

№1 (6)  
**2022**

# Инженерные --- ИССЛЕДОВАНИЯ

ISSN 2782-5582

## СОДЕРЖАНИЕ

АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИЙ АЭС, ПОДВЕРЖЕННЫХ УДАРУ БОЛЬШИХ КОММЕРЧЕСКИХ САМОЛЕТОВ <b>Т.Д. Талай, О.Б. Ташчи</b> .....	3-8
ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ОГРАЖДАЮЩИХ СТЕНОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ <b>Е.Ю. Чакин</b> .....	9-18
ПОВЕДЕНИЕ КОНСТРУКЦИЙ АЭС С РАЗЛИЧНЫМИ МАССОВЫМИ ВОЗДЕЙСТВИЯМИ ПРИ СЕЙСМИЧЕСКОЙ НАГРУЗКЕ <b>О.Б. Ташчи, Т.Д. Талай</b> .....	19-26
МИРОВЫЕ ТЕНДЕНЦИИ СТРОИТЕЛЬСТВА ВЫСОТНЫХ ЗДАНИЙ <b>А.А. Корсунцева</b> .....	27-32
ГОРОДСКАЯ ЛАНДШАФТНАЯ АРХИТЕКТУРА <b>Ю.С. Нечаева</b> .....	33-39

## CONTENTS

ANALYSIS OF NPP STRUCTURES EXPOSED TO IMPACT OF LARGE COMMERCIAL AIRCRAFT <b>T.C. Talay, O.B. Tasci</b> .....	3-8
ENERGY EFFICIENT THERMAL INSULATION MATERIALS FOR ENCLOSING WALL STRUCTURES <b>E.Yu. Chakin</b> .....	9-18
BEHAVIOR OF NUCLEAR POWER PLANT STRUCTURES WITH DIFFERENT MASS EFFECTS UNDER SEISMIC LOAD <b>O.B. Tasci, T.C. Talay</b> .....	19-26
WORLD TRENDS IN CONSTRUCTION OF HIGH-RISE BUILDINGS <b>A.A. Korsuntseva</b> .....	27-32
URBAN LANDSCAPE ARCHITECTURE <b>Yu.S. Nechaeva</b> .....	33-39

УДК 629.039.58

## АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИЙ АЭС, ПОДВЕРЖЕННЫХ УДАРУ БОЛЬШИХ КОММЕРЧЕСКИХ САМОЛЕТОВ

Т.Д. Талай<sup>1</sup>, О.Б. Ташчи<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,  
г. Санкт-Петербург (Российская Федерация)

**Аннотация.** Были обследованы здания атомной электростанции, на которую упал большой коммерческий самолет. Модель железобетонной конструкции была проанализирована методом конечных элементов в программе ANSYS. Было проведено сравнение линейных воздействий двух различных коммерческих самолетов на железобетонную конструкцию моделей «Боинг 707-320» и «АН-26». Кроме того, были расследованы два случая крушения грузового самолета типа АН-26 на разной скорости. В соответствии с полученными здесь результатами были определены эффекты скорости и массы в конструкциях, подвергшихся ударному воздействию. Атомные электростанции построены на прочном фундаменте. Матрица динамической жесткости и матрица демпфирования были построены путем определения средних упругих данных и коэффициента Пуассона каменистых грунтов в качестве данных о грунте для структуры, используемой для анализа. Жесткость конструкции определяется с использованием этих данных при модальном анализе с достаточным количеством режимов. Используя все интегрирования общего уравнения движения, спектры отклика на ускорение были определены методом анализа переходных процессов в соответствии со значениями жесткости и количеством режимов.

**Ключевые слова:** железобетон, самолет, ударное воздействие, атомная электростанция, удар, метод конечных элементов, спектр отклика, деформация, Boeing 707-320, АН-26, демпфирование, динамический анализ, спектры отклика на ускорение.

**Ссылка для цитирования:** Талай Т.Д., Ташчи О.Б. Анализ конструкций АЭС, подверженных удару больших коммерческих самолетов // Инженерные исследования. 2022. № 1(6). С. 3-8. URL: <http://eng-res.ru/archive/2022/1/3-8.pdf>

## ANALYSIS OF NPP STRUCTURES EXPOSED TO IMPACT OF LARGE COMMERCIAL AIRCRAFT

T.C. Talay<sup>1</sup>, O.B. Tasci<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University, St.Petersburg (Russian Federation)

**Abstract.** The buildings of the nuclear power plant were examined, on which a large commercial plane crashed. The model of the reinforced concrete structure was analyzed by the finite element method in the ANSYS program. A comparison was made between the linear effects of two different commercial aircraft on the reinforced concrete structure of the Boeing 707-320 and AN-26 models. In addition, two cases of an AN-26 cargo plane crash at different speeds were investigated. In accordance with the results obtained here, the effects of velocity and mass in structures subjected to impact were determined. Nuclear power plants are built on solid foundations. The dynamic stiffness matrix and the damping matrix were constructed by determining the average elastic data and Poisson's ratio of stony soils as the soil data for the structure used for the analysis. The stiffness of the structure is determined using this data in a modal analysis with a sufficient number of modes. Using all the integrations of the general equation of motion, the acceleration response spectra were determined by transient analysis in accordance with the stiffness values and the number of modes.

**Keywords:** reinforced concrete, aircraft, shock effect, Nuclear Power Plant, impact, finite element method, response spectrum, deformation, Boeing 707-320, AN-26, damping, dynamic analysis, acceleration response spectra.

**For citation:** Talay T.C., Tasci O.B. Analysis of NPP structures exposed to impact of large commercial aircraft // Inzhenernyye issledovaniya [Engineering Research]. 2022. No. 1(6). Pp. 3-8. URL: <http://eng-res.ru/archive/2022/1/3-8.pdf>

