

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации


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

Работа выполнена в СКБ

«Проектирование и информационное моделирование зданий и сооружений»

СОГЛАСОВАНО

Начальник отдела ОНиПКРС


(подпись) Е.М. Димитриади

« 11 » 09 2023 г.

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе


(подпись) А.В. Космынин

« 11 » 09 2023 г.

Декан


(подпись) Н.В. Гринкруг

« 11 » 09 2023 г.

«Расчет строительных конструкций с учетом нелинейной работы»
Комплект проектной документации

Руководитель СКБ


(подпись, дата)

Е.В. Журавлева

Руководитель проекта


(подпись, дата)

Ю.Н. Чудинов

Карточка проекта

Название	Расчет строительных конструкций с учетом нелинейной работы
Тип проекта	Тип проекта: техническое творчество (инициативный)
Исполнители	Студент Ф. Б. Джумаев гр. 8УЗ-1
Срок реализации	сентябрь 2023 – апрель 2024

Исходная информация

Исходные данные	Проектная документация проекта, выполненная по стандартным технологиям проектирования (двумерные чертежи)-архитектурно-строительные чертежи
Типы разрабатываемых информационных моделей	Архитектурная, расчетная
Область использования	Проектирование зданий и сооружений
Регламентирующие документы	Федеральный закон «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» от 30.12.2009 N 384-ФЗ (ред. от 02.07.2013) СП 131.13330.2020 Строительная климатология; СП 118.13330.2012 Общественные здания и сооружения; СП 54.13330.2016 Здания жилые многоквартирные; СП 267.1325800.2016 Здания и комплексы высотные. Правила проектирования; СП 4.13130.2020 Ограничение распространения пожара на объектах защиты. Требования к объёмно-планировочным и конструктивным решениям; СП 22.13330.2011 Основания зданий и сооружений. СП 63.13330.2012 Бетонные и железобетонные конструкции

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

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

ЗАДАНИЕ

на разработку

Название проекта: Расчет строительных конструкций с учетом нелинейной работы.

Назначение: Создание проектной документации на примере проекта 26-этажного многофункционального здания в городе Владивосток в виде архитектурной и расчетной информационных моделей здания, 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

Тип разрабатываемой модели: архитектурная и расчетные модели высотного монолитного железобетонного здания

Применяемые САПР -системы: ПК «REVIT», программа «MathCAD», ПК «САПФИР», ПК «Лира-САПР»

План работ:

Наименование работ	Срок
Разработка архитектурной информационной модели	сентябрь 2023 – декабрь 2023
Разработка расчетной информационной модели	январь 2024 – апрель 2024

Перечень графического материала:

1. План первого этажа;
2. План типового этажа;
3. Разрез 1-1;
4. Фасад 1-18;
5. Фасад А-Э; Фасад Э-А;
6. 3D Модель

Руководитель проекта



(подпись, дата)

Ю.Н. Чудинов

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

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

ПРОЕКТ

Расчет строительных конструкций с учетом нелинейной работы

Руководитель проекта



(подпись, дата)

Ю.Н. Чудинов

Комсомольск-на-Амуре 2024

Содержание

7 Введение.....	6
1 Архитектурно - конструктивный раздел	8
1.1 Общие данные.....	8
1.2 Объемно - планировочное решение.....	8
1.3 Описание конструктивной схемы здания	10
2 Расчетно – конструктивный раздел.....	11
2.1 Общий данный.....	11
2.2 Сбор нагрузок.....	11
2.3 Информационные модель.....	13
3 Расчет строительных конструкций с учетом нелинейной работы.....	15
3.1 Общие сведения о расчёте ж/б конструкции с учётом физической нелинейности.....	15
3.2 Конструктивный расчёт изгибаемых железобетонных элементов по нелинейной деформационной модели в ПК «Лира-САПР».....	20
3.3 Алгоритм расчёта железобетонной плиты в ПК "Лира-САПР" с учётом физической нелинейности.....	24
3.4 Результаты расчёта из ПК ЛИРА-САПР.....	32
3.4.1 Огибающие максимальных напряжений плит перекрытия.....	33

					СКБ ПИМЗиС.1.ТТ.01000000	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист.</i>	<i>№ документа</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата.</i>		6

ВВЕДЕНИЕ

В архитектурной части разработаны планы этажей, разрезы, фасады, 3D, генеральный план, объёмно-планировочные и конструктивные решения, теплотехнический расчёт ограждающих конструкций.

В расчётно-конструктивной части выполнены расчёт каркас здания и фундаменты.

В организационно-технологическом разделе приняты решения об организации работ по возведению здания. Данные решения представлены линейным графиком производства работ на весь период строительства, а также строительным генеральным планом.

В разделе безопасность жизнедеятельности разработаны мероприятия по безопасности труда на рабочем месте.

Так же в экономическом разделе составлены: локальный сметный расчёт, объектный сметный расчёт и сводный сметный расчёт.

					СКБ ПИМЗиС.1.ТТ.01000000	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист.</i>	<i>№ документа</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата.</i>		7

1 Архитектурно - конструктивный раздел

1.1 Общие данные

В данном разделе размещена информация об архитектурных и объёмно планировочных решениях объекта капитального строительства, о функциональной организации, внешнем виде и внутренней отделке помещений.

Раздел разрабатывается в соответствии с:

- СП 20.13330.2016 «Нагрузки и воздействия»;
- СП 63.13330.2018 «Бетонные и железобетонные конструкции»;
- СП 16.13330.2017 «Стальные конструкции»

1.2 Объёмно-планировочное решение

Проектируемое здание имеет техническое помещение, расположенную на отметке 12,6 м и 90,6 м, и 24 этажей офисные помещения, а также 3 этажей подземная парковка рассчитана на 222 машин. Высота технических этажей 2,7м.

Максимальная высота от уровня земли до наивысшей точки здания +96.7 м.

Уровень ответственности здания по ГОСТ 27751-2014 – КС-3 Степень огнестойкости здания – I

Класс конструктивной пожарной опасности – С0 Класс функциональной пожарной опасности – Ф3

Входные группы здания спроектированы в соответствии с СП 59.13330.2016 «Доступность зданий и сооружений для маломобильных групп населения», оборудованы пандусами шириной 1500 мм.

При входе в здание предусмотрены 3 тамбура глубиной 3.75 м.

На первом этаже здания располагаются торговые площади, предназначенные для размещения продовольственных и непродовольственных магазинов с универсальным ассортиментом, что допускается по СП 456.1311500.2020 «Многофункциональные здания».

					СКБ ПИМЗиС.1.ТТ.01000000	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист.</i>	<i>№ документа</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата.</i>		8

На 1 этаже в осях 1 и 21 располагается отдельный вход, предназначенный для офисной части здания. При входе так же предусмотрен тамбур, соответствующий СП 456.1311500.2020.

Через данный вход люди попадают непосредственно в лифтовой холл и лестничную площадку далее при помощи лифтов, оборудованных системой контроля доступа, на нужный этаж офисной части здания.

Ширина лифтового холла составляет 2,5 м., что соответствует требованиям СП 456.1311500.2020. и СП 118.13330.2012.

Сообщение между этажами обеспечивается при помощи 12 лифтов.

Минимальная ширина коридора в пределах 1-25 этажей составляет 1,8 м., что допустимо по требованиям СП 118.13330.2012 «Общественные здания и сооружения» и СП 1.13130.2020 «Системы противопожарной защиты. Эвакуационные пути и выходы».

В соответствии с [10] эвакуация осуществляется по лестнице 1-го типа. Предусмотрено на путях эвакуации размещение тамбур-шлюзов, а при выходе непосредственно наружу из здания тамбуры.

26-ой этаж - технический. На нем расположены: входы в лифтовые шахты, серверная, электрощитов, тепловой и водомерный узлы, технические помещения системы вентиляции и кондиционирования и все необходимое оборудование.

Разработаны подземная парковка. Подземная парковка отвечает требованиям СП 113.13330. Она предусмотрена для работников офисов и посетители к ним и рассчитана на 222 машин: состоит из 3-х уровней, в каждой из которых по 74 парковочных мест (габариты 5,2х2,5м). Въезд на подземные этажи осуществляется через наклонную рампу, шириной 7 м. На первом подземном этаже расположен контрольно-пропускной пункт. Парковка соединена лифтовыми и лестничными узлами с вышележащими этажами для того, чтобы люди могли сразу попасть с парковки на нужную этаж.

					СКБ ПИМЗиС.1.ТТ.01000000	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист.</i>	<i>№ документа</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата.</i>		9

Лестничные клетки, лифты, коридоры обеспечивают необходимые функциональные связи.

Кровля мембранная плоская.

Открытая парковка включает в себя 58 машина мест.

1.3 Описание конструктивной схемы здания

Для здания принята конструктивная решение которые представляет собой полный каркас, что обеспечивает свободу планировки и позволяет по мере надобности реорганизовать внутреннее пространство. Комбинированный свайно-плитный фундамент (КСП) состоит из забивных железобетонных свай 350x350 мм, бетон В25 F150 W12 и железобетонной плиты толщиной 1000 мм бетон В25, F150, W12. Узел стыка свая-фундамент жёсткий, что обеспечивается за счёт выпуска арматуры сваи в фундаментную плиту.

В центре здания располагается монолитный лестнично-лифтовой узел, представленный стенами толщиной 400, 300 мм, который образует центральное ядро жёсткости.

Горизонтальные диски жёсткости представлены плитами перекрытия толщиной 220 мм, бетон В25 F150 W6. Вертикальное сообщение офисных этажей осуществляется посредством лифтов и незадымляемой лестничной клетки типа Н2, общественной части здания посредством незадымляемой лестничной клетки типа Н3.

					СКБ ПИМЗиС.1.ТТ.01000000	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист.</i>	<i>№ документа</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата.</i>		10

2 Расчетно – конструктивный раздел

2.1 Общий данный

В проекте разрабатывается конструктивная схема проектируемого здания и документация марки «КР». Выполняются соответствующие расчеты:

Раздел разрабатывается в соответствии с:

- СП 20.13330.2016 «Нагрузки и воздействия»;
- СП 63.13330.2018 «Бетонные и железобетонные конструкции»;
- СП 16.13330.2017 «Стальные конструкции»

2.2 Сбор нагрузок

Сбор нагрузок на здание представлен в таблице 1

Таблица 1 - Сбор нагрузок

Вид нагрузки	Нормативная нагрузка, кг/м ²	Коэффициент надежности по нагрузке	Расчетная нагрузка кг/м ²
Кровля			
1 Полимерная мембрана «LOGICROOF V-RP FR 2мм» ($\delta = 2$ мм, $\rho = 1800$ кг/м ³)	$0,002 * 1800 = 3,6$ кг/м ²	1,2	4,32
2 ТЕХНОРУФ Н ПРОФКЛИН ($\delta = 250$ мм, $\rho = 130$ кг/м ³)	$0,250 * 130 = 32,5$ кг/м ²	1,2	39
3 Утеплитель ТЕХНОНИКОЛЬ БАЗАЛИТ ПТ-200 ($\delta = 200$ мм, $\rho = 162$ кг/м ³)	$0,20 * 162 = 32,4$ кг/м ²	1,2	38,9
4 Пароизоляционная пленка	$0,002 * 0,08 = 0,00016$ кг/м ²	1,2	0,000192
5 Выравнивающая стяжка ($\delta = 20$ мм, $\rho = 1800$ кг/м ³)	$0,02 * 1800 = 36$ кг/м ²	1,3	46,8
Итого	$g_n = 104,5$		$g = 129$
Пол			
Офисные помещения: 1 Керамогранит ($\delta = 7$ мм, $\rho = 2200$ кг/м ³)	$0,007 * 2200 = 15,4$ кг/м ²	1,2	18,5
2 Выравнивающая стяжка цементно-песчаная ($\delta = 20$ мм, $\rho = 1800$ кг/м ³)	$0,020 * 1800 = 36$ кг/м ²	1,3	46,8

3 Утеплитель ТЕХНОНИ-КОЛЬ БАЗАЛИТ ПТ-200 ($\delta = 50$ мм, $\rho = 162$ кг/м ³)	$0,5 * 162 = 8,1$ кг/м ²	1,2	9,7
Итого	$g_n = 59,5$		$g = 75,0$
Торговые помещения:			
1 Керамическая плитка ($\delta = 8$ мм, $\rho = 850$ кг/м ³)	$0,008 * 850 = 6,8$ кг/м ²	1,2	8,16
2 Выравнивающая стяжка цементно-песчаная ($\delta = 20$ мм, $\rho = 1800$ кг/м ³)	$0,020 * 1800 = 36$ кг/м ²	1,3	46,8
3 Утеплитель ТЕХНОНИ-КОЛЬ БАЗАЛИТ ПТ-200 ($\delta = 50$ мм, $\rho = 162$ кг/м ³)	$0,5 * 162 = 8,1$ кг/м ²	1,2	9,7
Итого	$g_n = 50,9$		$g = 64,7$
Сан. Узлы:			
1 Керамическая плитка ($\delta = 10$ мм, $\rho = 2400$ кг/м ³)	$0,010 * 2400 = 24,0$ кг/м ²	1,1	26,4
2 Плиточный клей			
3 Утеплитель ТЕХНОНИ-КОЛЬ БАЗАЛИТ ПТ-200 ($\delta = 50$ мм, $\rho = 162$ кг/м ³)	$0,5 * 162 = 8,1$ кг/м ²	1,2	9,7
4 Праймер битумный			
5 Выравнивающая стяжка цементно-песчаная ($\delta = 20$ мм, $\rho = 1800$ кг/м ³)	$0,020 * 1800 = 36$ кг/м ²	1,3	46,8
Итого	$g_n = 68,1$		$g = 82,9$
Внутренние стены			
Общественные и жилые помещения:			
Штукатурка $\delta = 10$ мм (1600 кг/м ³)	$1600 * 0,01 = 16$	1,3	20,8
Итого	$g_n = 16$		$g = 20,8$

