

# Разработка 3D – модели здания спортивного комплекса и прочностной анализ средствами CAE-системы

**Студентка гр Ивб-16-2: Бзаева Карина Казбековна**

**Руководитель: Даурова Альбина Ахшарбековна**

**Целью ВКР** является разработка 3D модели несущей конструкции здания спортивного комплекса и получение оценки фактических показателей качества здания.

Поставленная цель потребовала решения следующих задач:

1. Обзор возможных вариантов несущих конструкций и выбор оптимального по его характеристикам;
2. Обзор материалов для железобетонных конструкций;
3. Предварительная обработка — определение характеристик модели и факторов внешней среды, которые будут на нее воздействовать;
4. Анализ и принятие решения;
5. Обработка результатов.

**Методы исследования:** методы статистической обработки данных.

**Объектом исследования,** является виртуальная модель несущей конструкции здания спортивного комплекса.

## Нормативная база для проектирования спортивного комплекса

1. СП 332.1325800.2017 Спортивные сооружения. Правила проектирования
2. СП 42.13330.2016 Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений. Актуализированная редакция СНиП 2.07.01-89\* (с Изменениями N 1, 2)
3. [СП 63.13330.2012 \(Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003\) Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения \(pdf\)](#)
4. СП 20.13330.2016 СНиП 2.01.07-85 Нагрузки и воздействия

## Достоинства и недостатки каркасно-монолитного строительства



В числе значимых недостатков специалисты отмечают необходимость утепления внешней стороны колонн и торцов плит перекрытия для ликвидации мостиков перехода холода при отрицательной температуре наружного воздуха. Кроме этого следует сказать о достаточно сложной технологии сборки опалубочной конструкции

## Обоснование выбора материала для несущей конструкции здания

Высокая прочность бетона В25 позволяет использовать его при строительстве крупных сооружений и зданий, монолитных фундаментов и стен, плит перекрытий, балок, колонн и других конструкций с большой нагрузкой.

### Основные свойства

Для бетона марки В25 характерны следующие эксплуатационные показатели:

Прочность на сжатие, как следует из маркировки - 14,5 МПа. Это довольно много, что позволяет использовать данный материал для возведения высоконагруженных конструкций с высокой ответственностью.

Плотность — от 2200 до 2500 кг/м<sup>3</sup>. Материал относится к группе тяжёлых бетонов.

Подвижность — от П2 до П4. Данный параметр определяется степенью осадки растворного конуса, и является типичным для большинства бетонов, используемых в строительстве.

Морозостойкость материала — F200. Эта цифра говорит нам о том, что конструкция и после 200 циклов замораживания и оттаивания в условиях полного влагонасыщения утратит не более 5% прочности на сжатие. Высокая устойчивость к холоду позволяет применять бетон В25 при строительстве в северных широтах.

### Сфера применения

Высокая прочность и хорошие эксплуатационные показатели на фоне приемлемой (естественно, в своем классе материалов) стоимости делают бетон марки В25 весьма востребованным.

Как правило, данный состав применяют для обустройства таких сооружений:

Монолитные и ленточные фундаменты из бетона с высокой несущей способностью.

Свайные основания со стальным армированием.

Ростверки для свайных оснований различного типа.

Монолитные перекрытия и стены.

Элементы сборных железобетонных конструкций.

Тела свай, колонн, балок, ригелей и других ж/б изделий со сжимающей нагрузкой.

Аэродромные плиты дорожного покрытия.

Кроме того, гидроизоляционные свойства материала позволяют применять В25 при заливке чаш бассейнов, резервуаров для технической воды, систем водоотведения и т.д.

# НАГРУЗКИ И ВОЗДЕЙСТВИЯ

Исходя из рассмотренного свода правил СП 20.13330.2016 расчет спортивного комплекса по первому предельному состоянию включает в себя следующую комбинацию неблагоприятных сочетаний нагрузок:

$$C_m = P_d + \psi_i P_i + \psi_l P_l$$

где  $P_d$  – воздействие собственного веса конструкции здания,

$P_i$  – воздействие временной нагрузки, включающую в себя вес людей и спортивного инвентаря,

$P_l$  – снеговая нагрузка,

$$\psi = 1.$$

Нормативное значение веса снегового покрова  $S_g$  на  $1 \text{ м}^2$  горизонтальной поверхности земли для Республики Северная Осетия Алания принимается равным  $2 \text{ кН/м}^2$ , так как республика относится к IV снеговому району для территории Российской Федерации.