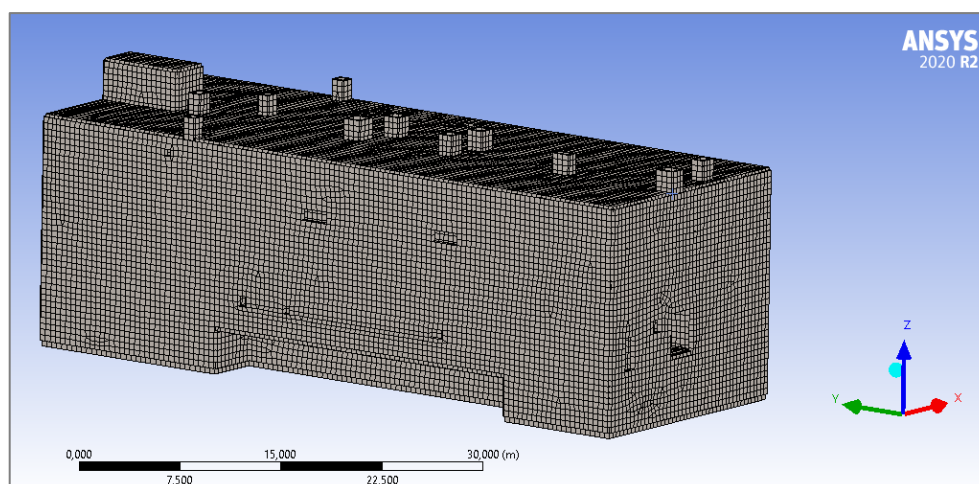
## ВВЕДЕНИЕ

Мировой спрос на энергию продолжает расти из-за достижений в области технологий и роста населения. Количество атомных электростанций также увеличивается из-за растущего спроса на энергию. Для продолжения безопасной эксплуатации станции необходимо обеспечить безопасную работу ее систем внутри АЭС при воздействии удара [1]. Террористические атаки 11 сентября 2001 года показали, что удар самолета, врезавшегося в здания, является элементом, который ставит под угрозу безопасность конструкции. Этот эффект следует учитывать при строительстве АЭС, которые относятся к особо рискованным сооружениям. Воздействие самолета на конструкции варьируется в зависимости от скорости самолета, типа самолета и количества топлива в нем [2-4]. Данные по этому поводу предоставлены Международным атомным агентством (МАГАТЭ). В этом исследовании были использованы данные, полученные отсюда [5-7].

Цель работы - является определение поведения конструкции при ударе самолета и изучение взаимосвязи спектров реакции с различными данными самолета путем их сравнения.

## ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ КОНСТРУКЦИИ

С помощью программного обеспечения ANSYS была создана конечно-элементная модель здания для моделирования поведения железобетонной конструкции при динамических нагрузках (рис. 1). Имитируемое служебное здание АЭС имеет 3 этажа. Размеры здания 52,40 м - 19,50 м, высота 18,65 м. Все внешние стены из несущего железобетона, их толщина 40 см, толщина внутренних стен 20 см, толщина железобетонных перекрытий 40 см. Толщина фундаментной плиты 90 см. Применяется бетон класса В35 / 45.



**Рис. 1.** Структурная модель, созданная в программе ANSYS  
**Fig. 1.** The structural model created in the ANSYS program

Некоторые проблемы возникают при применении метода конечных элементов к железобетонным конструкциям. Железобетонная конструкция должна быть смоделирована в 2D или 3D. Кроме того, нелинейность графика напряжений и деформаций бетона усложняет расчеты. Для этого анализ железобетонной конструкции методом конечных элементов может быть проведен с помощью компьютерных программ. Таким образом, каждая поверхность анализируемой конструкции делится на сетки размером 0,50 метра, и результат анализа всей конструкции получается путем применения дифференциальных решений к каждому элементу [8].

## ДАННЫЕ О САМОЛЕТАХ, ИСПОЛЬЗОВАННЫХ В АНАЛИЗЕ

При анализе использовались две модели самолетов. Это модели Boeing 707-320<sup>1</sup> и Ан-26<sup>2</sup>. Характеристики этих самолетов приведены в Табл. 1 и Табл. 2. Были использованы значения нагрузки двух различных скоростей грузового самолета Ан-26.

<sup>1</sup> Boeing 707 - пассажирский самолет. Фото, характеристики, отзывы. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.airlines-inform.ru/commercial-aircraft/boeing-707.html> (дата обращения: 25.12.2021).

<sup>2</sup> Антонов Ан-26 - пассажирский самолет. Фото, характеристики, отзывы [Электронный ресурс]. -URL: <https://www.airlines-inform.ru/commercial-aircraft/an-26.html> (дата обращения: 25.12.2021).

Таблица 1. Технические характеристики Boeing 707-320  
 Table 1. Technical specifications Boeing 707-320

№	Параметры	Значения
1	Размах крыла, м	44,40
2	Длина самолета, м	46,60
3	Высота самолета, м	12,70
4	Число двигателя, шт	4
5	Масса максимальная взлетная, кг	151300
6	Макс. крейсерская скорость (км/ч)	965

Таблица 2. Технические характеристики АН-26  
 Table 2. Technical specifications AN-26

№	Параметры	Значения
1	Размах крыла, м	29,20
2	Длина самолета, м	23,80
3	Высота самолета, м	8,58
4	Число двигателя, шт	2
5	Масса максимальная взлетная, кг	24000
6	Макс. крейсерская скорость (км/ч)	440

МАГАТЭ предоставляет информацию для анализа удара самолета о атомные электростанции. Соответственно, для Boeing 707-320 предполагалось, что самолет разбился на скорости 360 км/ч. Для этого умножения создается график нагрузки, зависящий от времени (рис. 3). Для Ан-26 построены графики нагрузки от времени для скоростей 220 км/ч и 430 км/ч (рис. 5) [5, 9].



Рис. 2. Общий вид самолета Boeing 707-320  
 Fig. 2. General view of the Boeing 707-320 aircraft

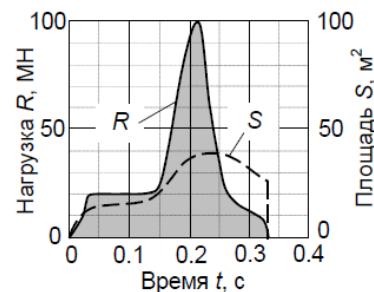


Рис. 3. График Время – Нагрузка Boeing 707-320  
 Fig. 3. Time - Load Graph Boeing 707-320