2.3 Информационные модель

Конструктивные модель из ПК САПФИР



Рисунок 2.3.1 – Общий вид 3D модели высотного здания в САПФИР

					СКБ ПИМЗuС.1.ТТ.01000000	Лист
Изм.	Лист.	№ документа	Подп.	Дата.		13

Конструктивно-аналитическая модель из ПК САПФИР

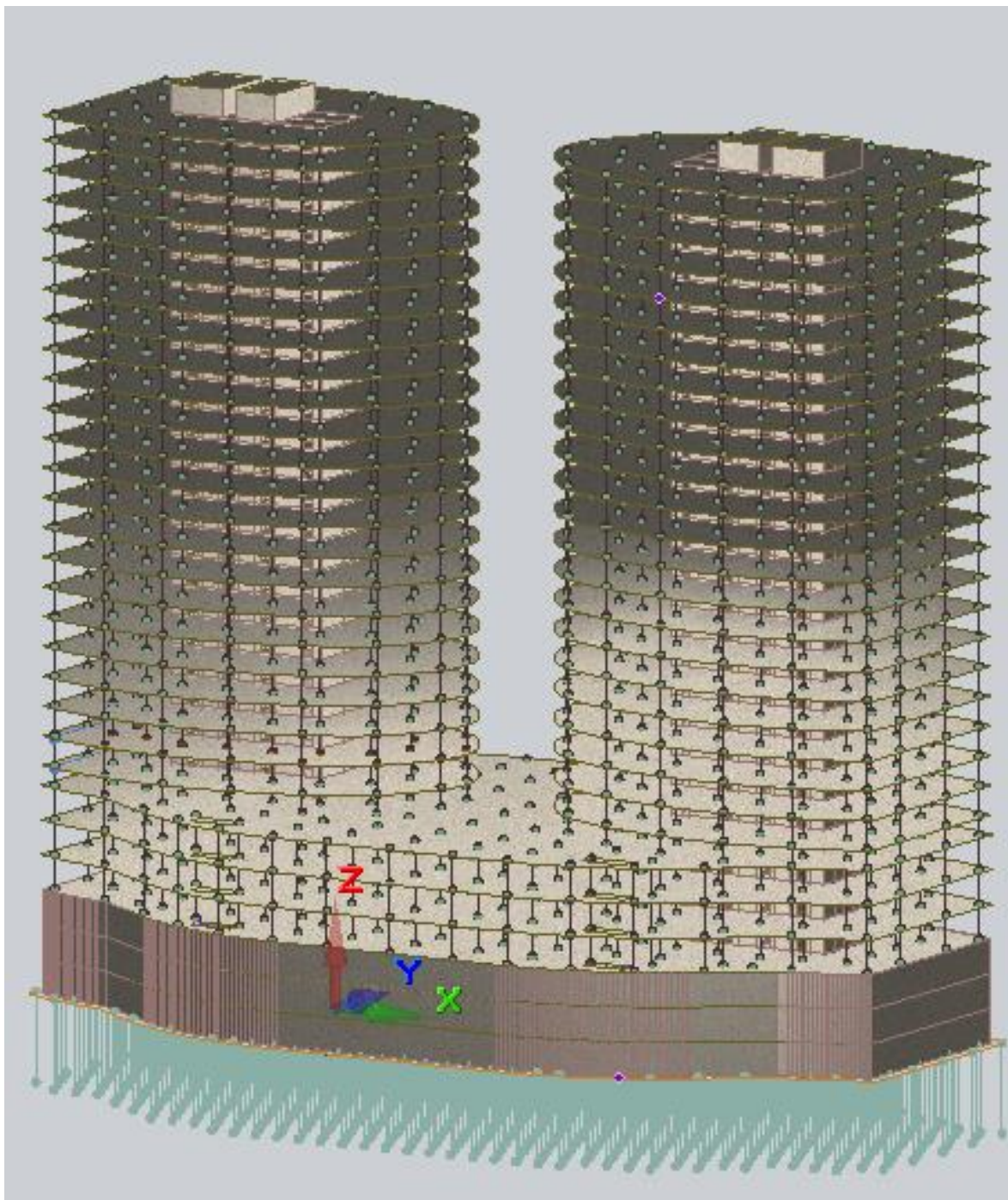


Рисунок 2.3.2 – Общий конструктивно-аналитический вид 3D модели высотного здания в САПФИР

					СКБ ПИМЗиС.1.ТТ.01000000	Лист
Изм.	Лист.	№ документа	Подп.	Дата.		14

3 Расчет строительных конструкций с учетом нелинейной работы

3.1 Общие сведения о расчёте ж/б конструкции с учётом физической нелинейности

Современное строительство характеризуется все большим применением монолитных железобетонных конструкций при возведении зданий и сооружений. Также в крупных городах в условиях плотной застройки наиболее целесообразным является строительство высотных зданий. Получение надежных, эффективных и экономичных проектных решений при учете вышеизложенных обстоятельств становится невозможным без использования расчетных моделей, отображающих реальные свойства объектов и в первую очередь, без учета нелинейности.

Можно выделить четыре основные типа нелинейности, которые учитываются в расчётах несущих строительных конструкций: физическая, геометрическая, конструктивная, генетическая.

Физическая нелинейность определяется нелинейной зависимостью между деформациями и напряжениями. Такая нелинейность особенно характерна для железобетонных конструкций. Приведем основные виды расчетов, в которых по требованиям нормативных документов обязательно должны учитываться нелинейные диаграммы работы бетона и арматуры.

Расчет монолитных железобетонных плит покрытий и перекрытий по второй группе предельных состояний (расчет прогибов и трещин).

					СКБ ПИМЗиС.1.ТТ.01000000	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист.</i>	<i>№ документа</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата.</i>		15



Рисунок 3.1 - Плиты с трещинами

Прогрессирующее обрушение. При выходе из строя одной из основных несущих конструкций нельзя допустить чтобы произошло лавинообразное разрушение объекта. Но если убрать один важный элемент из расчетной схемы здания (как правило, это колонна первого этажа) и попытаться выполнить расчеты в линейной постановке, то однозначно в результате получим неэкономичное решение (большой процент армирования или значительное увеличение сечений элементов). Поэтому для того чтобы вскрыть резервы несущей способности элементов, необходимо учитывать упругопластическую работу железобетона.



Рисунок 3.1.2 - Пример прогрессирующего обрушения

Расчет на контрольное землетрясение (КЗ). Такой вид расчета должен выполняться для особо ответственных зданий сооружений. Помимо того, что

					СКБ ПИМЗиС.1.ТТ.01000000	Лист
Изм.	Лист.	№ документа	Подп.	Дата.		16

такой расчет использует не разложение по формам собственных колебаний, а реальные синтезированные акселерограммы, в нем также в обязательном порядке должны быть учтены физическая нелинейность железобетона.

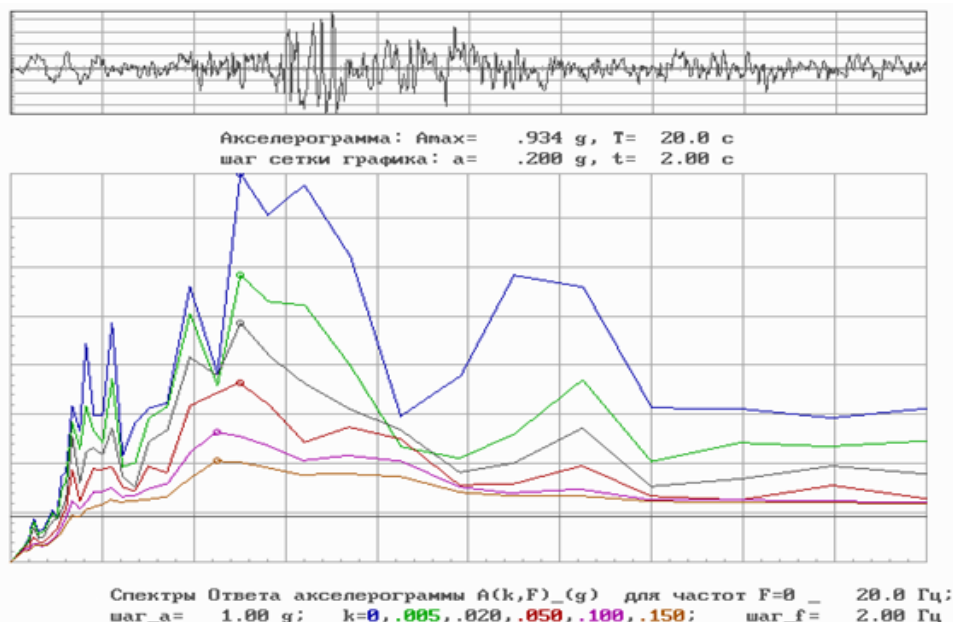


Рисунок 3.1.3 - Спектры ответа акселерограммы

Геометрическая нелинейность определяется нелинейной зависимостью между перемещениями и деформациями. Такая нелинейность будет существенна для объектов, которые в процессе нагружения получают значительные перемещения, величина которых соизмерима с геометрией расчетной схемы. Наиболее характерные случаи такого типа нелинейности.

1. *Мачты и башни.* Такие сооружения имеют большую высоту, и вследствие этого факта, а также того, что они часто изготавливаются из металлических конструкций рассчитываются по деформированной схеме.

2. *Вантовые конструкции.* Одна из особенностей вантовых конструкций заключается в том, что они обычно работают только на растяжение. При этом допускаются значительные прогибы и как следствие, расчет вантовых конструкций практически всегда ведется с учетом геометрической нелинейности.

Конструктивная нелинейность характеризуется изменением расчетной схемы в процессе нагружения. По мере роста нагрузки из работы могут исключаться или наоборот включаться отдельные элементы или связи. Также типичным примером такой нелинейности является изменение жесткости связей в зависимости от достигнутого уровня напряженно-деформированного состояния. Самым часто встречающимся на практике случаем конструктивно-нелинейного расчета является *расчет здания или сооружения совместно с основанием*.

Генетическая нелинейность учитывает накопление напряжений и деформаций в процессе строительства сложного объекта. На практике такой расчет обычно выполняется для высотных зданий из монолитного железобетона. При этом на разных этапах строительства могут быть учтены следующие факторы: различные расчетные схемы, постепенное нарастание прочности бетона (переменный модуль упругости), временные монтажные нагрузки.

Из всех вышеперечисленных типов нелинейностей с практической точки зрения, конечно, является физическая нелинейность железобетона. Ее учет может быть выполнен четырьмя основными методами.

1. Использование пониженных модулей упругости бетона. Для более точной оценки распределительных свойств железобетона нормы рекомендуют в поверочном расчете использовать модули упругости с понижающими коэффициентами равными 0,6 - для вертикальных элементов, 0,3 – для горизонтальных элементов (плит перекрытия и покрытия).

2. Инженерная нелинейность. Приближенный способ учета физической нелинейности, когда переменные параметры жесткости задаются для отдельных конечных элементов.

3. Использование реальных диаграмм деформирования бетона и арматуры. Для арматуры согласно СП ЖБК принимается билинейная диаграмма работы (диаграмма Прандтля). Для бетона в зависимости от вида расчета принимается или билинейная, или трехлинейная диаграмма.

					СКБ ПИМЗиС.1.ТТ.01000000	Лист
Изм.	Лист.	№ документа	Подп.	Дата.		18

Ниже на рисунке приведём пример задания реальных диаграмм материалов в ПК «Лира-САПР».

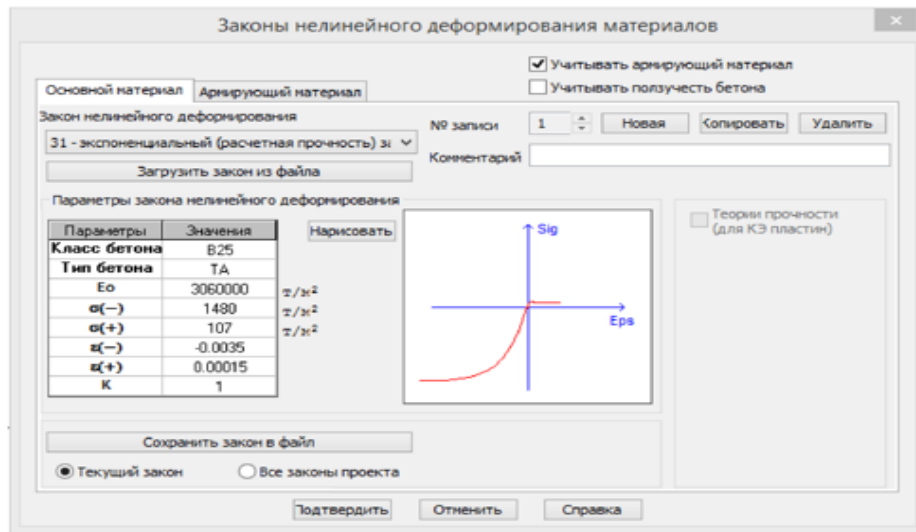


Рисунок 3.1.4 – Параметры бетона из стандартной библиотеки ПК «Лира-САПР»

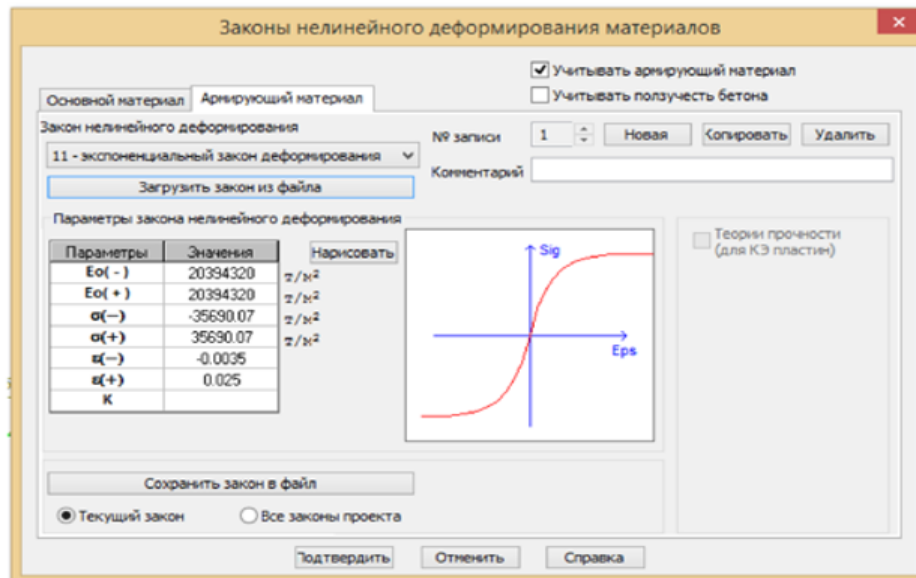


Рисунок 3.1.5 – Параметры арматуры

3.2 Конструктивный расчет изгибаемых железобетонных элементов по нелинейной деформационной модели в ПК «Ли́ра-САПР»

Инженерные расчеты по прочности железобетонных элементов, как правило, выполняются с использованием уравнений для предельных состояний материалов. При этом принимаются три основные упрощающие гипотезы для бетона:

1. Работа растянутого бетона в расчетах на прочность не учитывается.
2. Напряжение в сжатом бетоне в предельном состоянии принимают равным расчетному сопротивлению R_b .
3. Фактическая криволинейная эпюра напряжений в сжатом бетоне принимается прямоугольной, а фактическая высота сжатой зоны бетона уменьшается на 20 %.

В результате мы имеем расчетную схему для железобетонного изгибаемого элемента с одиночным армированием (рис. 3.2.1).

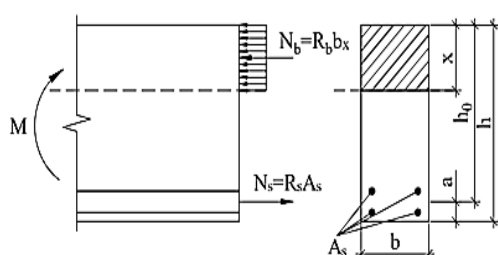


Рис. 3.2.1 Схема усилий при расчете прочности по нормальным сечениям элементов прямоугольного профиля с одиночным армированием

Именно по такой расчетной схеме студентов учат в вузах решать задачи по подбору и проверке армирования железобетонных элементов.

В то же время основной нормативный документ по проектированию железобетонных конструкций [2] рекомендует выполнять конструктивные расчеты на основе нелинейной деформационной модели (НДМ), а расчеты на основе предельных усилий только допускает.

Программный комплекс «Ли́ра-САПР» выполняет конструктивный расчет согласно рекомендациям СП [2], как раз на основе НДМ. Ниже на рис. 3.2.2, а – б приведены диаграммы работы сжатого бетона, которые использует

ПК «Ли́ра-САПР». На этом же рис. 3.2.2, в также приведен фрагмент диалогового окна задания материалов для бетона в ПК «Ли́ра-САПР».

