

## Монолитные конструкции из легкого модифицированного нанобетона на примере пятиэтажной разноуровневой автостоянки

Аспирант Д.В. Орлов\*,

ГОУ Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

Последнее десятилетие XX века характеризуется значительными достижениями в строительной отрасли. Высокие темпы современного высотного строительства с новыми уникальными архитектурными формами, возведение специальных особо нагруженных сооружений, резервуаров для хранения жидкостей и газов, покрытий дорог и аэродромов, защитных элементов и т.д. потребовали разработки новых эффективных высококачественных бетонов с улучшенными эксплуатационными свойствами.

Также в данное время быстро развивающееся направление нанотехнологий не оставило без внимания и отрасль строительства. Непрерывно появляются новые материалы с запредельными и иногда противоречащими показателями. Так, впервые российскими учеными Пономаревым А.Н. и Юдовичем М.Е. [1] был создан легкий нанофибробетон [5]. Это обычный бетон на основе бетона В25 с добавлением комплексной добавки, включающей компоненты, обработанные с помощью нанотехнологий. Прочность нанобетона – 45-60 МПа, удельный вес – 1,4-1,6 т/м<sup>3</sup>, морозостойкость – W20 [1].

С такой большой прочностью и водонепроницаемостью, в то же время с таким низким собственным весом нанобетон может позволить решить огромное количество иногда неразрешимых задач. Применение данного материала позволит уменьшить собственный вес конструкции на 40%, что приведет к существенной экономии при строительстве нулевого цикла (фундаментов), а также при строительстве самого каркаса здания. Данные характеристики бетона позволят либо полностью избежать различного рода мероприятий, таких как гидроизоляционные работы, противопожарные мероприятия, мероприятия, направленные на сейсмическую защиту зданий; становится возможным увеличение пролетов (особенно актуально при строительстве мостов). Данный бетон поможет избежать необходимости в усилении существующей окружающей застройки при строительстве новых зданий, данный вопрос очень актуален для исторической части г. Санкт-Петербурга, и т.д.

Существуют различные материалы, которые позволяют уменьшить собственный вес здания, например, легкие бетоны (керамзитобетон, газобетон и т.д.). Но при использовании этих материалов выигрываем в весе, но теряем по многим другим основным параметрам бетона, таким как прочность, морозостойкость, водонепроницаемость и т.д. Поэтому вопрос внедрения нанобетона в строительство является весьма актуальным. Для этого в качестве объекта расчета было выбрано здание пятиэтажной разноуровневой автостоянки.

Расчет здания выполнялся в программе SCAD [2], предназначенной для расчета пространственных строительных конструкций на статические, температурные и динамические воздействия методом конечных элементов, отбора наиболее опасных сочетаний усилий и определения необходимого армирования железобетонных конструкций. Расчет железобетонных конструкций выполнен в соответствии с Российскими нормами проектирования [3, 4].

Сравнительный анализ работы был проведен по результатам расчета пяти моделей.

Здание объекта исследования имеет четкие заданные окружающими условиями внешние границы (санитарные разрывы и противопожарные мероприятия), высота ограничена расчетами КЕО и инсоляции (16 м).

Автостоянка имеет 5 этажей, в том числе один – подземный.

Подземный этаж вместимостью 135 м/м, в надземной части – 299 м/м.

Конструктивная схема здания представляет собой пятиэтажную полно-каркасную рамную систему с монолитными железобетонными балочными перекрытиями.

Кроме рамной системы здание имеет ядра жёсткости в виде монолитных лестничных шахт, рампы и монолитных несущих стен. Горизонтальная жёсткость каркаса в двух направлениях обеспечивается жёсткостью узлов каркаса и монолитными ядрами жёсткости. Размеры здания в плане 103,31x86 м, высота ~16,0м.

При расчете были приняты следующие допущения: сечение колонн и несущих стен остается неизменным; по периметру здания на каждом этаже для всех моделей расчета предусмотрена контурная балка 500x500 мм; габаритные размеры здания в плане остаются неизменными.