Рис. 4. Общий вид самолета АН-26  
 Fig. 4. General view of the AN-26 aircraft

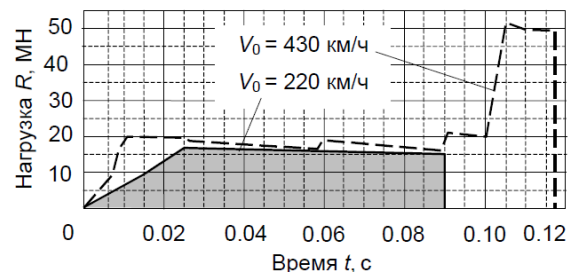
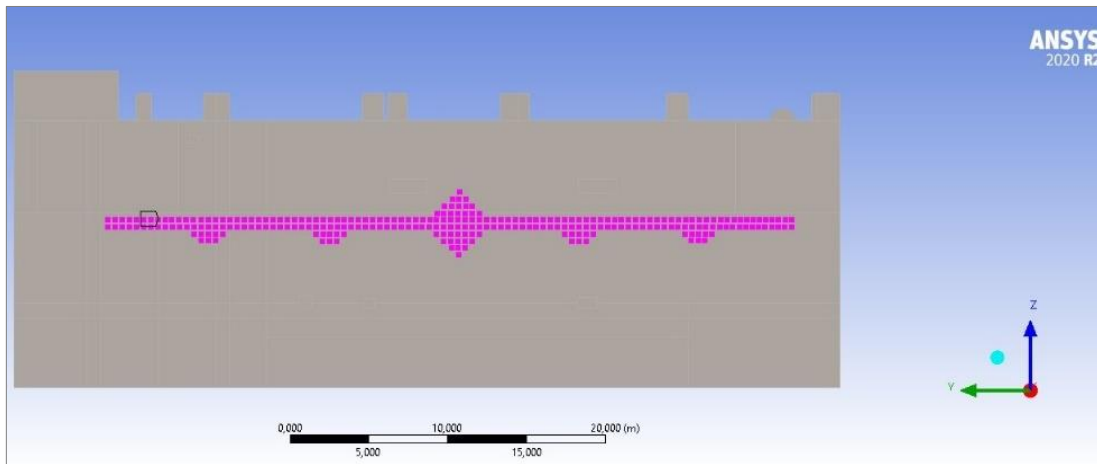
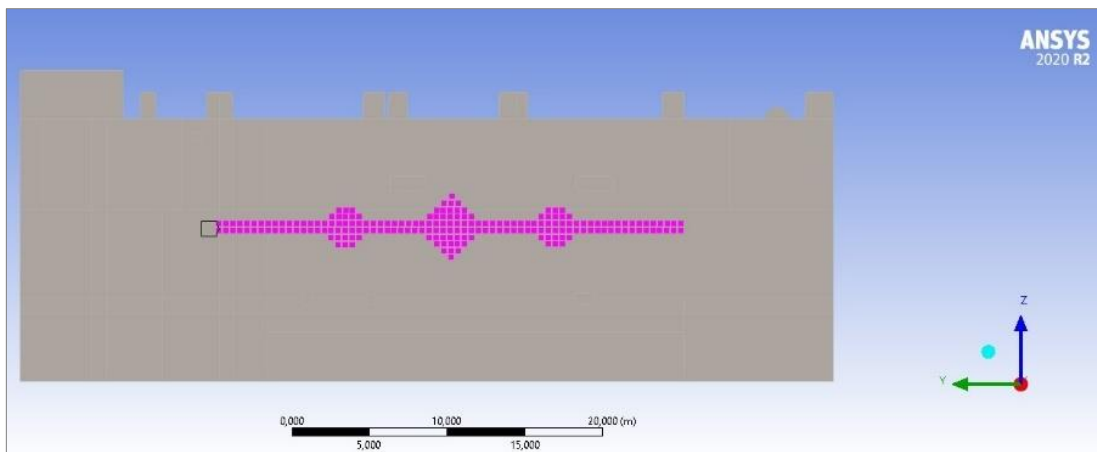


Рис. 5. График Время – Нагрузка АН-26  
 Fig. 5. Time - Load Graph AN-26

Определяется проекция самолета в момент удара о здание. К проекции самолета в этой конструкции прилагаются точечные нагрузки, зависящие от времени. В зависимости от этих нагрузок определяются воздействия на конструкцию. Размах крыла самолета типа Боинг 707-320 составляет 44,40 метра. На каждом крыле по два двигателя (рис. 6). Размах крыла самолета АН-26 составляет 29,20 метра. Каждое крыло имеет двигатель (рис. 7).



**Рис. 6.** Проекция самолета в железобетонной конструкции – Boeing 707-320  
**Fig. 6.** Projection of aircraft in reinforced concrete structure - Boeing 707-320



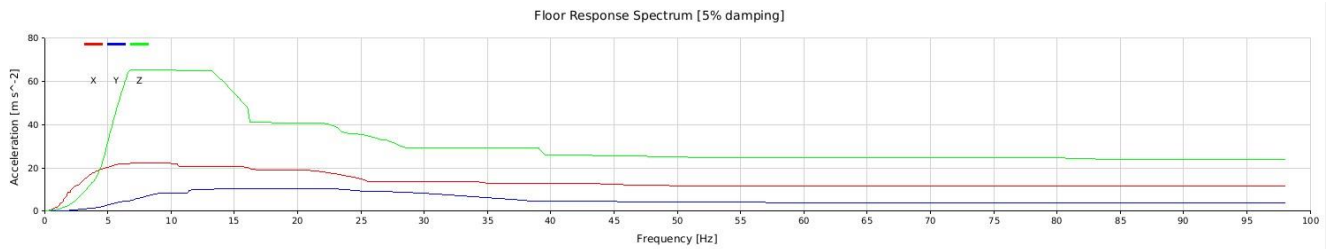
**Рис. 7.** Проекция самолета в железобетонной конструкции – AN-26  
**Fig. 7.** Projection of aircraft in reinforced concrete structure – AN-26

#### РЕЗУЛЬТАТЫ АНАЛИЗА

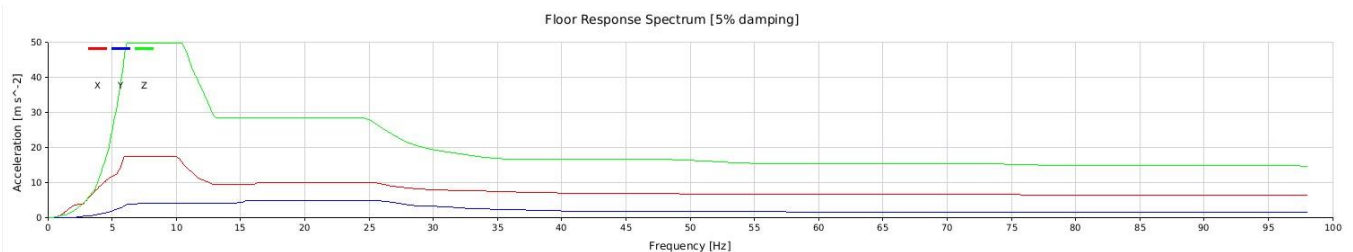
Спектр реакции представляет собой график наибольшего отклика (наибольшее перемещение, скорость, ускорение или другие величины) систем с одинаковым коэффициентом демпфирования, но с разными периодами собственных колебаний на определенную функцию нагрузки или, в случае землетрясения, на движение грунта. Горизонтальная ось показывает частоту, а вертикальная ось показывает наибольший отклик.