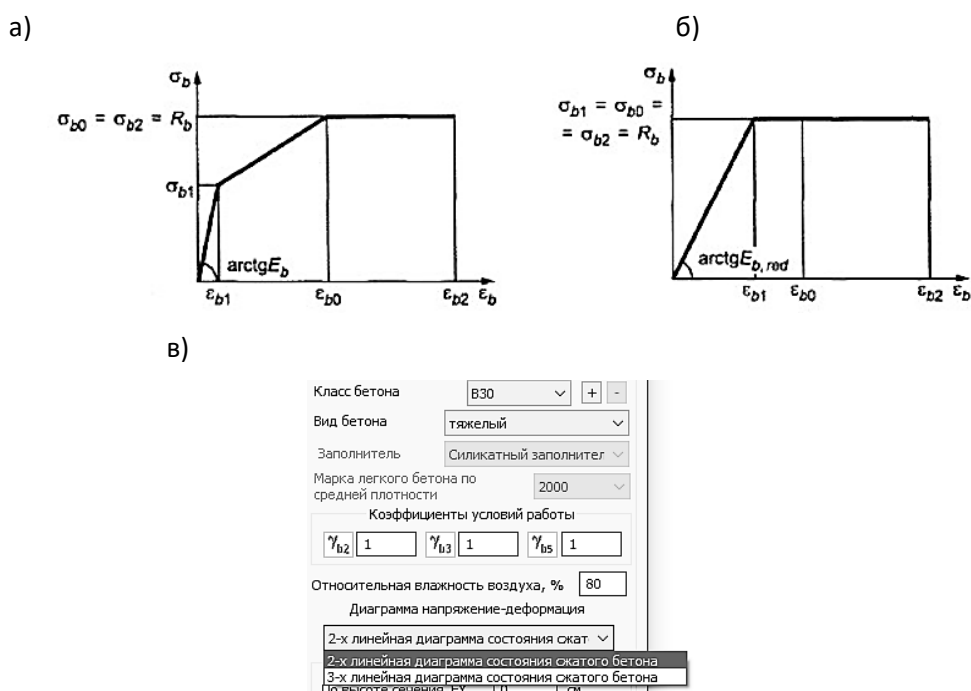


Рис. 3.2.2 Диаграммы состояния сжатого бетона: а – трехлинейная диаграмма; б – двухлинейная диаграмма; в – выбор диаграммы сжатого бетона в ПК «Ли́ра-САПР»

То есть в отличие от расчета по предельным состояниям в НДМ напряжения в сжатом бетоне меняются по высоте. Поэтому при использовании НДМ для нахождения итоговых сжимающих усилий в бетоне для большинства типов задач приходится дробить сечение элемента на отдельные полосы (признак расчетных схем 2, 3) или прямоугольники (признак расчетных схем 4, 5, 6).

На рис. 3.2.3 показаны способы дробления сечения в зависимости от признака расчетной схемы.

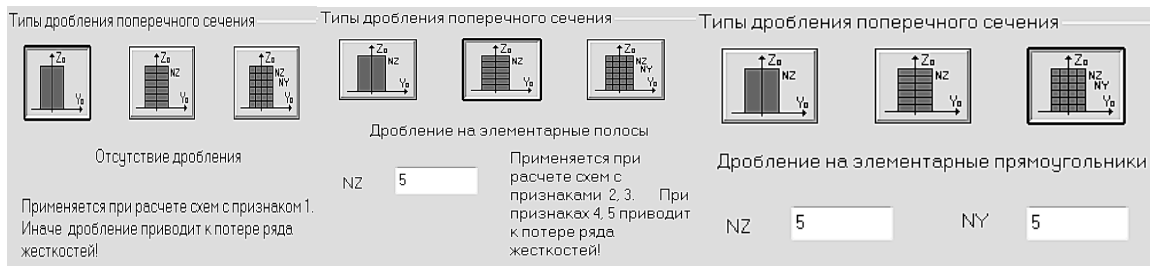


Рис. 3.2.3 Способы дробления сечения

Суммарное усилие в сжатом бетоне находится путем численного интегрирования – суммированием элементарных напряжений, действующих по элементарным площадкам, выделенным в расчетном сечении.

Для наглядного представления о нелинейном характере работы железобетона приведем результаты нелинейного расчета рамы типового этажа из пособия [12] (рис. 3.2.4).

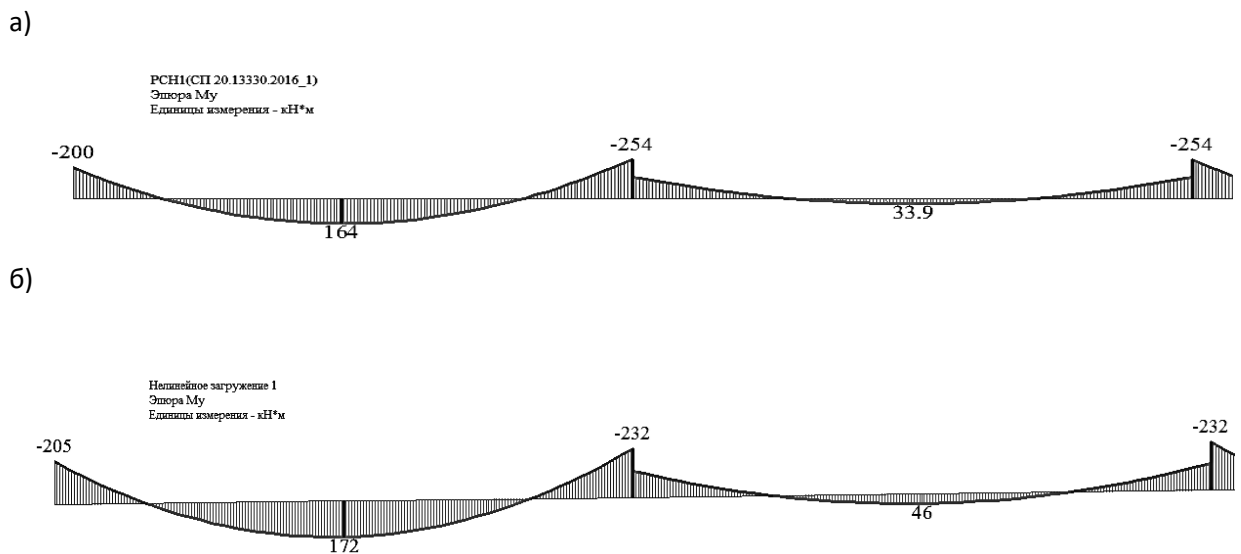


Рис. 3.2.4 Эпюры изгибающих моментов в ригеле от сочетания нагрузок 1 + 2: а – линейный расчет; б – нелинейный расчет

При учете нелинейной работы материала произошло перераспределение усилий. Опорные моменты уменьшились, а пролетные – увеличились. Приведем ниже характер распределения напряжений по высоте сечения для различных участков ригеля (рис. 3.2.5).

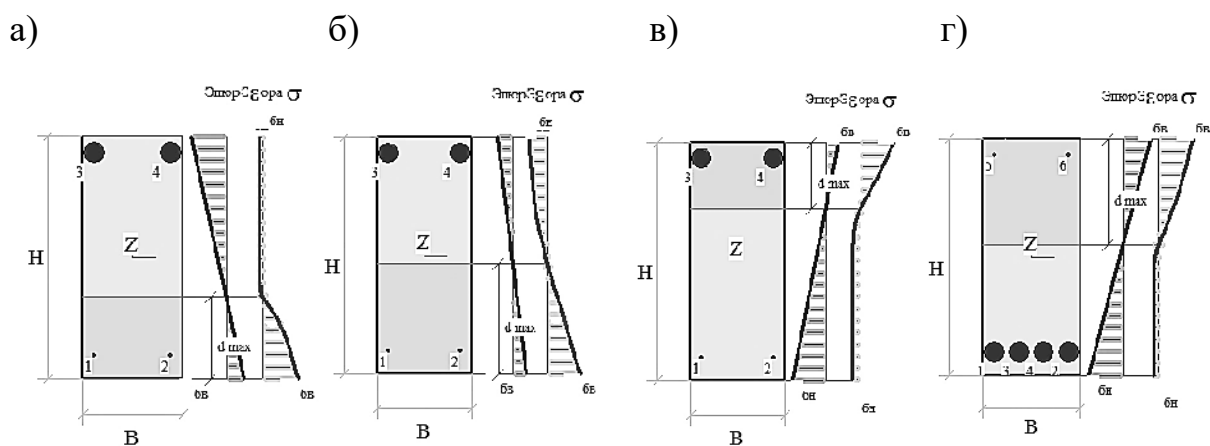


Рис. 3.2.5 Распределение напряжений по высоте сечения:

$$а - x = 0; б - x = L/8; в - x = L/4; г - x = L/2$$

Как мы видим, распределение напряжений по высоте сечения имеет нелинейный характер. На левой опоре максимальные сжимающие напряжения возникают в нижней зоне. В следующем сечении ($x = L/8$) эпюра сжатого бетона имеет уже треугольный характер за счет понижения расчетного изгибающего момента. Далее меняются знаки отдельных участков эпюр: сжата уже верхняя зона, и эпюра имеет треугольный вид. А в центре пролета, где возникает максимальный изгибающий момент, растягивающий нижние волокна, эпюра напряжений в сжатом бетоне имеет нелинейный характер.

Вышеприведенные результаты нелинейного расчета в ПК «Ли́ра-САПР» определяют фактическое НДС в каждом расчетном сечении. При этом, как видим, сечения работают на разных стадиях НДС.

При линейном расчете основная задача другая. Для сечений, в которых возникают основные расчетные усилия, необходимо найти сечение продольной рабочей арматуры в предположении наступления в нем 3-й стадии НДС. Первоначально решается задача подбора сечения с одиночным армированием и рассматривается только пластический вариант разрушения железобетона. При этом максимальное напряжение в сжатом бетоне и напряжение в растяну-

той арматуре равны расчетным сопротивлениям материалов. Если же в результате расчета получается хрупкий вариант разрушения (напряжение в растянутой арматуре не достигает предела текучести), то ПК «Лира-САПР» выполняет расчет сечения с двойным армированием.

Практические расчеты показывают, что конструктивные расчеты изгибаемых элементов по методу предельных состояний и НДМ дают в большинстве случаев хорошую сходимость. Это мы увидим и в дальнейших примерах параллельных расчетов плит, ригеля, фундамента в программе MathCAD и ПК «Лира-САПР». Сложнее получить сходимость конструктивных аналитических и численных решений для сжатых железобетонных элементов. ПК «Лира-САПР» во всех случаях выполняет подбор армирования сжатых элементов для случая косоугольного внецентренного сжатия. Тогда как аналитические допускают использование упрощенных методик расчета (например, для центрально-сжатых железобетонных элементов).

3.3 Алгоритм расчета железобетонной плиты в ПК "Лира-САПР" с учетом физической нелинейности

Распишем пункты алгоритма корректировки линейной модели плиты, конечной целью которого является получение расчетного файла для выполнения физически нелинейного расчета железобетонной плиты. Информацию об особенностях расчета строительных конструкций в нелинейной постановке можно найти в монографии [3]. Исходную плиту можно удалить из файла, далее мы работаем с плитой, для которой задан второй вариант расчета.



Порядок корректировки модели следующий:

1. *Корректировка в материалах вида расчета* – замена вида

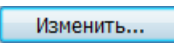
Плита (Изгиб) на Оболочка (Изгиб, Сжатие/Р);

2. *Проверка в материалах отметки требования* – «Расчет по предельным состояниям второй группы»;

3. *Смена типа конечного №11 (плита) на КЭ №241* (физически нелинейный универсальный прямоугольный КЭ оболочки). Для этого выделим все

элементы плиты и перейдем далее на закладку «Пластины» (она появляется на экране, как только выделяется хотя бы один пластинчатый элемент). Далее щелчком мыши по пиктограмме  «Смена типа КЭ» откроем соответствующее окно. Найдем в списке **искомый тип КЭ** Тип 41 - универсальный прямоугольный КЭ оболочки, выделим этот тип и применим команду  ;

4. *Корректировка жесткости элементов включает в себя целый ряд операций.*

4.1. *Задание учета нелинейности жесткости пластины.* Откроем окно «Жесткости и материалы» и нажав на пиктограмму  «Изменить...» перейдем в редактирование ранее созданной линейной жесткости пластины. Отметим опцию «Учет нелинейности» (рис. 3.11). Автоматически меняется вид окна – исчезает поле для модуля упругости и становятся активными пиктограммы задания параметров материалов и типа армирования.

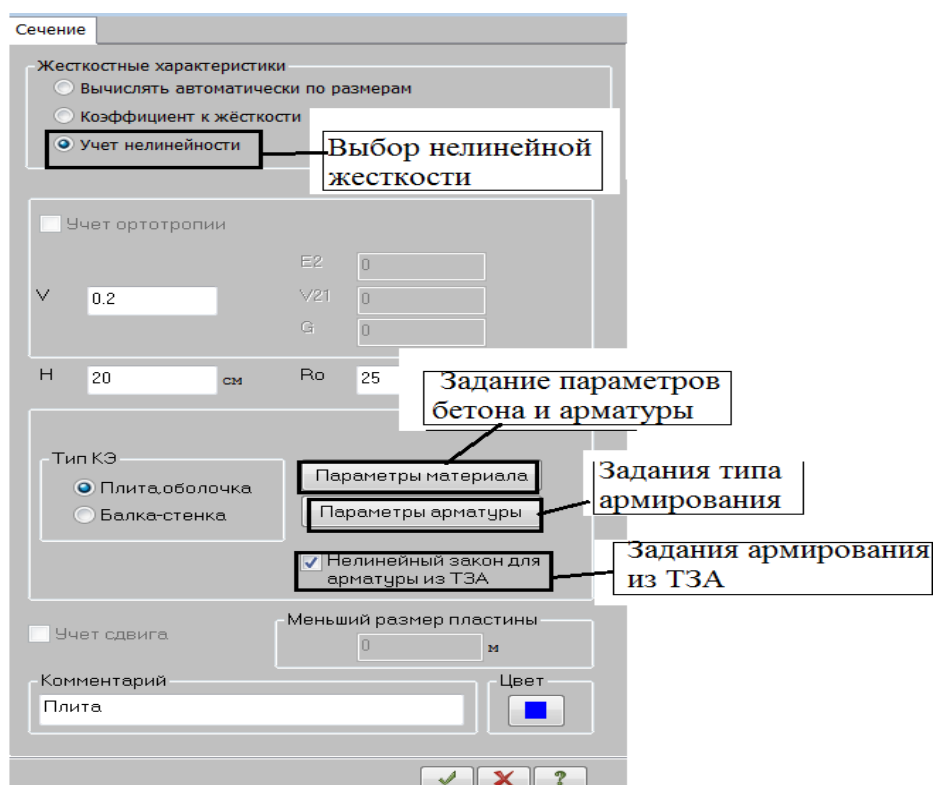


Рис. 3.3. Окно задания параметров нелинейной жесткости

4.2. Задание армирование элементов в нелинейном расчете.

Может быть выполнено двумя способами.

Первый вариант. Нажимаем на пиктограмму «Параметры армирования» (рис. 3.3) и в открывшемся окне «Типы арматурных включений» (рис. 3.3.1) вручную задаем армирование, не связанное с ранее заданными ТЗА на элементы.