Нормативное значение временной нагрузки от людей и спортивного инвентаря принимается  $400 \text{ кН/м}^2$  исходя из СП 20.13330.2016.

## Формальная постановка

**Ограничения:** 1) коэффициент запаса прочности не должен быть ниже нормативного;  
2) соблюдение требований СНИП и ГОСТ.

**Формальная постановка задачи:**

**Обозначения:**

$Z_i$  - булева переменная, равная единице, если выбран  $i$ -й материал, и равная нулю в противном случае.

$X_j$  - булева переменная, равная единице, если выбран  $j$ -й массив, и равная нулю в противном случае.

$C_i$  - стоимость единицы объема  $i$ -го материала.

$b_j$  - объем, соответствующий  $j$ -у массиву.

$N$  - нормативный коэффициент запаса прочности.

$$N \in [1,8 ; 2,7]$$

$n$  - число рассматриваемых материалов.

$m$  - общее число возможных массивов.

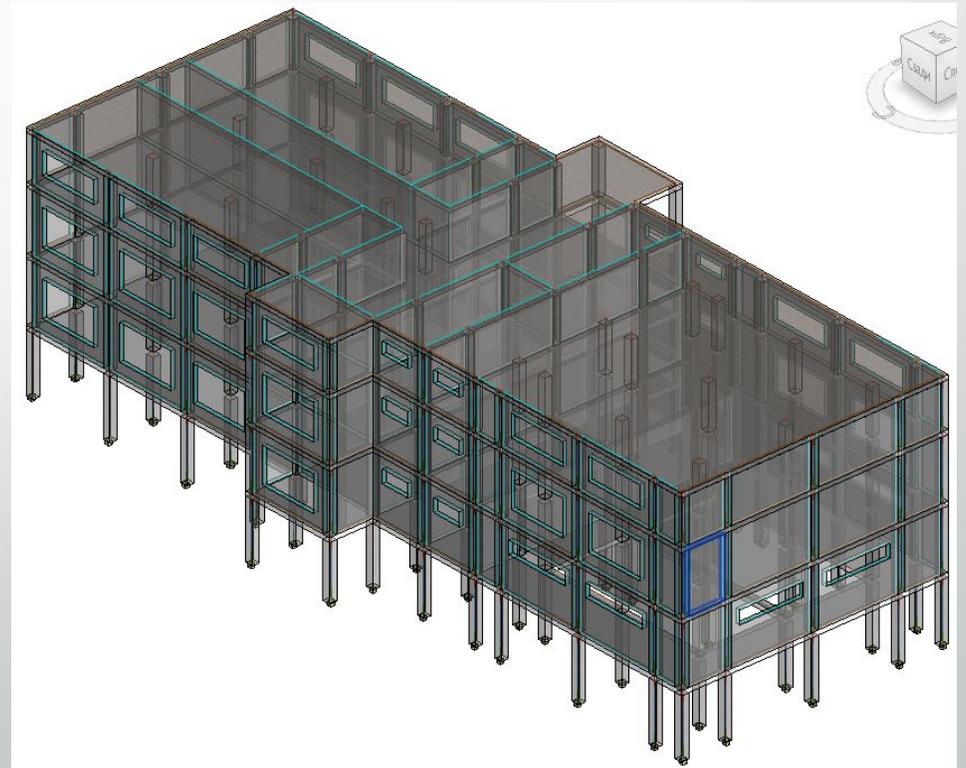
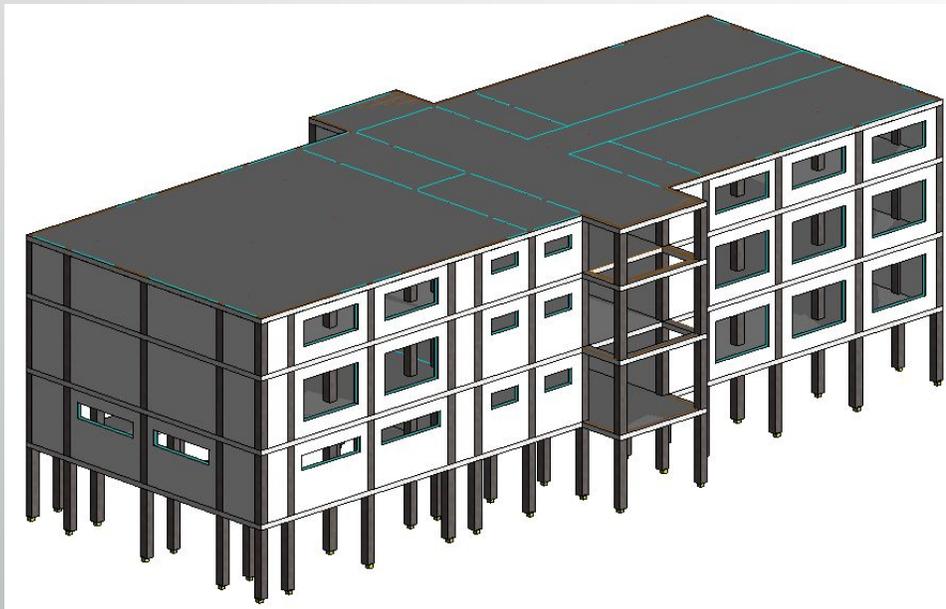
$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{i=1}^n C_i Z_i \cdot \sum_{j=1}^m b_j x_j \rightarrow \min; \\ \sum_{i=1}^n Z_i = 1; \\ \sum_{j=1}^m X_j = 1; \\ \forall i : Z_i = 1,0; \\ \forall j : X_j = 1,0; \\ \frac{\sigma_{пред}(Z_i, X_j)}{\sigma_{max}(Z_i, X_j)} \geq N. \end{array} \right.$$