Во время анализа ускорения регистрировались как функция времени (запись ускорения) в трех направлениях в целевых точках на одинаковых уровнях высоты. Расчеты конструкций АЭС проводились методом спектра реакции с 5% -ным демпфированием при динамических нагрузках. Исходными данными, относящимися к динамическим нагрузкам в конструкции, являются спектры реакции деформации, скорости и ускорения в соответствии с теорией спектра реакции. Наиболее часто используемой моделью отклика является спектр отклика ускорения.

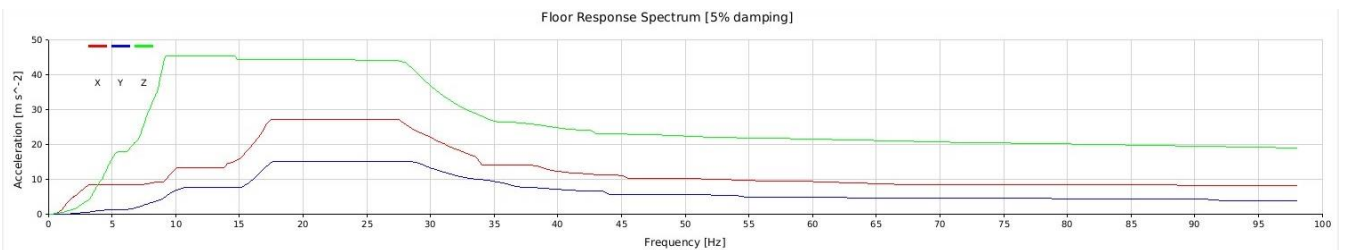
Во-первых, был создан спектр реакции ускорения, образованный ударным воздействием при врезании в здание пассажирского самолета типа Боинг 707-320 на скорости 360 км/ч. Затем были построены спектры разгона грузового самолета типа Ан-26 на скоростях 220 км/ч и 430 км/ч за счет ударного воздействия от удара о здание. Коэффициент демпфирования был принят равным 5% для всех трех случаев.



**Рис. 8.** График Ускорения - Частота (Гц) – Boeing 707-320 (360 км/ч)  
**Fig. 8.** Acceleration – Frequency (Hz) Graph - Boeing 707-320 (360 km/h)



**Рис. 9.** График Ускорения - Частота (Гц) – AN-26 (220 км/ч)  
**Fig. 9.** Acceleration – Frequency (Hz) Graph – AN-26 (220 km/h)



**Рис. 10.** График Ускорения - Частота (Гц) – AN-26 (430 км/ч)  
**Fig. 10.** Acceleration – Frequency (Hz) Graph - AN-26 (430 km/h)

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам анализа, представленным выше, мы видим, что в первом случае самолет типа Боинг 707-320 вызвал сильное ускорение конструкции. Причина этого в том, что масса пассажирского самолета выше грузового самолета типа AN-26. Даже в случае крушения грузового самолета на большей скорости это значение ускорения не могло быть достигнуто. Эта ситуация показывает влияние массы поражающего объекта на конструкции, подвергшиеся ударному воздействию. При рассмотрении графики грузового самолета типа AN-26 видно, что вторым важным фактором является скорость. Значения максимального ускорения близки друг к другу. Однако ударная нагрузка, действующая на конструкцию, вызывает большие колебания конструкции. Хотя скорость увеличена примерно вдвое, время гашения удара намного больше. Таким образом, в выводах, сделанных по результатам анализа, наблюдались эффекты скорости и массы. Увеличение скорости и массы вызывает большие колебания конструкции.

Принципы проектирования АЭС, основанные на воздействии последствий авиакатастрофы, должны быть включены в нормативные документы стран, где расположена АЭС. В ходе исследований были определены величины спектров ускорения от единичного удара самолета. В проектируемых зданиях и сооружениях АЭС необходимо наносить «удары» по всем характерным местам, а затем учитывать результаты, полученные при проектировании.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чернуха Н.А., Лалин В.В., Бирбраер А.Н. Вероятностное обоснование динамических нагрузок на оборудование АЭС при ударе самолета // Материаловедение Энергетика. 2017. Т. 23. № 4. С. 159-171. DOI: 10.18721/JEST.230416
2. Sadique M.R., Iqbal M.A., Bhargava P. Nuclear containment structure subjected to commercial and fighter aircraft crash // Nuclear Engineering and Design. 2013. Vol. 260. С. 30-46.



3. Abbas H. et al. Aircraft crash upon outer containment of nuclear power plant // Nuclear Engineering and Design. 1996. Vol. 160. С.13-50.
4. Zhang T. и др. Numerical simulations of nuclear power plant containment subjected to aircraft impact // Nuclear Engineering and Design. Elsevier Ltd, 2017. Vol. 320. С. 207-221.
5. IAEA Safety Standards Series External Human Induced Events In Site Evaluation For Nuclear Power Plants International Atomic Energy Agency Vienna.
6. Fedorenko R. v. et al. Strength analysis of nuclear power plant structures in case of aircraft crash impact // Procedia Structural Integrity. Elsevier B.V., 2017. Vol. 6. С. 244-251.
7. Arros J., Doumbalski N. Analysis of aircraft impact to concrete structures // Nuclear Engineering and Design. 2007. Vol. 237. № 12-13. С. 1241-1249.
8. Rapp В.Е. Finite Element Method // Microfluidics: Modelling, Mechanics and Mathematics. Elsevier, 2017. С. 655-678.
9. Birbraer A.N., Roleder A.J. Экстремальные воздействия на сооружения. 2009. С. 249-253.

#### ОБ АВТОРАХ

**Талат Джан Талай** – студент. Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (СПбПУ). 195251, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д.29. E-mail: talaytalat@gmail.com

**Омер Бугра Ташчи** – студент. Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (СПбПУ). 195251, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д.29. E-mail: tascibugra@gmail.com

#### ABOUT THE AUTHORS

**Talat Can Talay** – student. Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University (SPbPU). 195251, Russia, St.Petersburg, Polytechnicheskaya st., 29. E-mail: talaytalat@gmail.com

**Omer Bugra Tasci** – student. Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University (SPbPU). 195251, Russia, St.Petersburg, Polytechnicheskaya st., 29. E-mail: tascibugra@gmail.com



УДК 699.86

## ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ОГРАЖДАЮЩИХ СТЕНОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ

**Е.Ю. Чакин**

*Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,  
г. Санкт-Петербург (Российская Федерация)*

**Аннотация.** Правильный выбор энергоэффективного теплоизоляционного материала способствует повышению эксплуатационных характеристик здания. При этом эти материалы должны характеризоваться доступностью сырья, малой энергоемкостью и низкой себестоимостью производства, обладать водо- и морозостойкостью, механической прочностью, экологической и пожарной безопасностью. В статье рассмотрены и проанализированы основные теплотехнические и стоимостные характеристики теплоизоляционных материалов, представленных на строительном рынке Санкт-Петербурга, таких, как: каменная вата, стекловата, фибролитовые плиты и экструдированный пенополистирол. Выполнен теплотехнический расчет и сравнительный анализ теплофизических характеристик рассматриваемых теплоизоляционных материалов, по итогам которого были определены наиболее эффективные утеплители по критериям энергетической и экономической эффективности, долговечности, пожароопасности. По итогам расчетов и сравнительного анализа было получено, что наиболее эффективным и рациональным со всех точек зрения будет использование теплоизоляционных материалов из каменной ваты.