Второй вариант. Отметим в окне задания параметров нелинейной жесткости (рис. 3.3.1) опцию «Нелинейный закон для арматуры из ТЗА». Фактически это будет означать, армирование из ТЗА автоматически применится к новой нелинейной задаче. В данном примере мы так и сделаем.

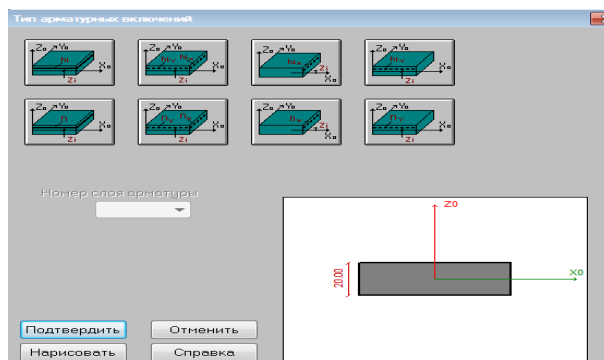


Рис. 3.3.1 Типы арматурных включений

4.3. Задание нелинейного закона для бетона. Нажимаем на пиктограмму «Параметры материала» и в открывшемся окне задаем основные параметры зависимости «Напряжения-деформации»: закон деформирования, класс бетона, вид твердения, начальный модуль упругости, предельные напряжения и деформации (рис. 3.3.2).

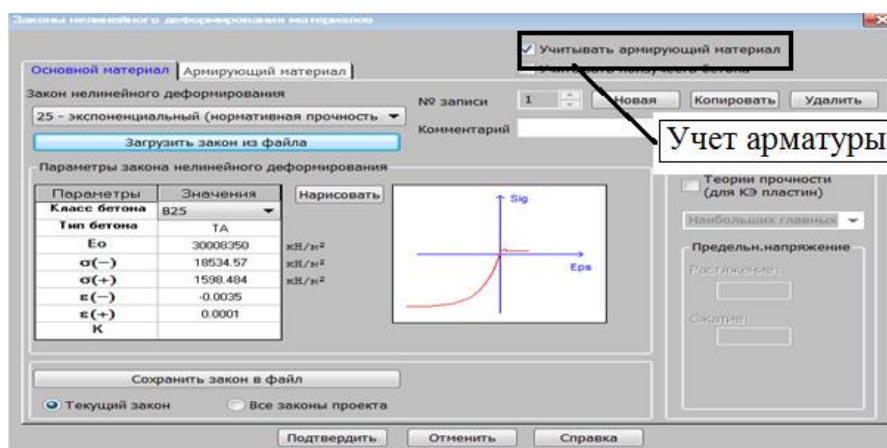


Рис. 3.3.2. Диаграмма работы бетона класса В25 (25 закон)

Поясним также, почему ранее исчезло поле для задания начального модуля упругости бетона для нелинейной жесткости (рис. 3.3.2). Очевидно, что для нелинейной зависимости модуль упругости будет переменной величиной, которая будет уменьшаться по мере загрузки конструкции. Геометрическая интерпретация модуля упругости для конкретной точки (деформации) – это тангенс угла наклона касательной к зависимости «Напряжения-деформации». При разрушении элемента модуль упругости равен нулю – касательная к графику представляет собой горизонтальную линию.

4.4. *Учет армирующего материала.* Если не отметить опцию «Учитывать армирующий материал» (рис. 5.8), то программа выполнит расчет бетонной плиты, которая, конечно, разрушится даже от самой маленькой нагрузки. Поэтому мы, конечно, эту опцию активируем и перейдя на появившуюся новую закладку «Армирующий материал» введем в ней данные для арматуры класса А400: закон деформирования, класс арматуры, начальные модуль упругости, предельные напряжения и деформации (рис. 3.3.3).

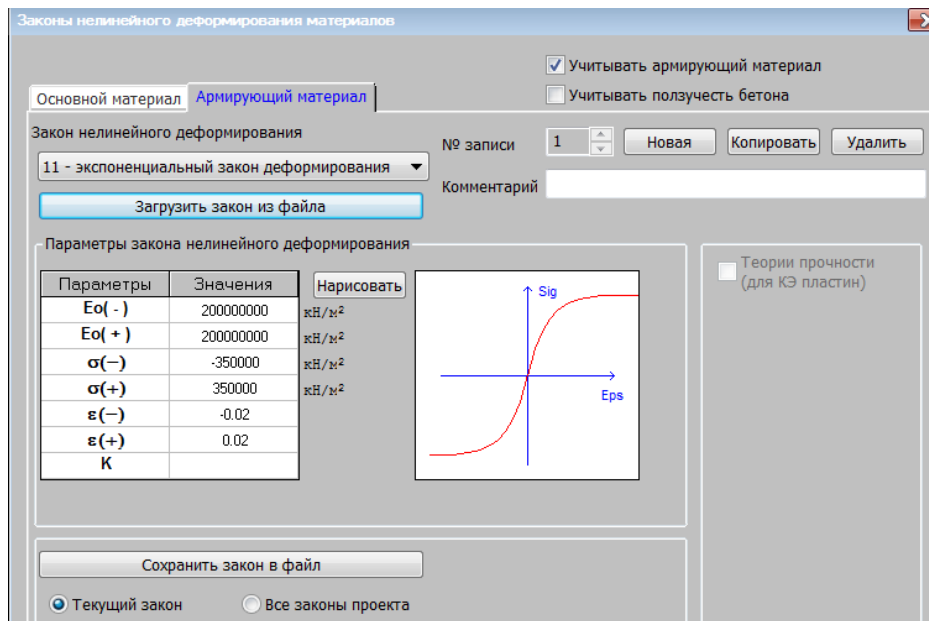


Рис. 3.3.3 Диаграмма работы арматуры класса А400 (11 закон)

В учебном примере мы не будем учитывать ползучесть бетона – способность бетона к увеличению деформаций без изменения внешней нагрузки. Но в реальных расчетах железобетонных конструкций это свойство бетона необходимо обязательно учитывать при расчете по второй группе предельных состояний.

Подтвердим все выполненные изменения в окнах задания параметров исходных данных и перейдем к заданию параметров нелинейного расчета.

5. *Задание параметров нелинейного расчета.* Перейдем на закладку «Расчет» и на панели «Нелинейность» нажмем на пиктограмму «Шаговая» (рис. 3.3.4).

В открывшемся окне «Моделирование нелинейных загрузений конструкции» (рис. 3.3.5) добавим первое постоянное загрузение и зададим для него параметры расчета: номер загрузения, шаговый метод расчета, количество шагов, параметры печати и вывода промежуточных результатов. Далее добавим в таблицу второе кратковременное загрузение. Для него

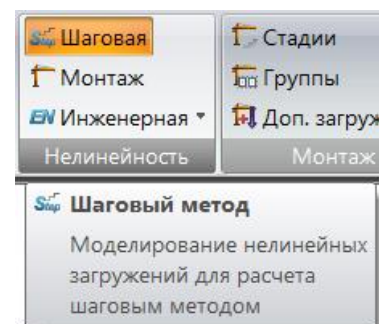


Рис. 3.3.4 Пиктограмма «Шаговая»

по PCY не работает при нелинейных расчетах!

7. Шаговый метод расчета. Это означает, что отдельные загрузки не сразу целиком прикладываются на конструкции, а разбиваются на отдельные ступени (шаги), которых мы задали 10 в нашем примере. На каждом шаге для достижения сходимости расчетов выполняется максимум 300 итераций (попыток). Наглядная интерпретация шагового метода приведена ниже на рисунке 3.3.6

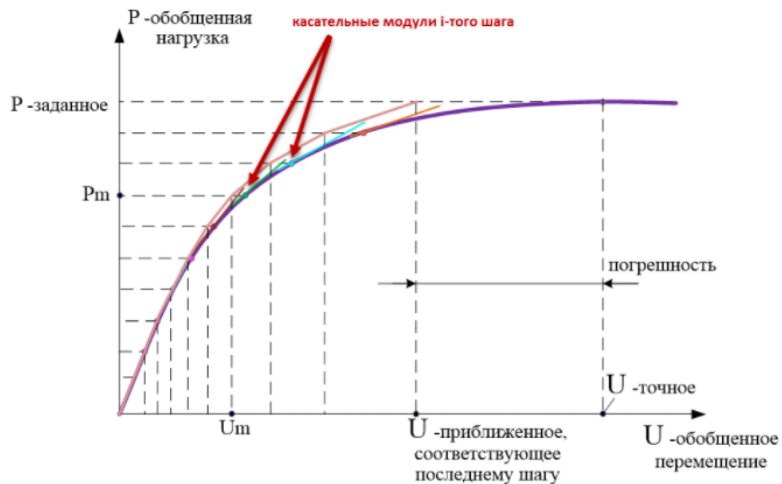
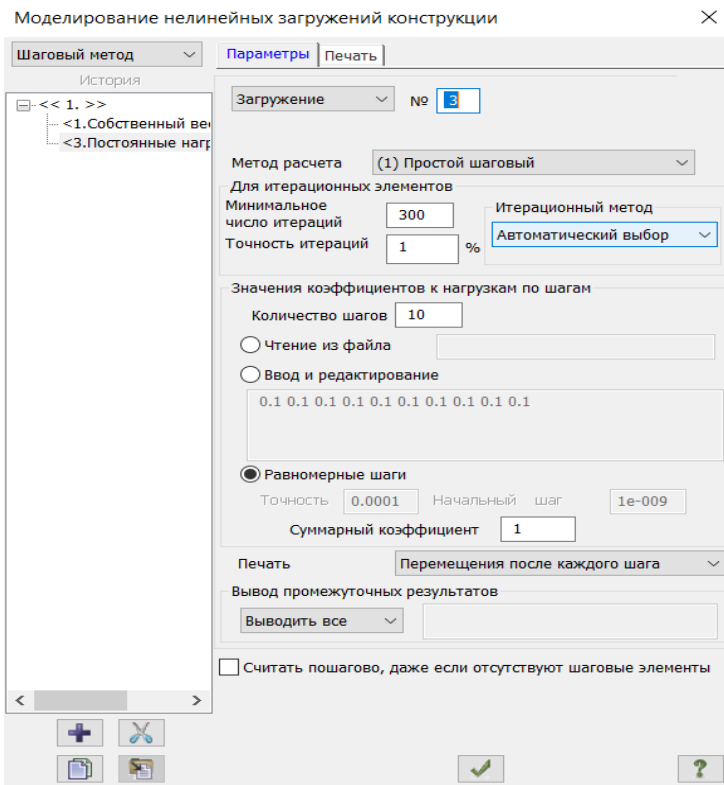


Рис. 3.3.6 Шаговый метод расчёта



8. *Суммарный коэффициент равный единице.* Это означает, что на плиту в итоге будет приложена такая же по значению нагрузка, как и для линейного расчета. Если бы мы задали этот коэффициент равный 2 для кратковременного нагружения, то программа, соответственно, нагрузила бы плиту нагрузкой в два раза больше, чем она изначально была задана. В каких расчетах такая опция может пригодиться? Например, в расчетах при определении разрушающей нагрузки. Пользователь задает суммарный коэффициент, который точно выведет нашу конструкцию на стадию разрушения, а программа путем выполнения последовательных шагов (итераций) находит значение фактической разрушающей нагрузки.

9. *Параметры печати и вывода промежуточных результатов.* Для анализа не только окончательных, но и промежуточных результатов мы выставаем опции «Перемещения и усилия после каждого шага». Это позволяет нам получить полную картину напряжённо-деформированного состояния плиты на каждом шаге ее нагружения. Если на начальных этапах усилия и перемещения растут практически линейно, то по мере нагружения происходит перераспределение усилий, и результаты расчётов кардинально отличаются от линейного расчёта.

Так как расчет вес зданий в ПК ЛИРА-САПР требует значительно много времени, поэтому мы решили выполнить расчет перекрытия одного типового этажа.

					СКБ ПИМЗиС.1.ТТ.01000000	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист.</i>	<i>№ документа</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата.</i>		31