# Алгоритм расчета строительных конструкций

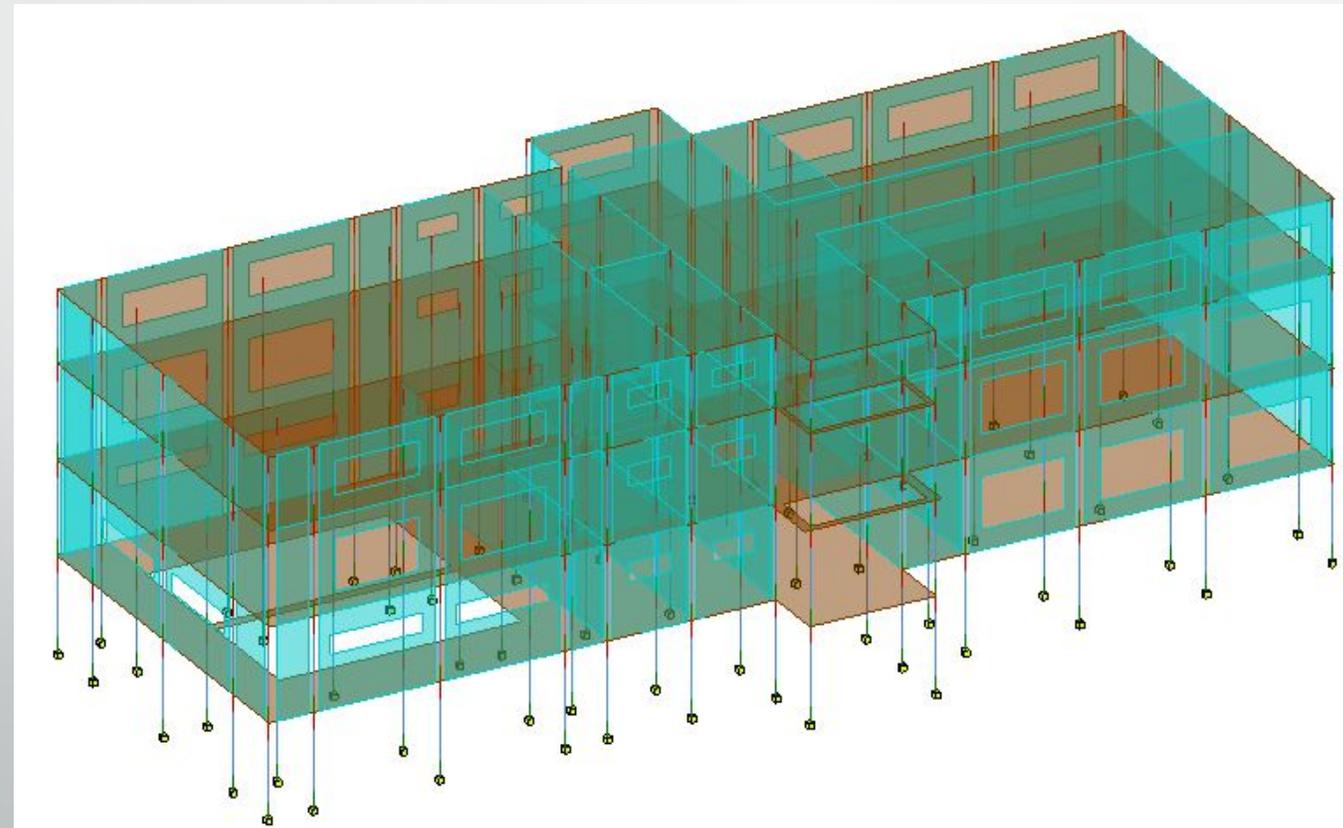
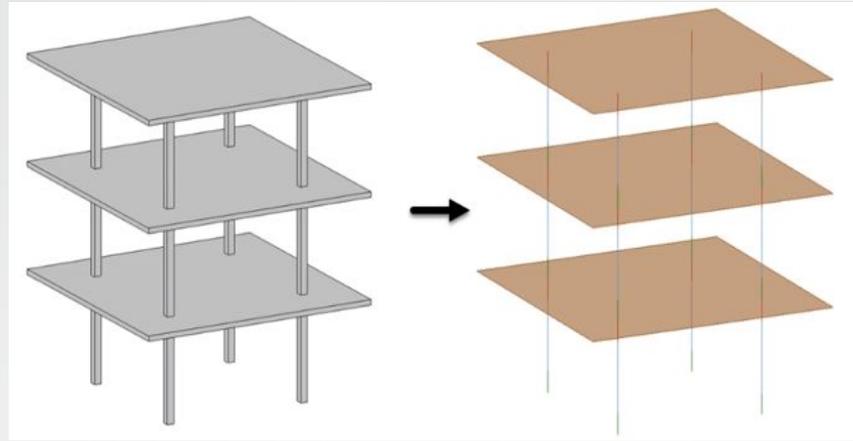


# Разработка виртуальной модели несущей конструкции здания спортивного комплекса в Autodesk Revit

В основе несущей конструкции трехэтажного здания спортивного комплекса лежит каркасная модель, состоящая из двух перекрытий, крыши и двести пятидесяти шести колонн. Длина, ширина и высота здания составляет 51x24,5x12,1 м. Высота первого и второго этажей составляет четыре метра, а высота третьего этажа равна трем метрам.