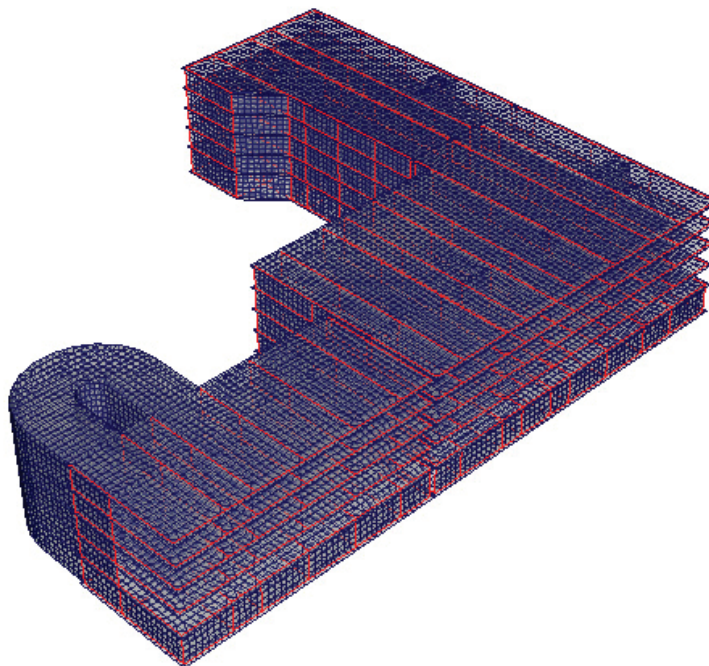


Рисунок 1. Схема здания

**Модель 1.** В качестве основного материала строительства принят сертифицированный бетон марки В25. Фундаментами здания являются монолитная железобетонная плита толщиной 500 мм, также по секте колонн расположены монолитные железобетонные балки, жестко заделанные в плиту, размером 800х800 мм.

Перекрытия здания из монолитного железобетона толщиной 200 мм с балками для 12 м пролетов – 1000х400 мм, а для остальных пролетов – 800х400 мм.

**Модель 2.** В качестве основного материала строительства принят нанобетон соответствующий по прочности сертифицированному бетону марки В45. Фундаментами здания является монолитная железобетонная плита толщиной 500 мм, также по секте колонн расположены монолитные железобетонные балки, жестко заделанные в плиту, размером 800х800 мм.

Перекрытия здания из монолитного нанобетона толщиной 200 мм с балками для 12 м пролетов – 1000х400 мм, а для остальных пролетов – 800х400 мм.

**Модель 3.** В качестве основного материала строительства принят нанобетон соответствующий по прочности сертифицированному бетону марки В45. Фундаментами здания является монолитная железобетонная плита толщиной 400 мм, также по секте колонн расположены монолитные железобетонные балки, жестко заделанные в плиту, размером 700х800 мм.

Перекрытия здания из монолитного нанобетона толщиной 160 мм с балками для 12 м пролетов – 900х400 мм, а для остальных пролетов – 700х400 мм.

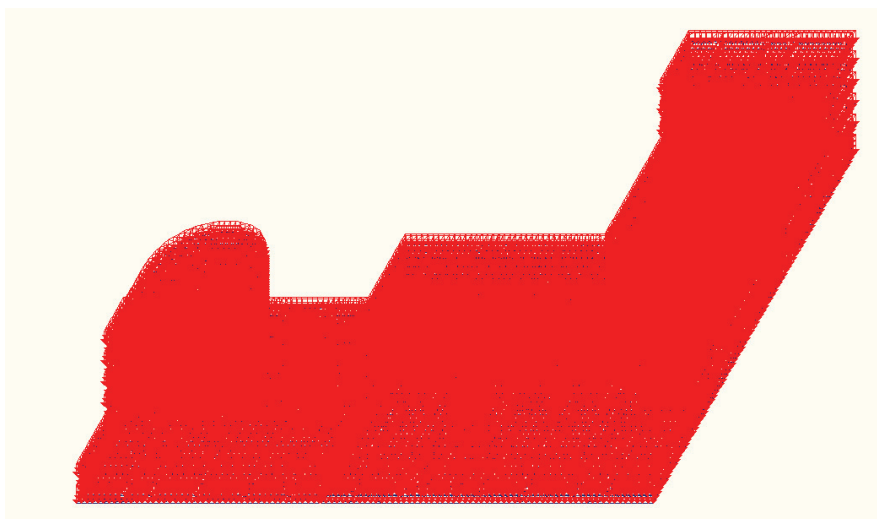
**Модель 4.** В качестве основного материала строительства принят нанобетон соответствующий по прочности сертифицированному бетону марки В45. Фундаментами здания является монолитная железобетонная плита толщиной 400 мм, также по секте колонн расположены монолитные железобетонные балки, жестко заделанные в плиту, размером 700х800 мм.