3.4 Результаты расчёта из ПК ЛИРА-САПР

Нелинейное нагружение 1
Мозаика перемещений по Z(G)
Единицы измерения - мм

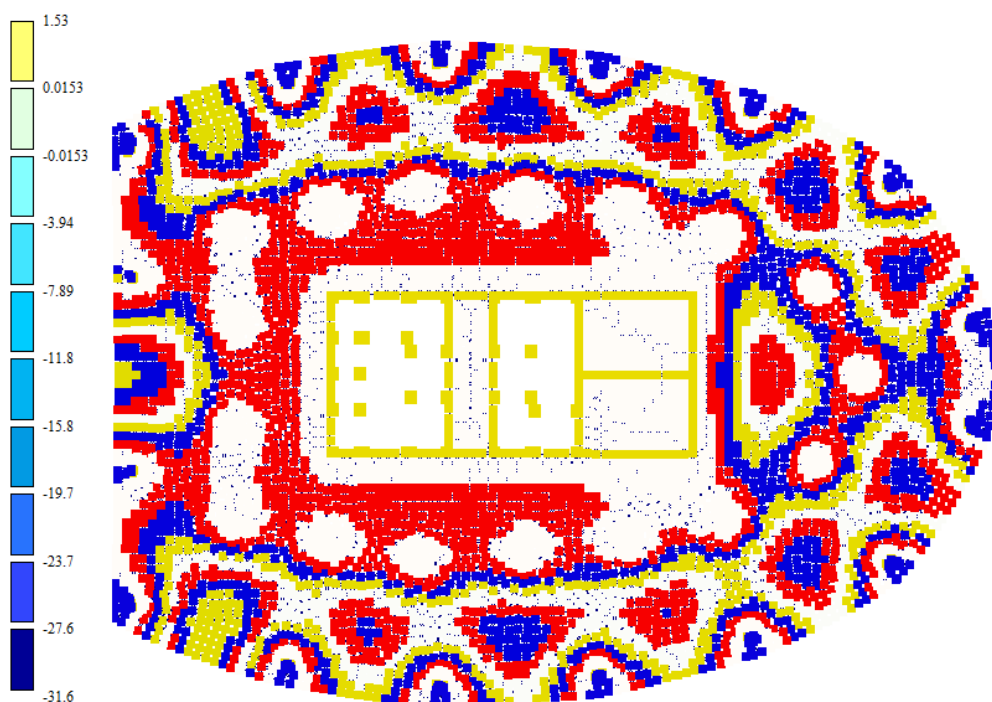


Рисунок 3.4-мозаика перемещений по Z с учётом физической нелинейности

Собственный вес
Мозаика перемещений по Z(G)
Единицы измерения - мм

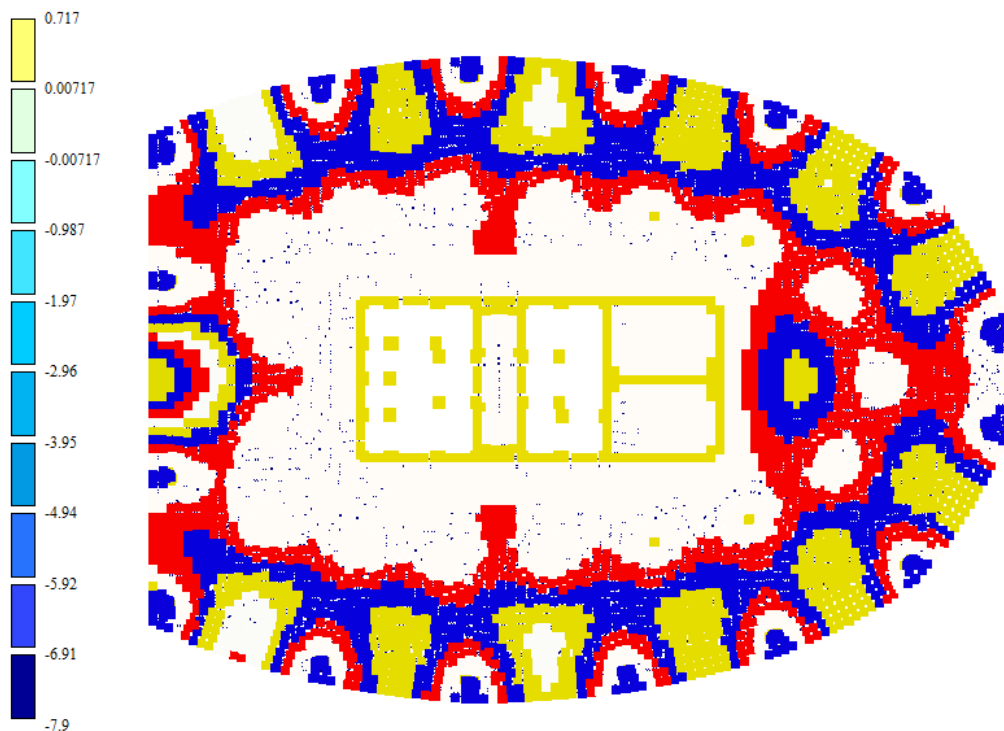


Рисунок 3.4.1-мозаика перемещений по Z без учёта физической нелинейности

3.4.1 Огибающие максимальных напряжений плит перекрытия

Нелинейное нагружение 1
 Мозаика напряжений по Mx
 Единицы измерения - (кН*м)/м

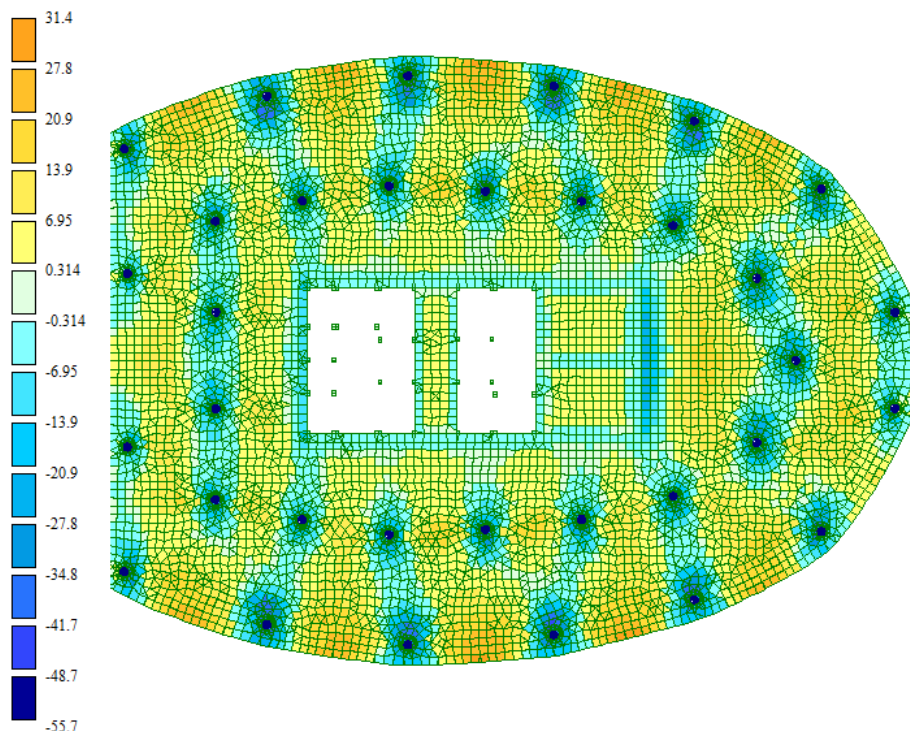


Рисунок 3.4.1.1-мозаика напряжений по Mx с учётом физической нелинейности

РСУ расчетные. Огибающая максимальных значений (Таблица Импорт из САПФИР:СП 20.13330.2016 (РФ) (по умолчанию))
 Мозаика напряжений по Mx
 Единицы измерения - (кН*м)/м

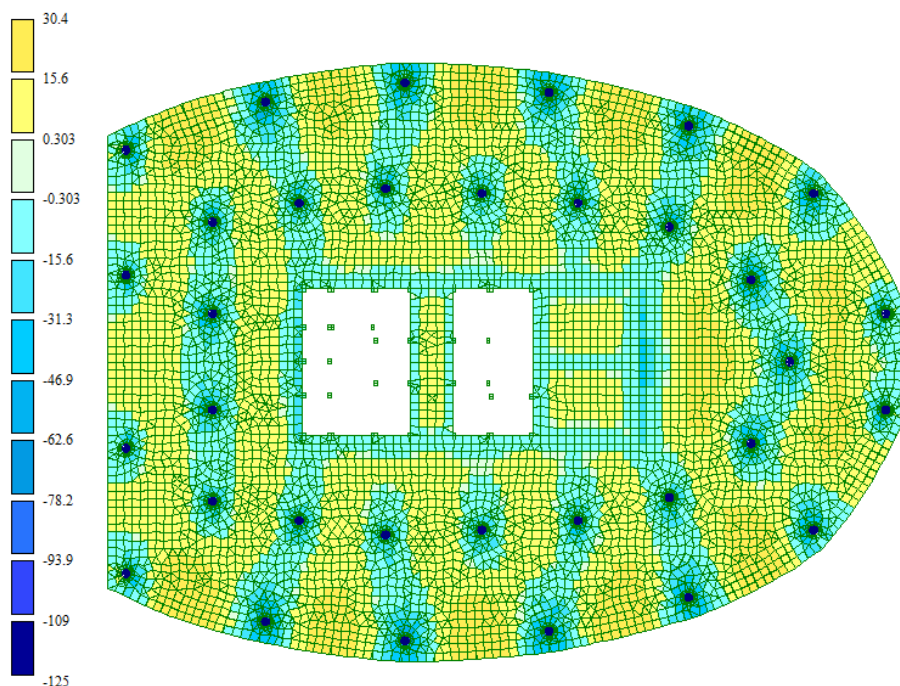


Рисунок 3.4.1.2-мозаика напряжений по Mx без учёта физической нелинейности

Нелинейное нагружение 1
 Мозаика напряжений по M_y
 Единицы измерения - (кН*м)/м

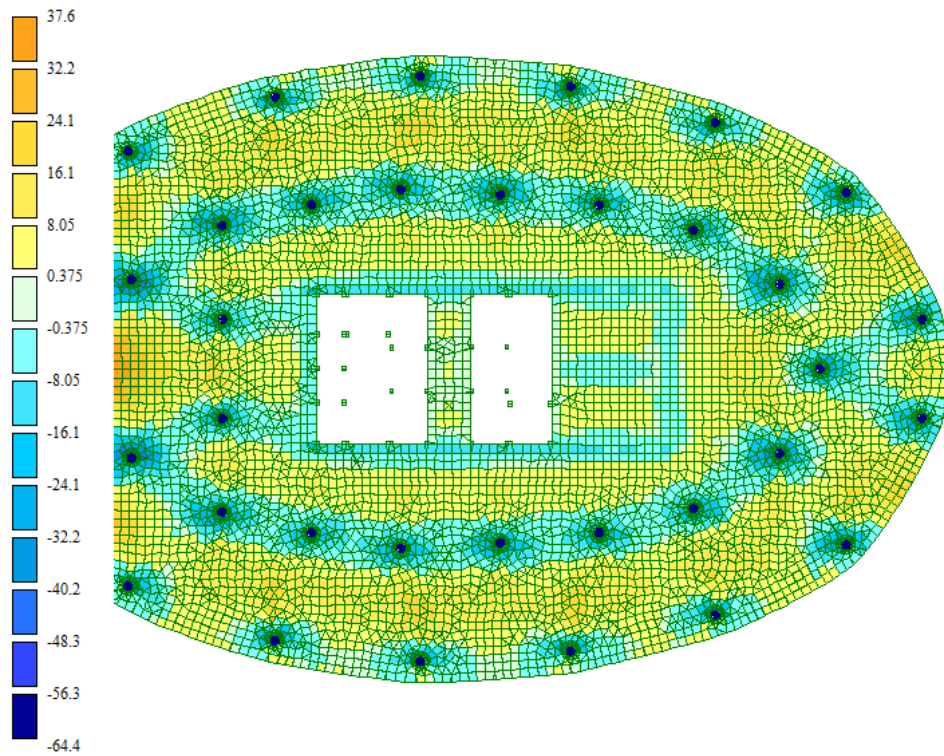


Рисунок 3.4.1.3-мозаика напряжений по M_y с учётом физической нелинейности

PCU расчетные. Огибающая максимальных значений (Таблица Импорт из САПФИР:СП 20.13330.2016 (РФ) (по умолчанию))
 Мозаика напряжений по M_y
 Единицы измерения - (кН*м)/м

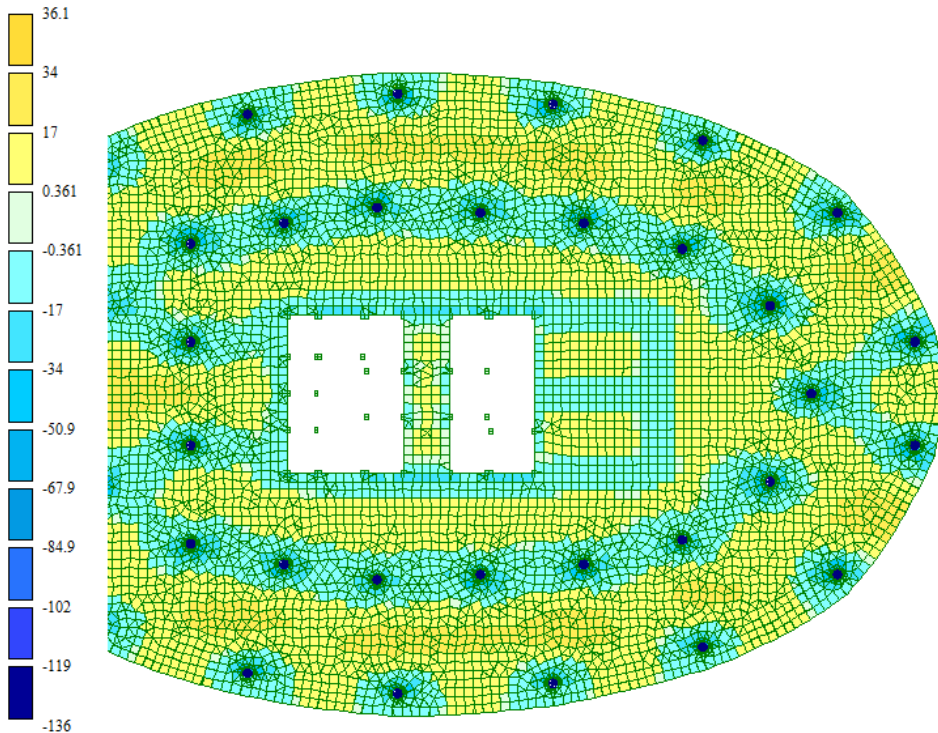


Рисунок 3.4.1.4-мозаика напряжений по M_y без учёта физической нелинейности

Мозаика напряжений по Мх (Собственный вес)

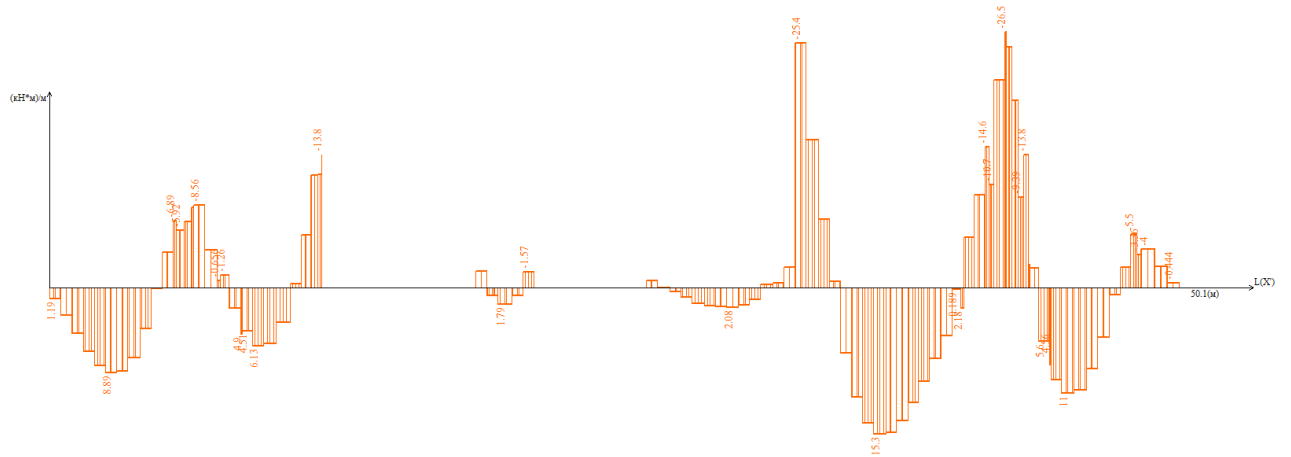


Рисунок 3.4.1.4 - Эпюры моментов по Мх с учётом физической нелинейности

Мозаика напряжений по Мх(PCY расчетные Огибающая максимальных значений)

