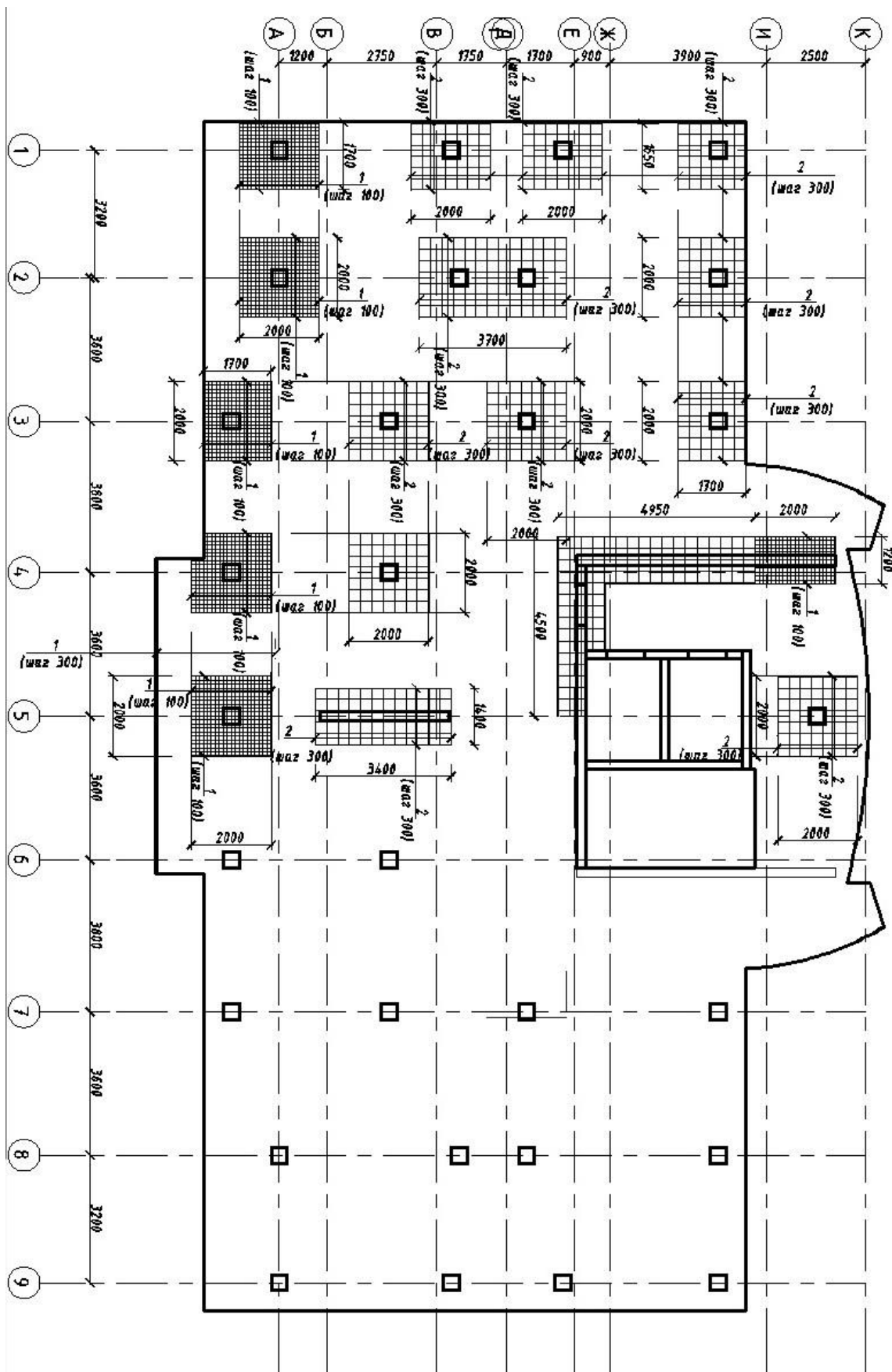


Схема расположения дополнительной верхней арматуры плиты перекрытия

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

АСИ256.08.04.01.2017.ВКР

Лист

55

### 3.2. Сравнение результатов линейного и нелинейного расчета.

По результатам расчета созданы два варианта конструирования плиты. Был произведен экономический подсчет каждого из варианта конструирования плиты перекрытия.

Изменив конструкцию плиты, получаем:

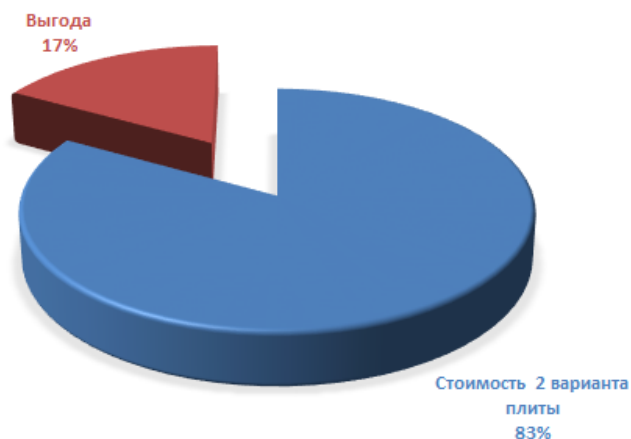
- Уменьшился расход бетона и трудозатраты на изготовление конструкции
- Уменьшили количество арматуры (в кг)
- Учитывая, что уменьшилась высота плиты, уменьшился общий отапливаемый объем, что позволяет сэкономить при эксплуатации здания.
- Уменьшился вес всей конструкции здания (около 400 т), что снижает нагрузку на нижележащие несущие конструкции.