# Аналитическая модель



# Расчетная модель

Параметры несущих конструкций

Параметры аналитической модели

Параметры граничных условий

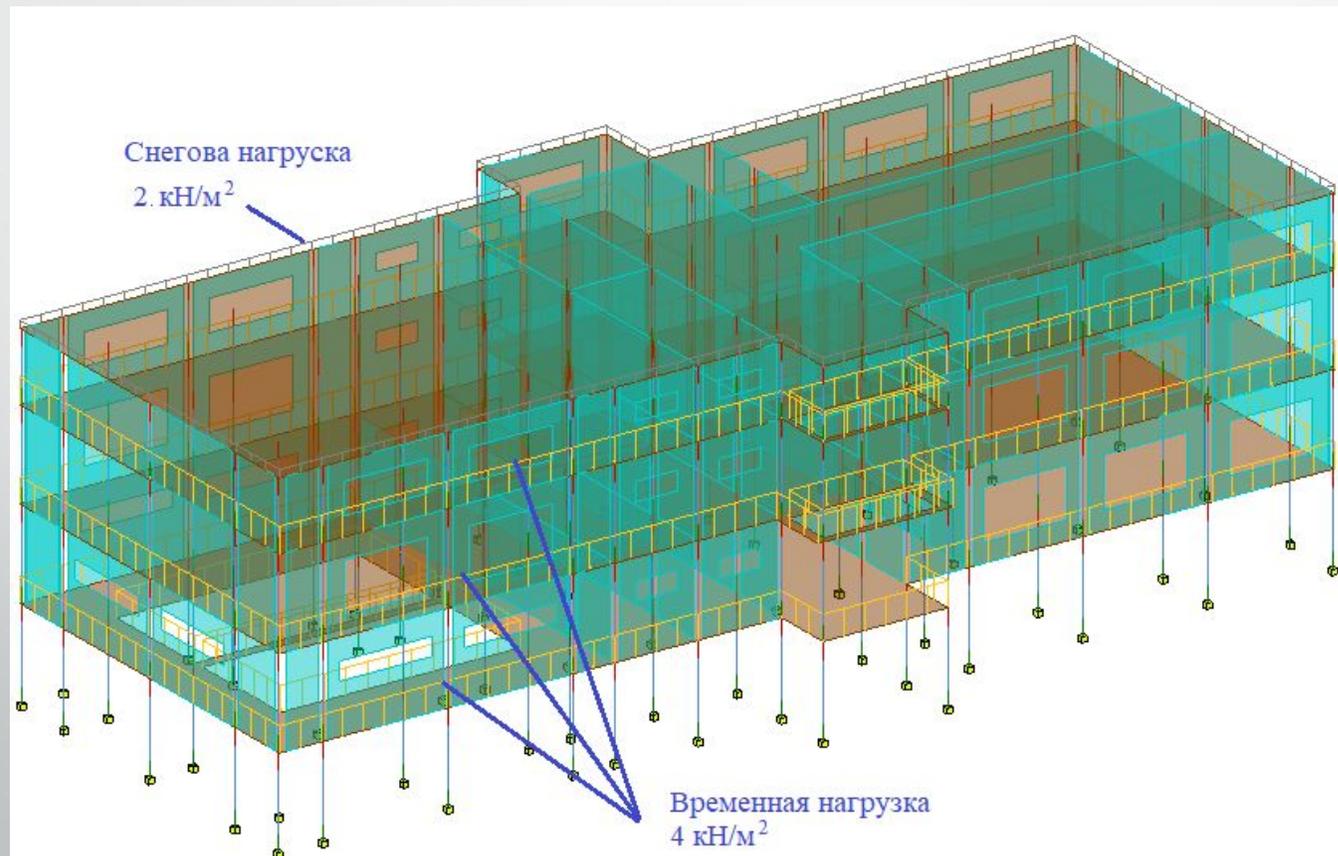
Параметры условных обозначений

Варианты нагружений

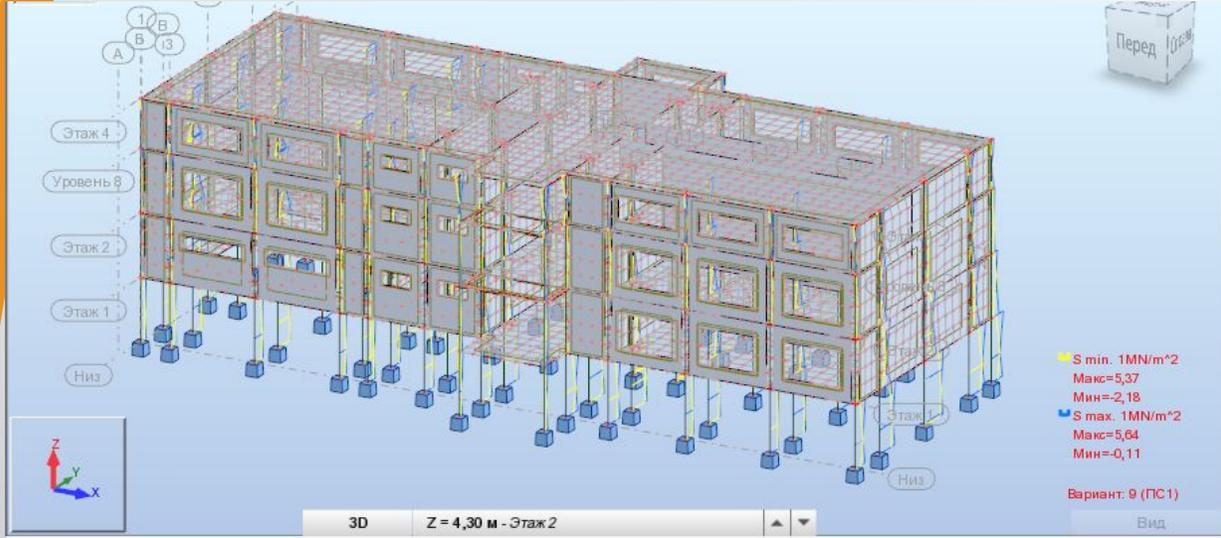
Комбинации нагрузок