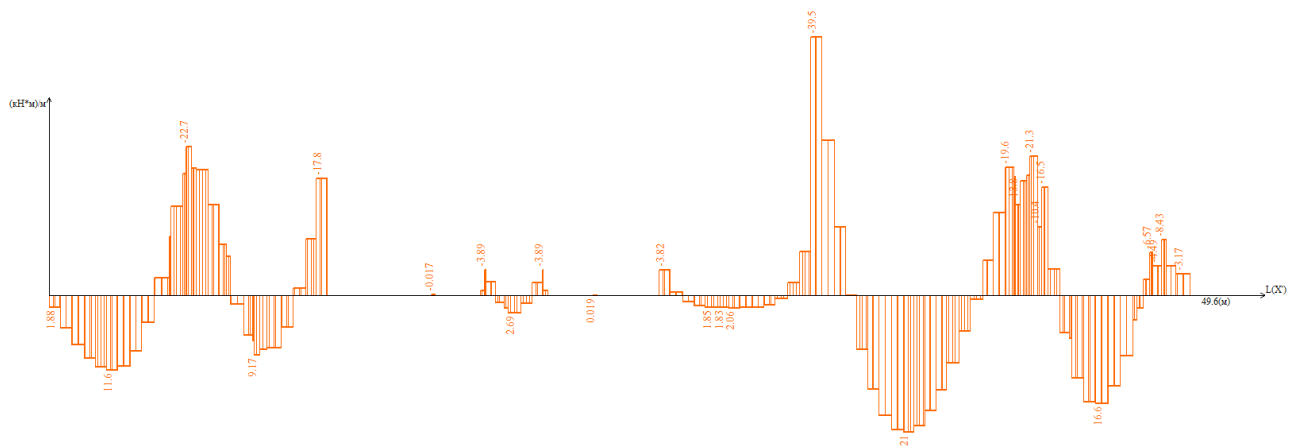


Рисунок 3.4.1.5 - Эпюры моментов по Мх без учёта физической нелинейности

Нелинейное нагружение 1
Трещины
Нижний слой

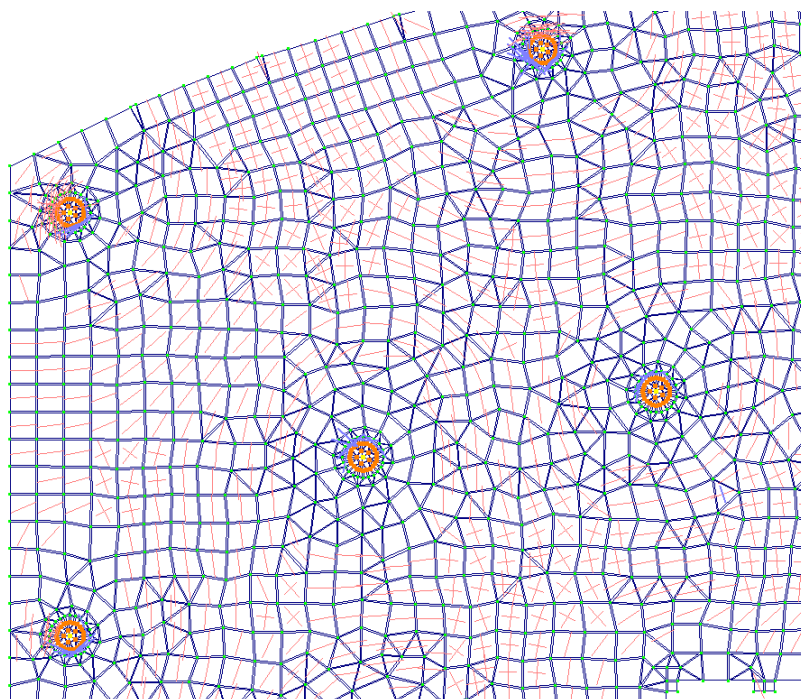


Рисунок 3.4.1.8 - Направление трещин в нижний слой с физической нелинейности

Нелинейное нагружение 1
Трещины
Верхний слой

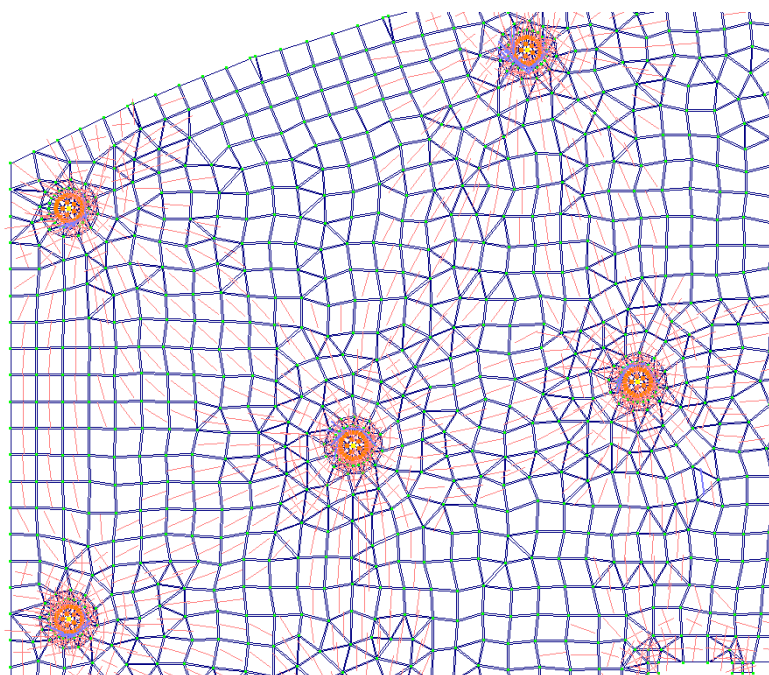


Рисунок 3.4.1.9 - Направление трещин в верхний слой с физической нелинейности

Нелинейное нагружение 1
 Глубина раскрытия трещин
 Верхний слой
 Единицы измерения - см

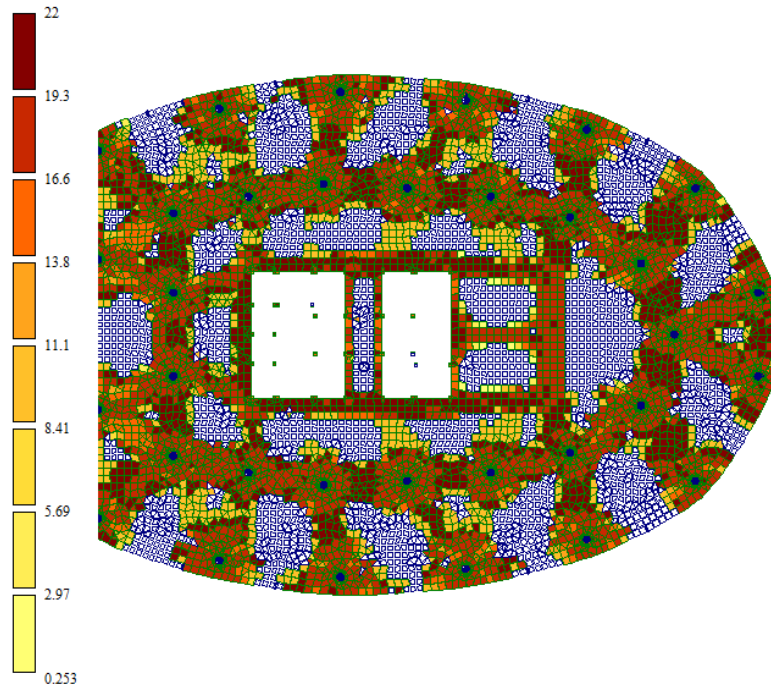


Рисунок 3.4.1.10 - Глубина раскрытия трещин в верхней слой

Нелинейное нагружение 1
 Глубина раскрытия трещин
 Нижний слой
 Единицы измерения - см

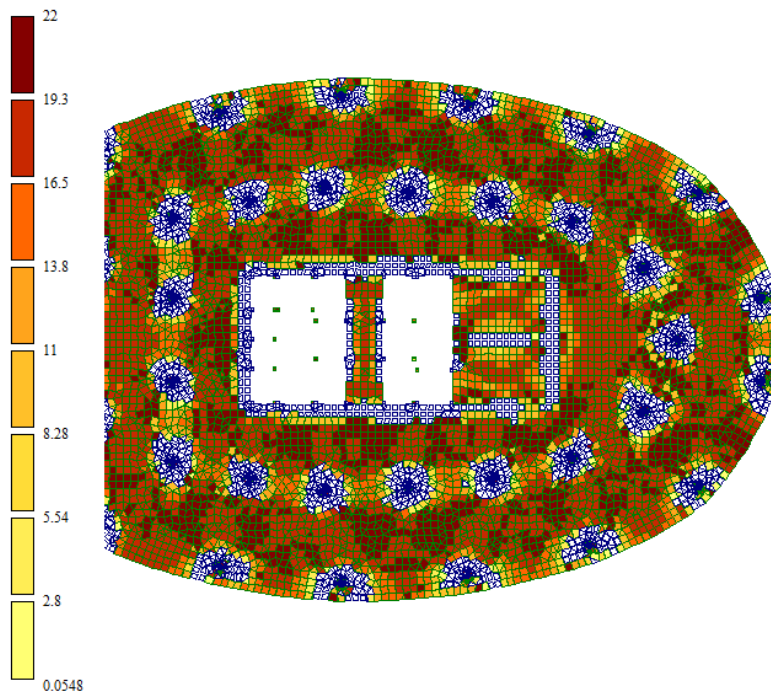


Рисунок 3.4.1.11 - Глубина раскрытия трещин в нижний слой

Нелинейное нагружение 1
 Ширина раскрытия трещин
 Верхний слой
 Единицы измерения - мм

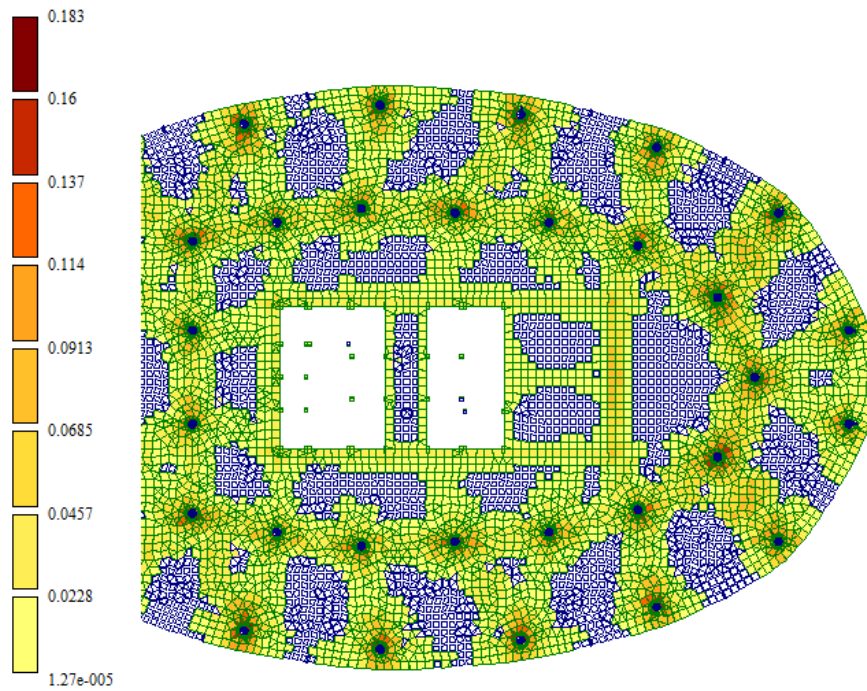


Рисунок 3.4.1.12 - Ширина раскрытия трещин в верхний слой

Нелинейное нагружение 1
 Ширина раскрытия трещин
 Нижний слой
 Единицы измерения - мм

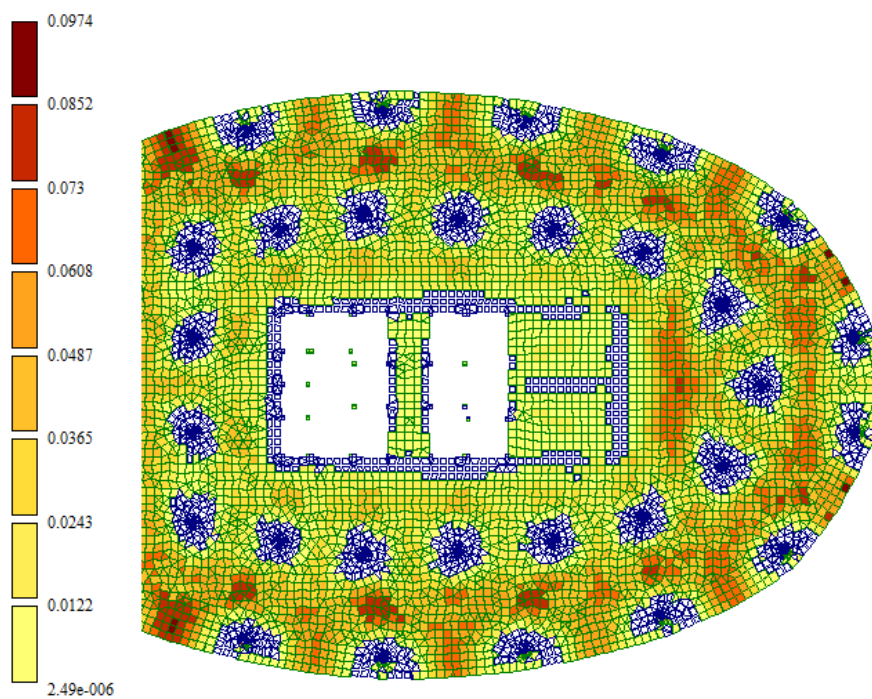


Рисунок 3.4.1.13 - Ширина раскрытия трещин в нижний слой

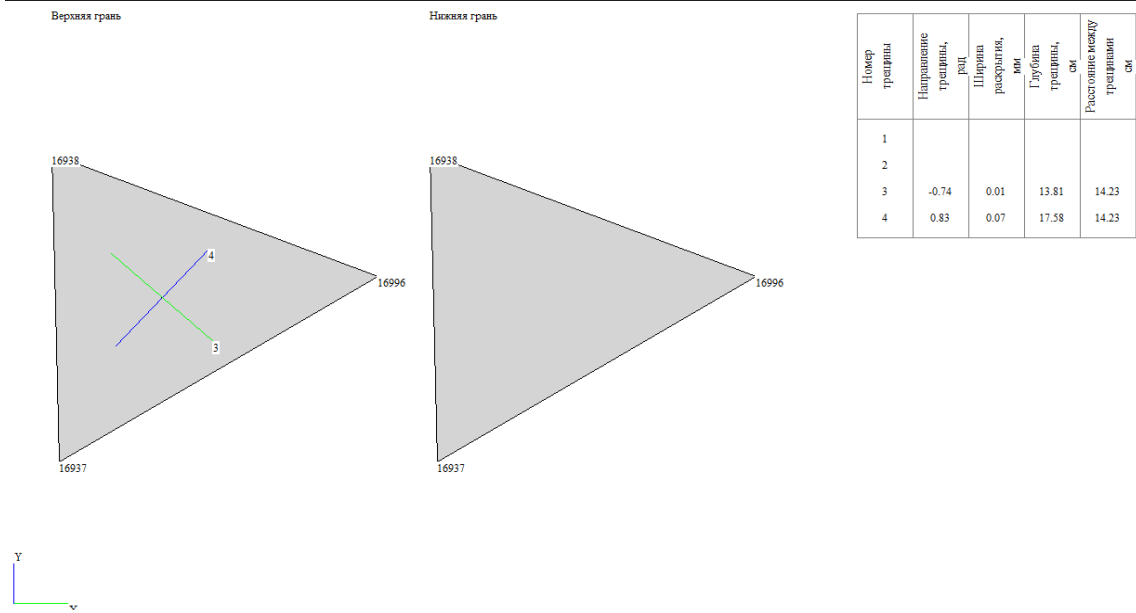


Рисунок 3.4.1.14 - Характеристика сечения выбранного опорного элемента с трещинами для плиты с учетом физической нелинейности на приопорном участке

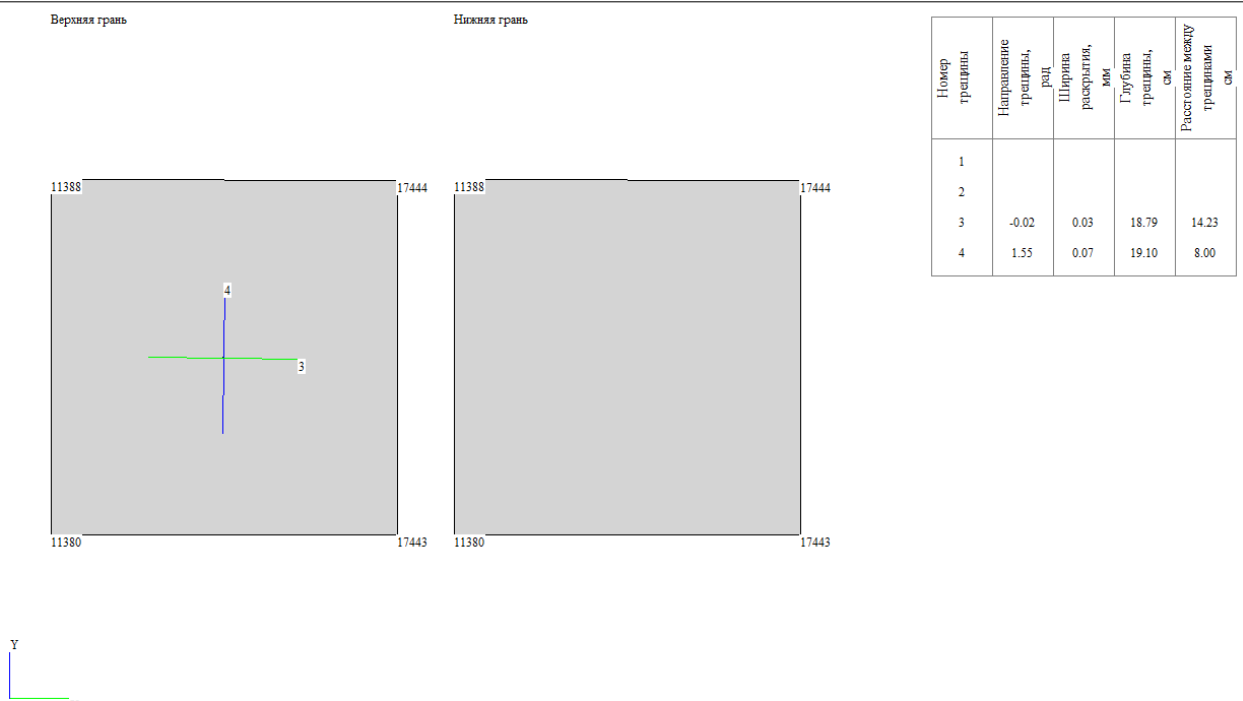


Рисунок 3.4.1.15 - Характеристика сечения выбранного опорного элемента с трещинами для плиты с учетом физической нелинейности в середине плиты

Вывод:

В ходе выполнения работ:

Разработано архитектурные модель в ПК Revit. Разработаны информационные архитектурные модель ПК Revit на основе плоскостных чертежей.