**Ключевые слова:** теплоизоляционные материалы, утеплитель, ограждающие конструкции, энергоэффективность, каменная вата, стекловата, фибролитовые плиты, экструдированный пенополистирол, теплотехнический расчет.

**Ссылка для цитирования:** Чакин Е.Ю. Энергоэффективные теплоизоляционные материалы для ограждающих стеновых конструкций // Инженерные исследования. 2022. № 1(6). С. 9-18. URL: <http://eng-res.ru/archive/2022/1/9-18.pdf>

## ENERGY EFFICIENT THERMAL INSULATION MATERIALS FOR ENCLOSING WALL STRUCTURES

**E.Yu. Chakin**

*Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University, St.Petersburg (Russian Federation)*

**Abstract.** The right choice of energy-efficient thermal insulation material improves the performance of the building. At the same time, these materials should be characterized by the availability of raw materials, low energy intensity and low production costs, have water and frost resistance, mechanical strength, environmental and fire safety. The article discusses and analyzes the main heat engineering and cost characteristics of heat-insulating materials presented on the construction market of St. Petersburg, such as stone wool, glass wool, fibrolite boards and extruded polystyrene foam. A thermotechnical calculation and a comparative analysis of the thermophysical characteristics of the considered heat-insulating materials were performed, as a result of which the most effective heaters were determined according to the criteria of energy and economic efficiency, durability, and fire hazard. Based on the results of calculations and comparative analysis, it was found that the most efficient and rational from all points of view would be the use of heat-insulating materials made of stone wool.

**Keywords:** thermal insulation materials, insulation, enclosing structures, energy efficiency, stone wool, fiberglass, fiberboard, extruded polystyrene foam, thermal engineering calculation.

**For citation:** Chakin E.Yu. Energy efficient thermal insulation materials for enclosing wall structures // Inzhenernyye issledovaniya [Engineering Research]. 2022. No. 1(6). Pp. 9-18. URL: <http://eng-res.ru/archive/2022/1/9-18.pdf>

## ВВЕДЕНИЕ

Теплоизоляция является одним из наиболее приоритетных направлений в строительстве на сегодняшний день, поскольку, выбор энергоэффективного теплоизоляционного материала, приведет к повышению эксплуатационных характеристик здания. Здание с правильно подобранным утеплителем гораздо меньше промерзает зимой, что снижает затраты на его отопление. Также здание менее склонно к перегреву летом, сохраняя внутри комфортную температуру, благодаря чему экономится ресурс кондиционерного оборудования.

К энергоэффективным теплоизоляционным материалам относят утеплители, имеющие коэффициент теплопроводности не выше  $0,06 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°C)}$ . При этом данные материалы должны характеризоваться доступностью сырья, малой энергоемкостью и низкой себестоимостью производства, обладать водо- и морозостойкостью, механической прочностью, экологической и пожарной безопасностью [1-4].

Наличие теплоизоляции дает возможность избежать резких скачков температуры в помещении. Отсутствие существенных колебаний температуры дает возможность убрать благоприятные условия для образования конденсата. Именно применение теплоизоляции исключает появление сырости и развития плесени. Конечно при условии, что влага не образовывается внутри помещения слишком интенсивно от других факторов или накапливается в результате отсутствия гидроизоляции между фундаментом и фасадными стенами.

Стоит отметить, что теплоизоляционные материалы помимо своего прямого предназначения обладают также звукоизоляционными свойствами.

Чтобы защитить здание от теплопотерь и повышенной влажности, его покрывают различными типами утеплителей [5, 6]. Выбрать лучший из них очень сложно, ведь у каждого изделия собственные уникальные свойства и область применения. Теплоизоляционные материалы, которые применяются в современном строительстве, с одной стороны - экологичны, с другой – удобны в монтаже. Изучив основные виды утеплителей, можно выбрать лучший теплоизоляционный материал.

Во время отопительного сезона неизбежно происходят потери тепловой энергии через наружные ограждающие конструкции (трансмиссионные потери), в том числе сквозь стены, которые могут составлять от 30 до 80 % всей теряемой энергии. Не утепленные и плохо утепленные наружные стены способствуют большому расходу энергии и создают в помещении дискомфортный микроклимат. Чем выше уровень теплоизоляции наружных ограждающих конструкций, тем меньше оказываются потери тепловой энергии в здании через оболочку, а значит, можно сэкономить энергетические ресурсы и уменьшить платежи жителей за тепловую энергию [7].

В случае применения эффективного теплоизоляционного материала разница в температурах воздуха и поверхности стены так мала, что воздух охлаждается незначительно, не вызывая дискомфорта. Холодные наружные стены в помещениях, воздух которых характеризуется повышенной влажностью, способствуют образованию конденсата (особенно в области "мостиков холода"), следствием чего является намокание элементов конструкции, снижение их эксплуатационных параметров и образование плесени. Это оказывает отрицательное влияние на самочувствие и здоровье жильцов. Эти проблемы можно решить посредством достаточного утепления наружных стен. При утеплении фасадов зданий значительно снижаются шумовые нагрузки, которые оказывают влияние на психическое состояние людей. В помещениях здания, утепленного системой теплоизоляции, постоянно сохраняется благоприятный тепловлажностный режим [8].

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Существует довольно широкий ассортимент предлагаемых на рынке материалов, которые могут применяться в качестве эффективного утеплителя. Для нашего сравнения выберем четыре распространённых на данный момент времени утеплителя, основные теплотехнические характеристики которых представлены в табл. 1. А в табл. 2 представлены основные пожаротехнические характеристики теплоизоляционных материалов.