Комбинация нагрузок

	Имя	Формула	Тип	Тип сочетания	Использование	
		(все)	(все)	(все)	(все)	Добавить
1	ПС1	1*DL1 + 1*LL1 + 1*SNOW1	Комбинация	ПС1		Удалить



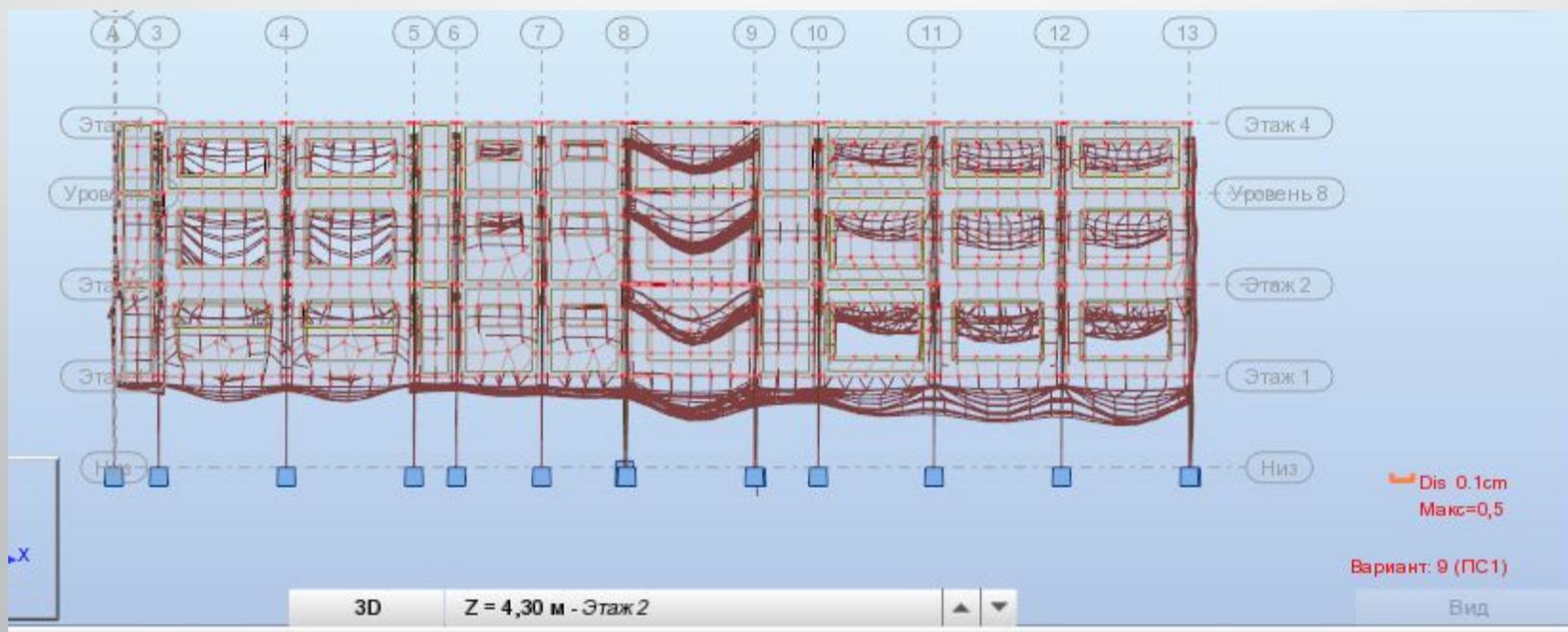
# Проверочный расчет конструкции здания спортивного комплекса в Autodesk Robot Structural Analysis