На основании архитектурные информационный модели ПК САПФИР создано аналитические расчётные модель, который далее было экспортировано в ПК Лира-САПР.

Выполнено расчёты монолитного плиты перекрытия типового этажа в линейный и нелинейный постановки.

Результаты расчёта:

С целью проверки пригодности монолитного плиты было выполнено расчёт по второй группы предельных состояние — это прогибы и трещины.

Основные результаты такие:

Распределение усилий изгибающих моментов по области плиты оно сгладились, опорные моменты уменьшились, а пролётный увеличилось.

Перемещения по с учётом физической нелинейности получилось примерно 3 в 4 раза больше чем по линейные, что и ожидалось. Были показаны результаты расчёта раскрытия трещин и их направления который соответствует физическое разрушение плиты.

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

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

СОГЛАСОВАНО

Начальник отдела ОНиПКРС

 Е.М. Димитриади

(подпись)

« 10 » 04 2024 г.

УТВЕРЖДАЮ


Проректор по научной работе

 А.В. Космынин

(подпись)

« 10 » 04 2024 г.

Декан ФКС

 Н.В. Гринкруг

(подпись)

АКТ

о приемке в эксплуатацию проекта

«Расчет строительных конструкций с учетом нелинейной работы»

г. Комсомольск-на-Амуре

« 10 » 04 2024 г.

Комиссия в составе представителей:

со стороны заказчика

- Е.В. Журавлева – руководитель СКБ,
- Н.В. Гринкруг – декана ФКС

со стороны исполнителя

- Ю. Н. Чудинов – руководителя проекта,
- Ф. Б. Джумаев – группа 8УЗ-1,

составила акт о нижеследующем:

«Исполнитель» передает проект «Расчет строительных конструкций с учетом нелинейной работы», в составе:

1. Пояснительная записка
2. Комплект чертежей
3. Информационная модель, созданная в ПК «Лира-САПР»

Руководитель проекта



(подпись, дата)

Ю.Н. Чудинов

Исполнители проекта



(подпись, дата)

Ф. Б. Джумаев

3D модель

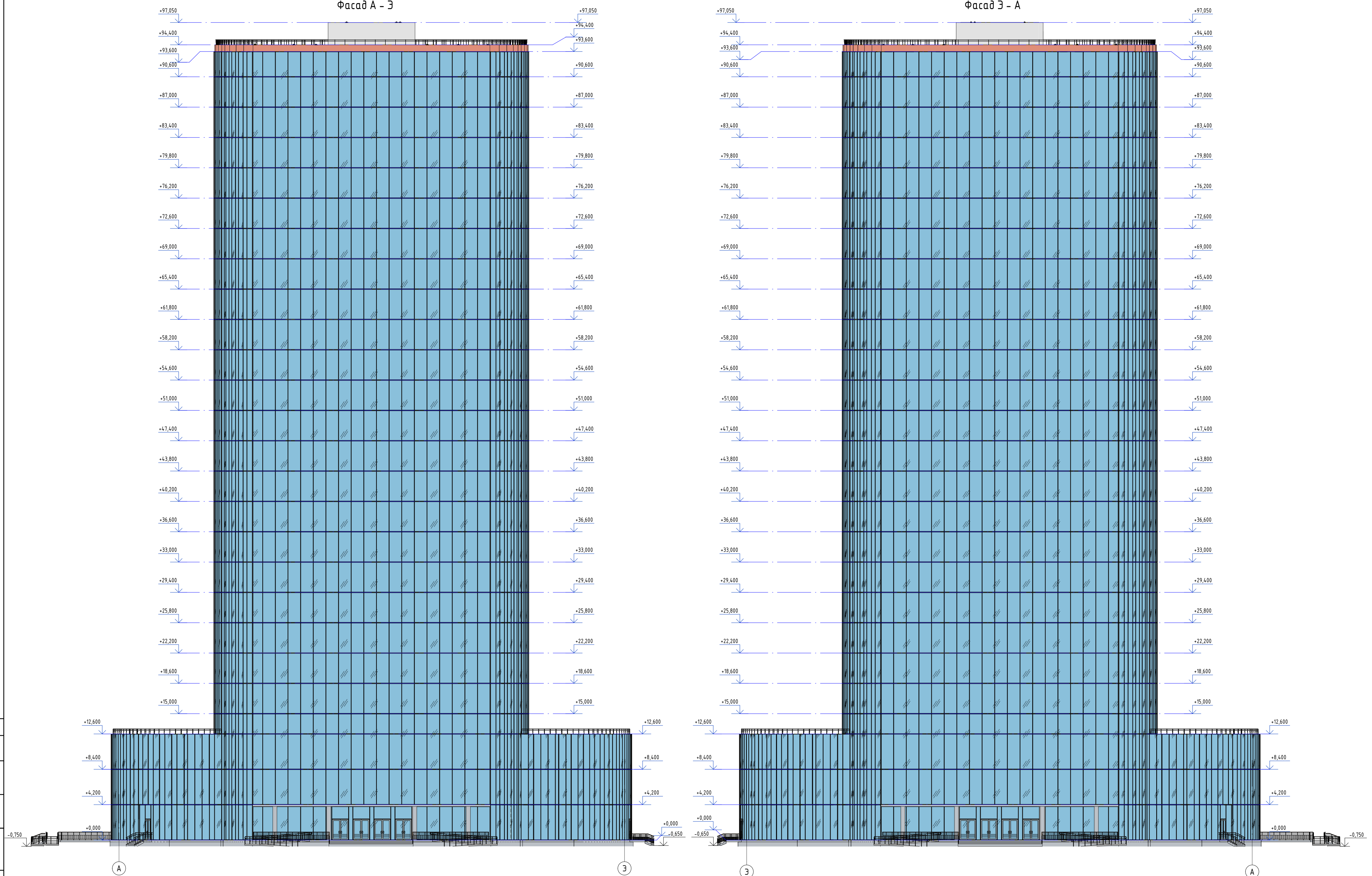


Согласована
 Подп. и дата
 Взам. инв. №
 Инв. № подл.

						8У31.1.00.00000 – АР			
						Разработка проекта 26-этажное многофункциональное здание в г. Владивосток			
Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	26-этажное многофункциональное здание.	Стандия	Лист	Листов
Разраб.			Джумаев Ф.Б.				У	5	1
Провер.			Жукова О.А.						
Н. контр.									
Т. контр.									
Этб.									
						3D	Кафедра СА		

Фасад А - Э

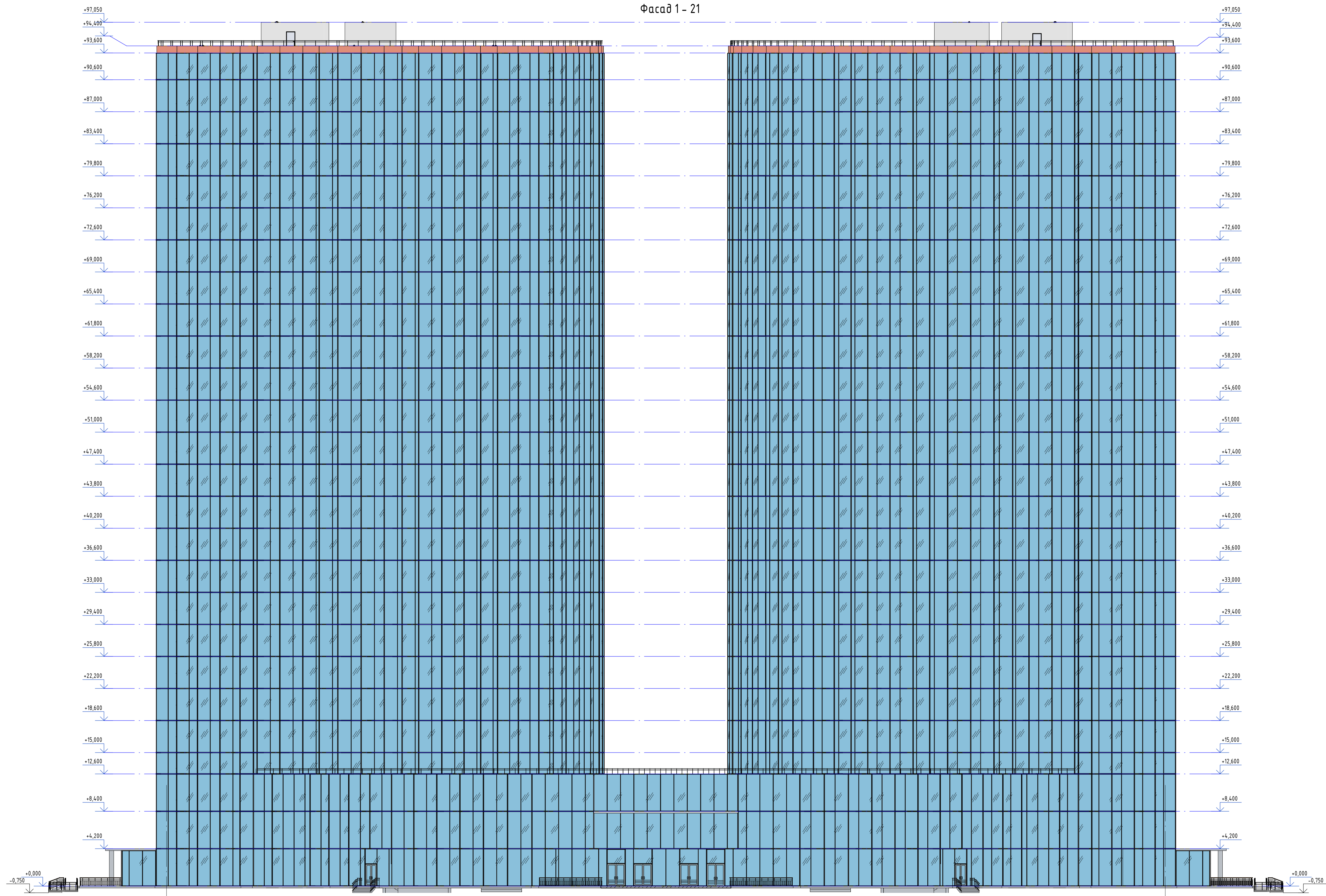
Фасад Э - А



Создано
Век. шиф. №
Подп. и дата
Инд. № подл.

8У311.00.00000 - АР					
Разработка проекта 26-этажное многофункциональное здание в г. Владивосток					
Изм.	Кол.ч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата
Разраб.			Джумаев Ф.Б.		
Провер.			Жукова О.А.		
Н. контр.					
26-этажное многофункциональное здание.				Стация	Лист
				У	4
Фасад А-Э, Фасад Э-А				Листов	
				3	
Кафедра САА					

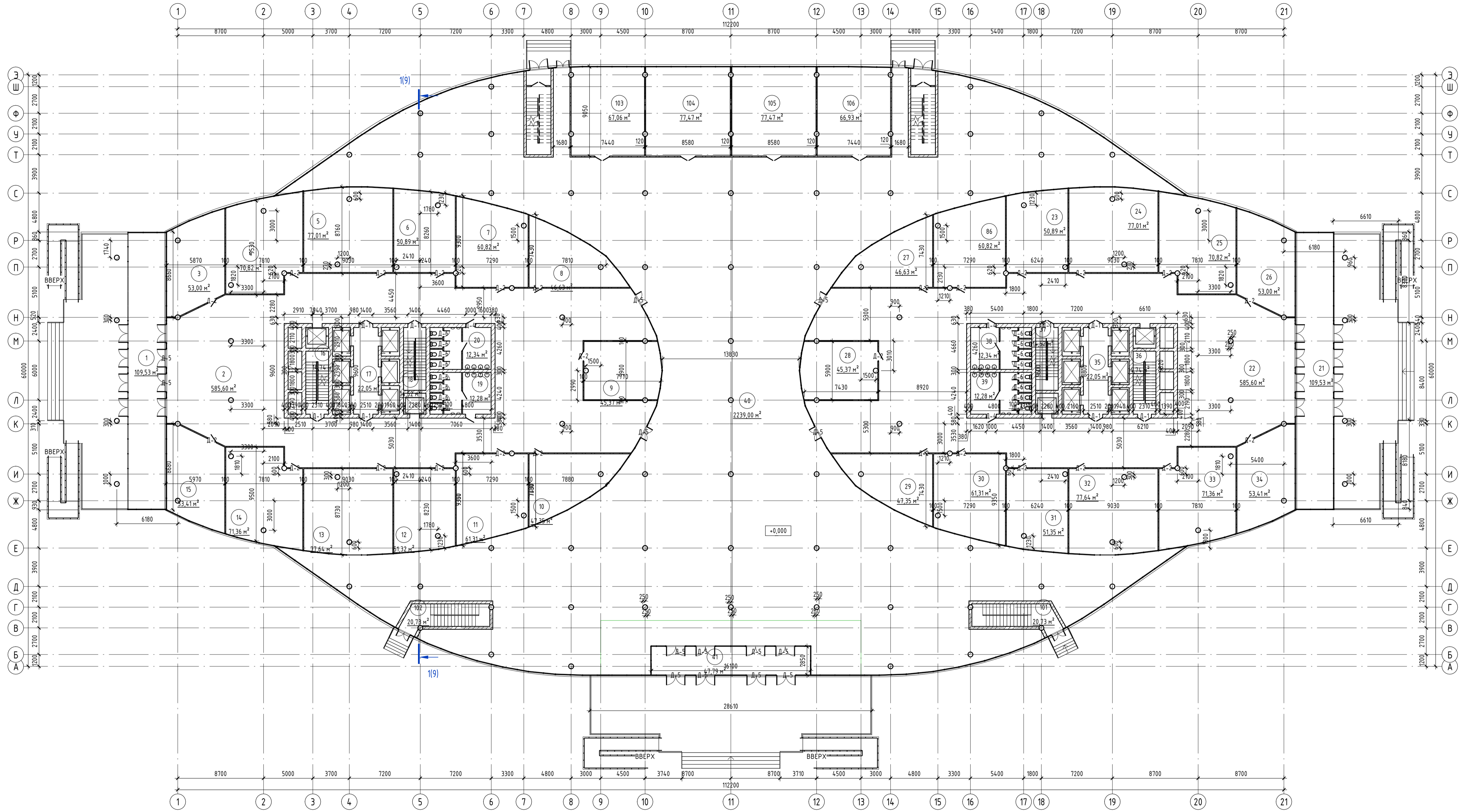
Фасад 1 - 21



Составлена
Лист и дата
Изд. № подл.