Выбранные виды теплоизоляционных материалов:

1. Каменная вата
2. Стекловата
3. Фибролитовые плиты
4. Экструдированный пенополистирол

Таблица 1. Основные характеристики теплоизоляционных материалов  
Table 1. The main characteristics of thermal insulation materials

Название материала	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К)	Паропроницаемость, мг/м·ч·Па	Долговечность, лет
Каменная вата	10-190	0,030-0,059	0,25-0,35	До 50
Стекловата	10-140	0,032-0,043	0,40-0,70	От 20 до 50
Фибролитовые плиты	250-1050	0,06-0,17	0,03-0,15	Более 60
Экструдированный пенополистирол	19-45	0,026-0,034	0,018	До 50

Таблица 2. Основные противопожарные характеристики материалов  
Table 2. Basic fire performance characteristics of materials

Название материала	Горючесть	Воспламеняемость	Дымообразующая способность	Токсичность
Каменная вата	НГ	В1	Д1	-
Стекловата	НГ	В1	Д1	-
Фибролитовые плиты	Г1	В1	Д1	-
Экструдированный пенополистирол	Г3-Г4	В2-В3	Д3	Т3,Т4

Каменная вата - это волокнистый теплоизоляционный материал, получаемый из силикатных расплавов горных, вулканических пород, а также базальта. Данный утеплитель имеет отличные технические характеристики, благодаря которым он стал широко востребованным в сфере теплоизоляции жилых и нежилых объектов. Основой для производства каменной ваты служит базальт, который плавят в специальных печах при температуре около 1500°C.

При производстве из такой расплавленной базальтовой массы формируются волокна, в которые потом добавляют синтетическое связующее, которое скрепляет эти волокна, а также дополнительные химические «присадки», с помощью которых вату пытаются наделять такими свойствами как, например, гидрофобность, плотность и т.п. В итоге мы получаем материал с открытой ячеистой структурой, который в зависимости от модификации способен работать при температурах до 1000°C [9].

Стекловата по своему внешнему виду очень похожа на каменную и шлаковую вату. Все они входят в группу минеральной ваты согласно принятому у нас ГОСТ 31913-2011. Для её изготовления применяют то же сырьё, что и для изготовления обыкновенного стекла либо стеклобой. Она обладает высокой химической устойчивостью, плотность стекловаты составляет до 130 килограмм на метр кубический. Её изготавливают из песка, соды, доломитов, буры и известняков. В наше время используется стеклобой. Материал обладает большим объёмом, потому что содержит много воздуха. Поэтому он подвергается прессованию. Это делается для экономии пространства во время перевозки и хранения. Её упругость позволяет полностью восстановить первоначальный размер. Её волокна обладают толщиной 3-15 микрометров, они в 2-4 раза длиннее, чем у каменной ваты. Поэтому стекловата имеет высокую упругость и прочность. Она почти полностью состоит из волокон и имеет устойчивость к вибрациям. Не горит [10].

Основным же недостатком стекловаты является экологические последствия изготовления данного утеплителя. Изготовление стекла требует большого количества затрат энергии, что приводит к выбросу продуктов сжигания топлива, которые поступают в окружающую среду [11].

Фибролитовая плита (фиброплита) – утеплитель, который состоит из древесной стружки особой формы и застывшего цементного камня. Изготовление материала производится методом прессования. Прочность древесно-стружечных плит гораздо выше, чем аналогичных древесно-волокнистых. Плиты в своем составе не содержат вредных компонентов, таких как фенол, асбест и т.д., которые могут губительно повлиять на здоровье человека. В состав фибролитовых плит входит древесина, которую нам дает природа. Стоит отметить, что древесина является возобновляемым ресурсом планеты, в отличие от нефтепродуктов, которые используются для изготовления синтетических утеплителей. Кроме того, древесная стружка, может быть изготовлена из отходов лесоперерабатывающей промышленности, что помогает удешевить стоимость материала и добиться безотходного производства [12].

Экструдированный пенополистирол – синтетический материал для теплоизоляции, разработанный американской строительной компанией в 50-е годы XX века. Этот материал имеет такое свойство как равномерная структура, которая состоит из мелких закрытых ячеек, размерами от 0,1-0,2 мм. В производстве гранулы полистирола смешивают при достаточно высоких давлениях и температуре, вводят

вспенивающие смеси легких фреонов и двуокись углерода, называемыми агентом, после этого выдавливают из экструдера. Так же немаловажное качества утеплителя из этого материала – это полное отсутствие водопоглощения. Результаты прошедших испытаний показывают, что водопоглотительная способность этого материала составляет не более 0,2% по объему. При этом заполняются лишь ячейки, расположенные на поверхности, а во внутрь экструдированного пенополистирола влага не попадает. Благодаря этому свойству материал можно применять для устройства пола, кровли и подвала, причем дополнительная защита материала не требуется [12].

Все выбранные теплоизоляционные материалы обладают своими преимуществами и недостатками, которые сведены в табл. 3.

Таблица 3. Преимущества (+) и недостатки (-) теплоизоляционных материалов  
 Table 3. Advantages (+) and disadvantages (-) of thermal insulation materials

Свойства теплоизоляционных материалов	Каменная вата	Стекловата	Фибролитовые плиты	Экструдированный пенополистирол
Высокая звукоизоляция	+	-	+	-
Морозостойкость	+	+	+	+
Долговечность	+	-	+	+
Огнестойкость	+	+	+	-
Низкая паропроницаемость	+	-	+	+
Экологичность	+	-	+	-
Водостойкость	+	+	-	+
Нетоксичность	+	+	+	-
Биостойкость	+	-	+	+
Пыльность	+	-	-	-
Высокая стоимость	-	-	+	+

Для более детального сравнения, рассмотрим различные виды утеплителей от разных производителей с одинаковой толщиной теплоизоляционного слоя; результаты сравнения сведены в табл.4. Для большей наглядности сведем полученные результаты в графики (рис.1 – рис.4).

Таблица 4. Сравнение производителей теплоизоляционных материалов (толщина утеплителя - 50 мм)  
 Table 4. Comparison of manufacturers of thermal insulation materials (insulation thickness - 50 mm)

Производитель	Утеплитель	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Теплопроводность, мВт/(м°К)	Стоимость утеплителя за упаковку, руб.	Площадь упаковки, м <sup>2</sup>	Стоимость утеплителя за м <sup>2</sup> , руб.
<b>Каменная вата</b>						
ISOVER	ИЗОВЕР ТЕПЛЫЕ СТЕНЫ СТРОНГ	21	0,034	690,00	6,10	113,11
	ИЗОВЕР ТЕПЛЫЙ ДОМ	12,5	0,038	951,00	9,99	95,20
	ИЗОВЕР ПРОФИ	14	0,037	936,00	10,00	93,60
KNAUF	ТЕПЛОКНАУФ NORD 032 (НОРД)	30	0,032	1990,00	7,38	269,65
	ТеплоКНАУФ Для Кровли и стен	14,5	0,036	2175,00	12,00	181,25
	КНАУФ NORD 033 (НОРД)	25	0,033	2090,00	9,00	232,22
ROCKWOOL	Rockwool Лайт Баттс Скандик	32	0,036	939,00	5,76	163,02
	Rockwool Лайт Баттс Экстра	45	0,035	1128,00	4,80	235,00
	Rockwool Эконом	29	0,039	790,00	7,20	109,72
IZOVOL	Izovol Л-35	35	0,035	997,00	5,76	173,09
	IZOVOL СТ-50	50	0,035	1125,00	5,76	195,31
	Izovol Izobel Л-25	25	0,035	695,00	4,80	144,79