	S max (МПа)	S min (МПа)
Тип линии (цвет)		
Масштаб : (см) =	5.00	5.00
<b>MAX</b>	5,64	5,37
Стержень	224	224
точка	x = 1.0000	x = 0.3627
Нагрузка	9	9
<b>MIN</b>	-0,11	-2,18
Стержень	236	144
точка	x = 1.0000	x = 1.0000
Нагрузка	9	9

$$K = \sigma_{\text{пред.}} / \sigma_{\text{max}} = 14,5 / 5,64 = 2,6.$$

$$N_{\text{min}} \leq K \leq N_{\text{max}}$$



## Сравнительный анализ несущей способности классов бетона применяемых к конструкции здания спортивного комплекса.

Класс бетона	Напряжение , МПа	Деформация, см	Коэффициент запаса прочности	Цена , руб./м <sup>3</sup>
B15	5,40	0,6	1,6	3200
B20	5,43	0,5	2,1	3300
B25	5,64	0,5	2,6	3600
B30	5,46	0,4	3,1	3750
B35	5,47	0,4	3,6	3850

## Статистическое исследование

расчет стоимости бетона  $i$ -ого класса В25 для  $j$ -ого количества колонн по следующей формуле:

$$N_{\min} \leq K \leq N_{\max}$$

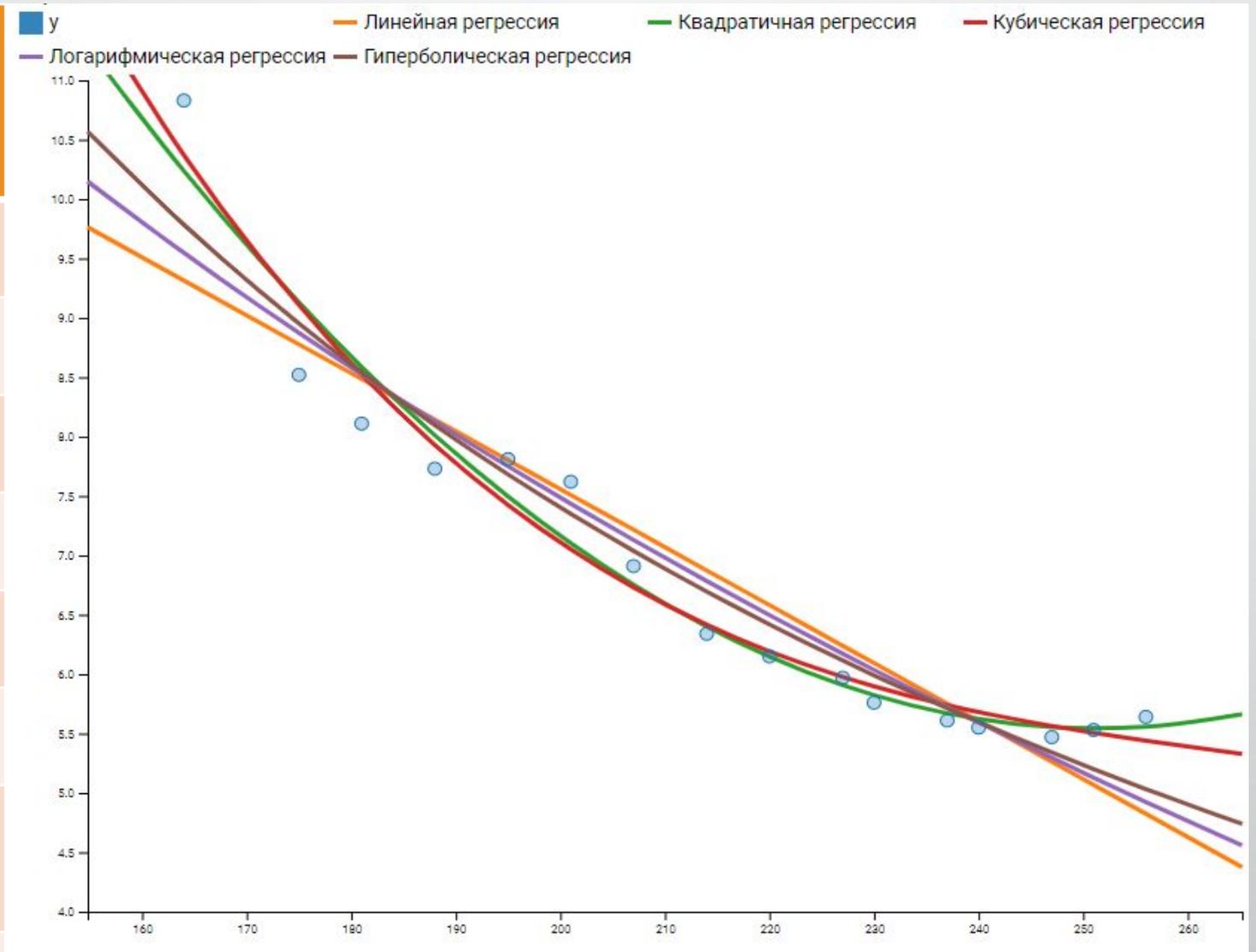
расчет напряжения  $i$ -ого класса В25 для  $j$ -ого количества колонн по следующей формуле:

$$\frac{\sigma_{\text{пред}}(Z_i, X_j)}{\sigma_{\text{max}}(Z_i, X_j)} \geq N$$

Количество колонн в конструкции	Максимальное напряжение	Коэффициент запаса прочности	Объем бетона, м <sup>3</sup>	Итого, руб.
256	5,64	2,57	207,4	746640
251	5,53	2,62	203,3	731880
247	5,47	2,65	200,1	720360
240	5,55	2,61	194,4	699840
236	5,61	2,58	192	691200
230	5,76	2,52	186,3	670680
227	5,97	2,43	184	662400
220	6,15	2,36	178,2	641520
214	6,34	2,29	173,34	624024
207	6,91	2,09	167,7	603720
201	7,62	1,90	162,81	586152
198	7,81	1,86	160,38	577368
188	7,73	1,88	152,28	548208
181	8,11	1,79	146,61	527796
175	8,52	1,70	141,75	510300
164	10,83	1,34	132,84	478224

# Выбор аналитической зависимости

№	Тип регрессионного анализа	Коэффициент корреляции	Критерий Фишера (табличный)	Критерий Фишера (расчитанный)	Средняя ошибка аппроксимации, %
1	Линейная регрессия	-0,932	4,6	93,278	5,553
2	Степенная регрессия	0,966	4,6	194,223	3,993
3	Квадратичная регрессия	0,978	4,6	143,336 ;	2,754
4	Кубическая регрессия	0,979	4,6	93,115	3,037
5	Гиперболическая регрессия	0,962	4,6	175,003	4,372
6	Показательная регрессия	0,952	4,6	136,85	4,502
7	Логарифмическая регрессия	0,949	4,6	126,631	4,967
8	Экспоненциальная регрессия	0,952	4,6	136,85	4,502



$$N_{\min} \leq K \leq N_{\max}$$

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выпускная квалификационная работа посвящена разработке 3D модели несущей конструкции здания спортивного комплекса и проведению прочностного анализа этой конструкции. В рамках работы был проведен аналитический обзор сводов правил по проектированию железобетонных конструкций и спортивных комплексов. В результате аналитического обзора был выбран тип конструкции и подобраны материалы конструкции.

В ходе работы была выбрана комбинация неблагоприятных сочетаний нагрузок по первому предельному состоянию на несущую конструкцию здания.

В работе над проектом был проведен сравнительный анализ классов бетона и выбран оптимальный вариант по надежности, выявлена аналитическая зависимость максимального напряжения в конструкции от количества несущих опор (колонн).

Итогом работы является разработанная 3D модель несущей конструкции здания спортивного комплекса, отвечающая всем нормам и правилам проектирования.