1 вариант при нелинейном расчете

2 вариант при линейно-упругом расчете

### ЭКОНОМИЧЕСКОЕ СРАВНЕНИЕ 2Х ВАРИАНТОВ ПЛИТЫ



Экономическая выгода с 1 плиты перекрытия около 93000 рублей. Расчет производился по приблизительным ценам на материалы, данные цифры могут измениться в зависимости от условий рынка. Данный расчет не включает в себя сравнение трудозатрат на изготовление 2 вариантов конструирования плиты.



### Выводы по главы 3

По результатам нелинейного расчета плиты перекрытия можно сделать следующие выводы:

- Уменьшился расход бетона и трудозатраты на изготовление конструкции
- Уменьшили количество арматуры (в кг)
- Учитывая, что уменьшилась высота плиты, уменьшился общий отапливаемый объем, что позволяет экономить при эксплуатации здания.
- Уменьшился вес всей конструкции здания (около 500т), что снижает нагрузку на нижележащие несущие конструкции.

Экономическая выгода с 1 плиты перекрытия около 93000 рублей. В масштабах дома и жилых комплексов получается значительная экономия, которая окупает все затраты на лицензионное ПО и мощные ПК.

					<i>АСИ256.08.04.01.2017.ВКР</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		58

## Заключение

В данной работе описан процесс создания BIM-модели 16-ти этажного здания, а также процесс конвертации в различные расчетные программные комплексы.

В результате проделанной работы произведен расчет плиты перекрытия в различных программных комплексах. Произведен линейно –упругий расчет в «Лира-САПР» и «Robot structure». Схожесть результатов линейно-упругого расчета позволяет создать единый вариант конструирования плиты.

Также был произведен расчет плиты перекрытия в «Лира-САПР» с учетом нелинейной работы материала. Армирование подбиралось таким образом, чтобы прогибы в плите были максимально близки с прогибам про линейно-упругом расчете. Затем был создан второй вариант конструирования плиты, который оказался экономически более выгодным, нежели первый вариант.

По проделанной работе можно сделать следующие выводы:

- Технология BIM моделирования значительно ускоряет процесс проектирования. Правильно созданную 3D модель можно в дальнейшем использовать во всех стадия строительства.
- Учет нелинейности позволяет изменить конструкцию плиты, уменьшив количество бетона и армирующего материала при одинаковых прогибах в сравнении с линейно-упругим расчетом.
- Экономическая выгода с 1 здания покрывает все расходы на лицензионное программное обеспечение и дорогостоящие персональные компьютеры.
- Линейно-упругий расчет менее трудоемкий, не требует такого количества усилий и времени, как нелинейный.
- При нелинейном расчете уменьшается запас прочности конструкции, что увеличивает цену ошибку проектировщика.

					<i>АСИ256.08.04.01.2017.ВКР</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		59

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. СП 63.13330.2012 Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003 – М.: Стройиздат, 2012. – 156 с.
2. . А.С. Городецкий, И.Д. Евзеров. Компьютерные модели конструкций. - Киев: Факт, 2005г. -344с.
3. П.Ф. Дроздов, М.И. Додонов и др. Проектирование и расчет многоэтажных гражданских зданий и их элементов, Учебное пособие для вузов.- М.: Стройиздат, 1986. -351с.,
4. Жилые и общественные здания: Краткий справочник инженера-конструктора / Ю.А. Дыховичный, В.А. Максименко, А.Н. Кондратьев и др.; Под ред. Ю.А. Дыховичного. — 3-е изд., перераб. и доп. — М.: Стройиздат, 1991. — 656 с
5. ЛИРА – САПР 2011 Учебное пособие Гензерский Ю.В., Медведев Д.В., Палиенко О.И., Титок В.П. – К.: Электронное издание, 2011г., -396с.
6. «Программный комплекс ЛИРА-САПР® 2013. Учебное пособие: Электронное издание» - 2013 год., - 361 стр.
7. СП 20.13330.2016 Нагрузки и воздействия. СНиП 2.01.07-85\* Актуализированная редакция . М.: Стройиздат, 2016, - 104.
8. Байков В.Н. Сигалов Э.Е. Железобетонные конструкции. Общий курс. 5-е изд., перераб. и доп. М.: Стройиздат, 1991.
9. Пособие по проектированию предварительно напряжённых железобетонных конструкций из тяжёлого и лёгкого бетона / ЦНИИпромзданий, НИИЖБ. М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1988.
10. Заикин А.И. Проектирование железобетонных конструкций многоэтажных промышленных зданий: Учеб пособие. М.: АСВ, 2003.-200 с.

					<i>АСИ256.08.04.01.2017.ВКР</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		60

11. Заикин А.И. Железобетонные конструкции одноэтажных промышленных зданий: Учеб. пособие. -М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2004.-272 с.

12. Мандриков А.П. Примеры расчёта железобетонных конструкций: Учеб пособие для строит. техникумов по спец. «Пром. и гражд. ст-во». –М.: Стройиздат, 1979. – 419 с., ил.

13. Железобетонные и каменные конструкции: Учеб. для строит. спец. вузов/ В.М. Бондаренко, Р.О. Бакиров, В.Г. Назаренко, В.И. Римшин; Под ред. В.М. Бондаренко. – 2 – е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 2002.- 876 с.: ил.

					<i>АСИ256.08.04.01.2017.ВКР</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		61