Производитель	Утеплитель	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Теплопроводность, мВт/(м°К)	Стоимость утеплителя за упаковку, руб.	Площадь упаковки, м <sup>2</sup>	Стоимость утеплителя за м <sup>2</sup> , руб.
Технониколь	ТЕХНОНИКОЛЬ ТЕХНОФАС ЭФФЕКТ	131	0,037	2601,00	4,32	602,08
	ТЕХНОНИКОЛЬ РОКЛАЙТ	35	0,036	1306,00	8,64	151,16
	ТЕХНОНИКОЛЬ Технолайт Оптима	38	0,035	1745,00	8,64	201,97
<b>Стекловата</b>						
ISOVER	Isover Теплый Дом Твин	11	0,040	1254,00	13,40	93,58
ISOROC	Isoroc Супер Теплый	28	0,032	957,00	6,10	156,89
URSA	Ursa Terra	16	0,036	979,00	7,63	128,31
	Ursa Geo Лайт	11	0,044	1695,00	15,00	113,00
	Ursa Универсальная	16	0,036	899,00	7,50	119,87
<b>Фибролитовые плиты</b>						
GreenBoard	GreenBoard GB1	300	0.063	893,00	1,80	496,11
	GreenBoard GB600	600	0.095	1384,00	1,80	768,89
NORDECO	NORDECO-400	400	0,090	908,00	1,56	582,05
<b>Экструдированный пенополистирол</b>						
ПЕНОПЛЭКС	ПЕНОПЛЭКС КОМФОРТ	19	0,034	1593,00	4,83	329,81
Технониколь	ТЕХНОНИКОЛЬ CARBON ECO	24	0,032	1926,00	5,48	351,46
URSA	URSA XPS СТАНДАРТ N-II-L	30	0,030	2039,00	5,66	360,25
	URSA XPS N-III-G3-L	35	0,032	2464,00	5,66	435,34
	URSA XPS N-III-L pro	35	0,030	1908,00	4,96	384,68

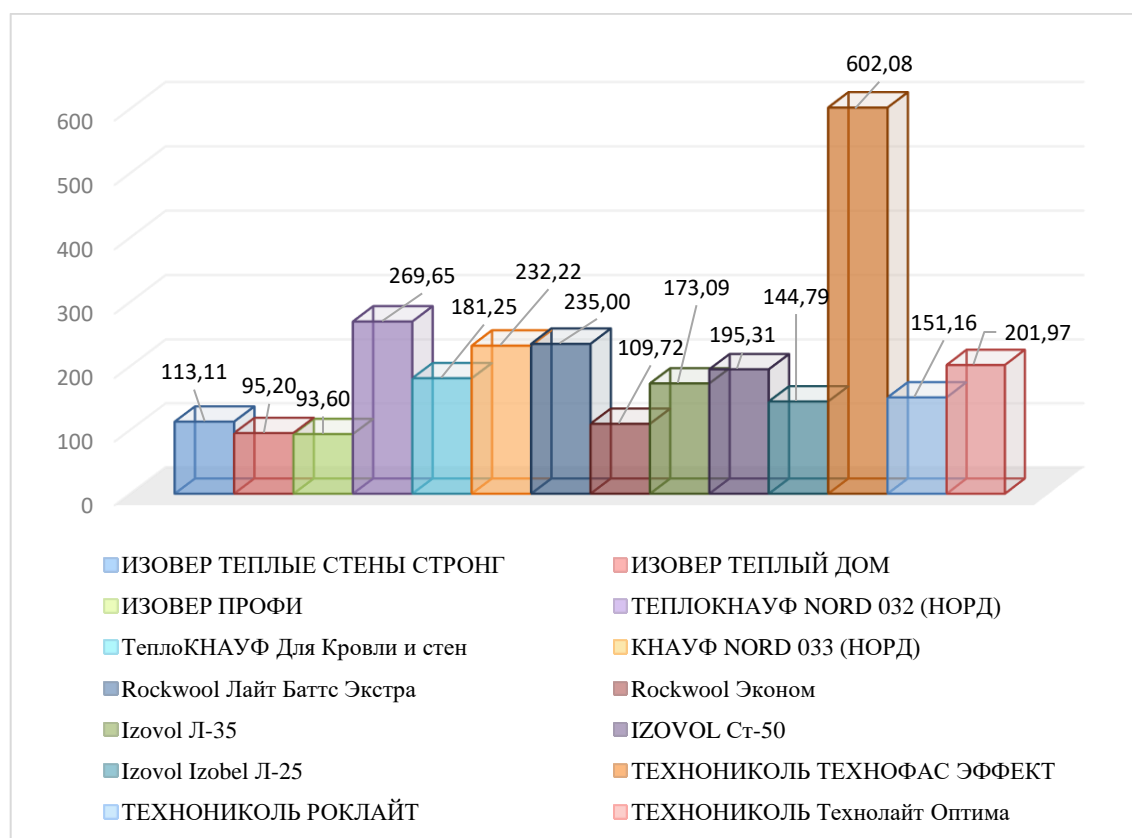
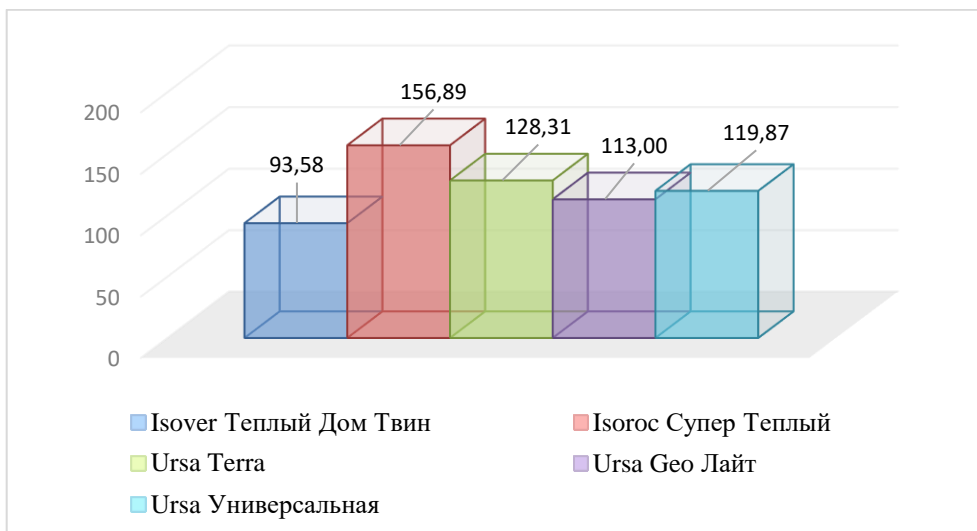
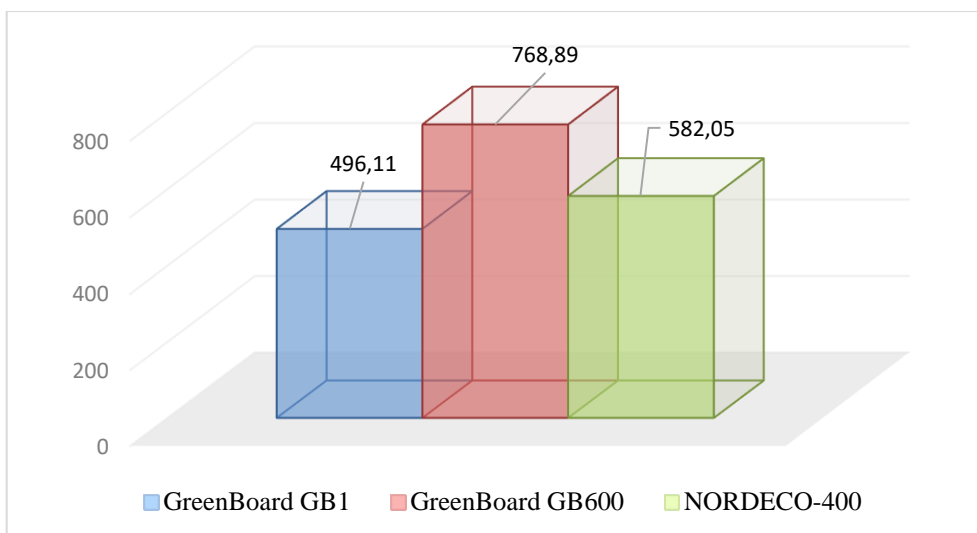