Перекрытия здания из монолитного нанобетона толщиной 160 мм с балками для 12 м пролетов – 500х400 мм, а для остальных пролетов – 400х400 мм.

**Модель 5.** В качестве основного материала строительства принят нанобетон соответствующий по прочности сертифицированному бетону марки В45. Фундаментами здания является монолитная железобетонная плита толщиной 300 мм, также по секте колонн расположены монолитные железобетонные балки, жестко заделанные в плиту, размером 600х600 мм.

Перекрытия здания из монолитного нанобетона толщиной 140 мм с балками для 12 м пролетов – 500х400 мм, а для остальных пролетов – 400х400 мм.

Для моделирования поведения здания была использована пространственная конечно-элементная расчетная схема, наиболее точно отражающая геометрию конструкции и физико-механические свойства. Для расчёта были смоделированы 3 блока здания, которые объединяются температурно-деформационными швами.



**Рисунок 2. Нагрузка от собственного веса здания**

Статический расчет системы выполнен в линейной постановке.

Виды нагрузок и расчетные сочетания составлены в соответствии с нормами, регламентирующими расчетные нагрузки и воздействия [3].

Грунтовое основание под зданием в расчетной модели было учтено с помощью коэффициентов постели, вычисленных по программе «КРОСС», входящей в вычислительный комплекс SCAD Office.

По результатам расчет были запроектированы 5 вариантов зданий, основными искомыми параметрами являлись общий вес арматуры и бетона.

Результаты расчета количества арматуры приведены в табл. 1, результаты расчета объемов бетона – в табл. 2. Сводный сравнительный анализ результатов проектирования моделей приведены в табл. 3.

**Таблица 1. Результат подсчета арматуры**

	Модель 1	Модель 2	Модель 3	Модель 4	Модель 5
Вес арматуры	775.18	607.03	775.18	574.98	631.95

**Таблица 2. Результат расчета объемов бетона**

	Модель 1	Модель 2	Модель 3	Модель 4	Модель 5
Объем, м <sup>3</sup>	7121,91	7121,91	5773,16	5907,50	4904.92

**Таблица 3. Сводный анализ результатов проектирования**

	Плотность, т/м <sup>3</sup>	Объем бетона, м <sup>3</sup>	Вес арматуры, т	Собственный вес, т	Перемещения по Z, мм	Высота здания, м	Глубина котлована, м
Модель 1	2,5	7121,91	727,38	25924.18	35	15,7	6,2
Модель 2	1,6	7121,91	562,67	16508.36	21	15,7	6,2
Модель 3	1,6	5773,16	727,38	13869.82	28	13,9	5,4
Модель 4	1,6	5907,50	534,08	13971.64	27	12,48	5,4
Модель 5	1,6	4904.92	585.24	11948.36	31	12,38	5,2

Итак, был произведен расчет и сравнительный анализ конструкции здания в вариантах, исполненных из сертифицированного бетона В25 и нанобетона, по результатам расчета был запроектирован несущий каркас здания для каждой модели и определены объемы требуемых материалов строительства. Также по результатам проектирования был произведен экономический расчет по укрупненным показателям.