8У31.1.00.00000 - АР					
Разработка проекта 26-этажное многофункциональное здание в г. Владивосток					
Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата
Разраб.			Джумаев Ф.Б.		
Провер.			Жукова О.А.		
Н. контр.					
Т. контр.					
Утв.					
26-этажное многофункциональное здание.				Стандия	Лист
Фасад 1-21				У	2
				Листов	3
				Кафедра САА	

План первого этажа на отметке 0,000



Экспликация помещений на отм. 0,000

Номер помещения	Наименование	Площадь, м²	Кат. помещения
1	Тамбур	109,53	
2	Холл	585,60	
3	Офисное помещение	53,00	
4	Офисное помещение	70,82	
5	Помещение	77,01	
6	Кабинет	50,89	
7	Офисное помещение	60,82	
8	Офисное помещение	46,63	
9	Офисное помещение	45,37	
10	Офисное помещение	47,35	
11	Офисное помещение	61,31	

Экспликация помещений на отм. 0,000

Номер помещения	Наименование	Площадь, м²	Кат. помещения
12	Кабинет	51,32	
13	Кабинет	77,64	
14	Кабинет	71,36	
15	Кабинет	53,41	
16	Незадымляемая лестница	14,74	
17	Лифтовой холл с подпор воздуха	22,05	
18	Незадымляемая лестница	14,52	
19	Уборная	12,28	
20	Уборная	12,34	
21	Тамбур	109,53	
22	Холл	585,60	

Экспликация помещений на отм. 0,000

Номер помещения	Наименование	Площадь, м²	Кат. помещения
23	Кабинет	50,89	
24	Кабинет	77,01	
25	Кабинет	70,82	
26	Кабинет	53,00	
27	Кабинет	46,63	
28	Кабинет	45,37	
29	Кабинет	47,35	
30	Кабинет	61,31	
31	Кабинет	51,35	
32	Кабинет	77,64	
33	Кабинет	71,36	
34	Кабинет	53,41	
35	Лифтовой холл с подпор воздуха	22,05	

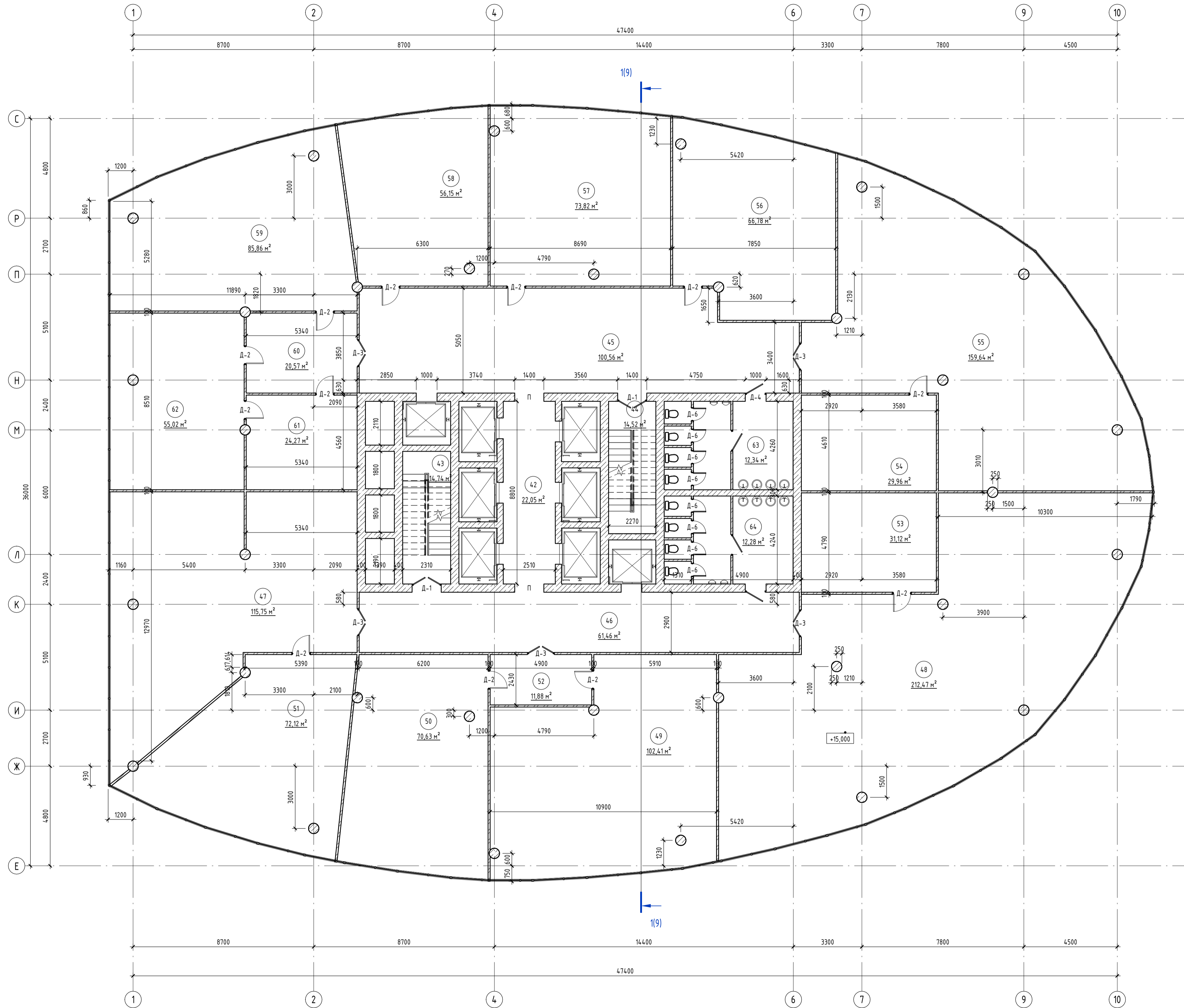
Экспликация помещений на отм. 0,000

Номер помещения	Наименование	Площадь, м²	Кат. помещения
36	Незадымляемая лестница	14,74	
37	Незадымляемая лестница	14,52	
38	Уборная	12,34	
39	Уборная	12,28	
40	Зал	2239,00	
41	Тамбур	47,79	
86	Кабинет	60,82	
101	Эвакуационная лестница	20,73	
102	Эвакуационная лестница	20,73	
103	Склад	67,06	
104	Склад	77,47	
105	Склад	77,47	
106	Склад	66,93	

Составлено:
Взам. инв. №
Лист и дата
Инд. № подл.

8У311.100.00000 - АС					
Разработка проекта 26-этажное многофункциональное здание в г. Владивосток					
Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата
Разраб.			Джумаев Ф.Б.		
Провер.			Жукова О.А.		
Н. контр.					
26-этажное многофункциональное здание.				Студия	Лист
План на отм. 0,000				У	6
				Листов	3
				Кафедра СИА	
Формат А1А					

План типового этажа на отметке +15,000



Спецификация элементов заполнения дверных проемов

Марка	Обозначение	Наименование	Кол.	Масса ед. кз	Примечание
Д-3	ГОСТ 475-2016	ДМ 2 21-13 Г ПрБ	9		
Д-1	ГОСТ 31173-2016	ДСВВ Дл Брз 2080x1360	6		
Д-4	ГОСТ 31173-2016	ДСВ Оп Брз Л 2080x960	6		
П			18		
Д-2	ГОСТ 23747-2015	ДВ1 Рл 21-9 Г ПрБ	25		
Д-6	ГОСТ 23747-2015	ДВ1 Рл 21-9 Г ПрБ	24		

Экспликация помещений на отм. +15,000

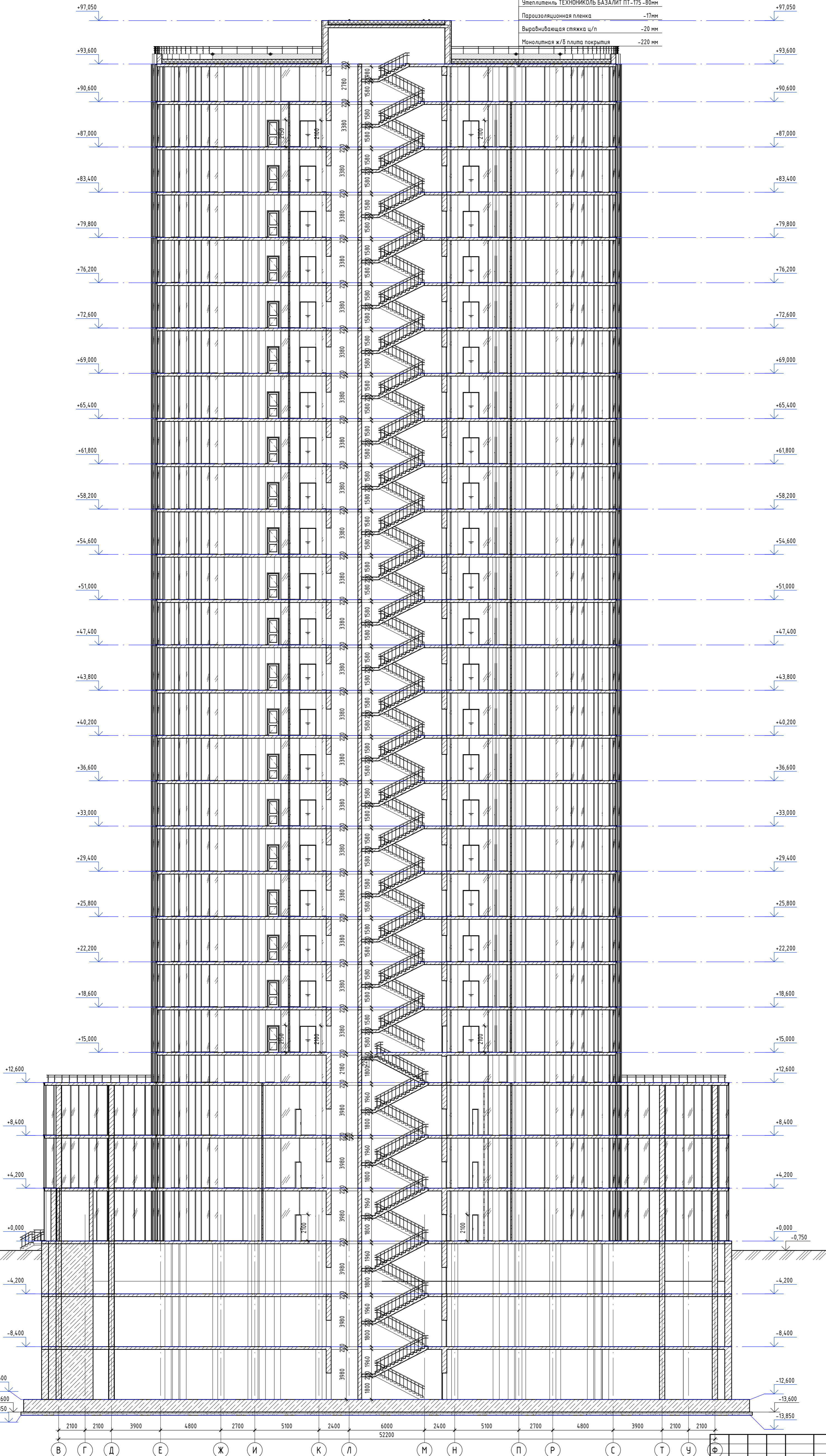
Номер помеще-ния	Наименование	Площадь, м ²	Кат. поме-ще-ния
42	Лифтовой хол с подпор воздуха	22,05	
43	Незадымляемая лестница	14,74	
44	Незадымляемая лестница	14,52	
45	Коридор	100,56	
46	Коридор	61,46	
47	Офисное помещение	115,75	
48	Кабинет	212,47	
49	Офисное помещение	102,41	
50	Кабинет	70,63	
51	Кабинет	72,12	
52	Холл	11,88	
53	Кабинет	31,12	
54	Кабинет	29,96	
55	Зал	159,64	
56	Кабинет	66,78	
57	Кабинет	73,82	
58	Кабинет	56,15	
59	Зал	85,86	
60	Холл	20,57	
61	Кабинет	24,27	
62	Зал	55,02	
63	Уборная	12,34	
64	Уборная	12,28	
65	Лифтовой хол с подпор воздуха	20,29	
66	Незадымляемая лестница	14,52	
67	Незадымляемая лестница	14,74	
68	Коридор	61,46	
69	Коридор	100,56	
70	Зал	115,75	
71	Кабинет	72,12	
72	Кабинет	70,63	
73	Холл	11,88	
74	Кабинет	102,41	
75	Зал	212,47	
76	Кабинет	31,12	
77	Кабинет	30,61	
78	Кабинет	158,98	
79	Кабинет	66,78	
80	Кабинет	73,82	
81	Кабинет	56,15	
82	Холл	20,54	
83	Кабинет	85,86	
84	Кабинет	24,27	
85	Кабинет	55,02	
87	Уборная	20,44	
88	Уборная	20,33	

Составлена	
Взвешено	
Подп. и дата	
Изд. № подл.	

8У31.1.00.00000 - АС					
Разработка проекта 26-этажное multifunctional здание в г. Владивосток					
Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата
Разраб.			Джумаев Ф.Б.		
Провер.			Жукова О.А.		
Н. контр.					
26-этажное multifunctional здание.				Студия	Лист
План типового этажа на отметке +15,000				У	7
				Листов	3
				Кафедра СИА	

Разрез 1-1

Полимерная мембрана LOGICROOF V-GR FB	-2мм
ТЕХНОРФ НЭО-КЛИН 150	-300мм
Утеплитель ТЕХНОНИКОЛЬ БАЗАЛИТ ПТ-175-80мм	
Пароизоляционная пленка	-17мм
Выравнивающая стяжка ц/п	-20 мм
Монолитная ж/б плита покрытия	-220 мм



Согласовано
Визировано
Изм. № разд.
Подп. и дата

8431.1.00.00000 - АС

Разработка проекта 26-этажное multifunctional здание в г. Владивосток

Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата
Разраб.			Джумаев Ф.Б.		
Провер.			Жукова О.А.		
Н. контр.					

26-этажное multifunctional здание:	Стадия	Лист	Листов
	У	9	1

1-1

Кафедра СуА

Формат А1К