Орлов Д.В. Монолитные конструкции из легкого модифицированного нанобетона на примере пятиэтажной разноуровневой автостоянки

По результатам расчета и сравнительного анализа самым эффективным вариантом оказалась Модель 5, запроектированная из нанобетона с фундаментной плитой 300 мм, расположенными по сетке колонны балками фундамента размером 600х600 мм, перекрытиями толщиной 140 мм и несущими балками 500х400 мм и 400х400. Данный вариант позволил сократить объемы бетона на 2200 м<sup>3</sup>, вес арматуры на 143 т. Общая высота за счет уменьшения поперечных сечений несущих элементов уменьшилась на 3,3 м, глубина котлована на 1 м.

Ввиду водонепроницаемости нанобетона W20 становится возможным отказаться от работ, связанных с гидроизоляцией железобетонных частей здания.

При замене сертифицированного бетона В25 на нанобетон удалось уменьшить нагрузку от собственного веса с 26 тыс. тонн до 12 тыс. тонн, что составляет более 50%. Уменьшение собственного веса здания является весьма актуальным вопросом, так как нагрузка от собственного веса составляет около 60% от общей нагрузки на здание в целом.

Для выбранной модели расчета, а именно пятиэтажного разноуровневого здания автостоянки, применение нанобетона, несмотря на значительное уменьшение объемов материалов и трудозатрат, привело к увеличению общей стоимости работ на 46 млн. рублей. Но применение нанобетона позволило уменьшить высоту здания, что в свою очередь позволяет достроить еще один этаж. Это дает дополнительно 76 м/м, в пересчете на деньги при средней стоимости одного м/м 880 тыс руб. получаем дополнительный доход в 66,8 млн. рублей, а издержки на строительство одного этажа с увеличением фундаментных работ составляют 16,6 млн. руб. В итоге экономия получается равна 4.2 млн. рублей.

Полученные результаты расчета позволяют предположить, что использование нанобетона является актуальным для специальных объектов строительства, например:

- Высотное строительство. Уменьшение собственного веса позволит существенно уменьшить объемы фундаментных работ, также за счет уменьшения собственного веса увеличивается собственная частота здания. Присутствие в составе нанобетона полых алюмосиликатных микросфер поднимает температуры дегидратации цемента до 800 °С, что позволяет избежать или частично компенсировать противопожарные мероприятия. А также для высотного строительства стоимость укладки бетона на высоте существенно дороже, чем работы на нулевой отметке, поэтому вес бетона и его объем приведут к существенному удешевлению проекта в целом.
- Подземное строительство. Водонепроницаемость W20 позволяет избежать работ, связанных с защитой сооружения от воды и влаги.
- Большепролетные конструкции. Уменьшение собственного веса с одновременным увеличением прочности бетона позволяют увеличивать пролеты.
- Строительство в плотной городской застройке. При уменьшении собственного веса здания возможно частично либо полностью избежать работ по усилению окружающей застройки. Особенно данный вопрос актуален для исторической части города, когда под угрозу попадают ценные памятники архитектуры.
- Строительство в сейсмоопасных районах. Уменьшение собственного веса снижает инерционные нагрузки на здания и позволяет частично компенсировать мероприятия, направленные на защиту зданий от землетрясений (применение виброизоляторов, демпферов и конструктивных способов защиты).

Перечисленные выше направления использования нанобетона являются очень актуальными и требуют дальнейшего изучения и исследования.

### Литература

1. Пономарев А.Н. Высококачественные бетоны. Анализ возможностей и практика использования методов нанотехнологии // Инженерно-строительный журнал. 2009. №6. С. 25-33.
2. SCAD Office. Вычислительный комплекс SCAD. М. : АСВ, 2008.
3. СНиП 2.01.07-85\* «Нагрузки и воздействия».
4. СНиП 2.02.01-83\* «Основания зданий и сооружений».
5. Пономарев А.Н., Юдович М.Е. Бетонная смесь. Патент РФ № 2355656, приоритет от 10 мая 2007 г.

*\*Данил Витальевич Орлов, Санкт-Петербург  
Тел. моб.: +7(911)989-50-05; эл. почта: danil.orlov@gmail.com*