Рис. 1. Стоимость квадратного метра (каменная вата)

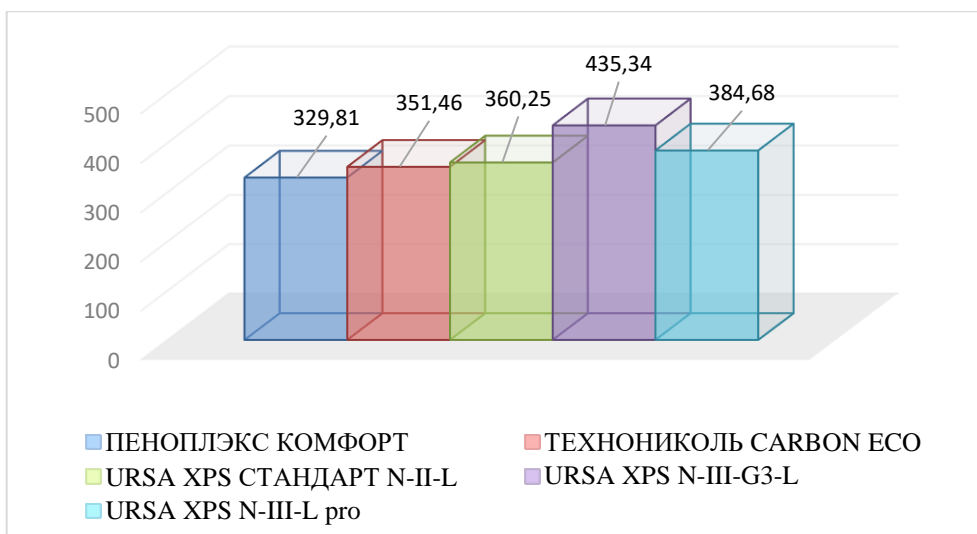
Fig. 1. Cost per square meter (stone wool)



**Рис. 2.** Стоимость квадратного метра (стекловата)  
**Fig. 2.** Cost per square meter (glass wool)



**Рис. 3.** Стоимость квадратного метра (фибритовые плиты)  
**Fig. 3.** Cost per square meter (fibreboard)



**Рис. 4.** Стоимость квадратного метра (экструдированный пенополистирол)  
**Fig. 4.** Cost per square meter (extruded polystyrene foam)



Обеспечение необходимого сопротивления теплопередаче несветопрозрачных ограждений связано с подбором наиболее эффективного утеплителя и применения общепринятых подходов, направленных на повышение теплотехнической однородности ограждающих конструкций за счет уменьшения влияния теплопроводных включений. Для достижения нормативных показателей, обусловленных современными требованиями к энергоэффективности, наружные стены зданий делают многослойными, включающими несущий и теплоизоляционный слой [13].

Далее для сравнительного анализа будем использовать климатические данные г. Санкт-Петербург.

По формуле (1) согласно СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий» определим нормируемое значение приведенного сопротивления теплопередачи ограждающей стеновой конструкции:

$$R_0^{\text{норм}} = R_0^{\text{тп}} \cdot m_p \quad (1)$$

$R_0^{\text{тп}}$  - базовое значение требуемого сопротивления теплопередаче ограждающих конструкции стены.

Для г. Санкт-Петербург в зданиях жилые, гостиницы и общежития  $R_0^{\text{тп}} = 3,08$  Вт/(м·°C).

$m_p$ - коэффициент, учитывающий особенности региона строительства (принимается равным:  $m_p = 0,95$  – для стен).

$$R_0^{\text{норм}} = 3,08 \cdot 0,95 = 2,93 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}{\text{Вт}}$$

Так, требуемую толщину однородного материала можно найти по формуле (2):

$$\delta = R_0^{\text{норм}} \cdot \lambda \quad (2)$$

Проведем сравнение основных и современных теплоизоляционных материалов для того чтобы наглядно показать какой толщины необходим материал для выполнения требования  $R_{\text{тп}} \geq R_0^{\text{норм}}$  и рассчитать экономическую эффективность данных материалов.

Так для ИЗОВЕР ТЕПЛЫЕ СТЕНЫ СТРОНГ рассчитаем требуемую толщину однородного материала:

$$\delta = 2,93 \cdot 0,034 = 0,100 \text{ м}$$

Для сравнительного анализа условно примем проектируемое здание с общей площадью наружных стен 5000 м<sup>2</sup> (S), тогда можем рассчитать требуемое количество теплоизоляционного материала (сколько слоёв утеплителя необходимо), зная требуемую толщину однородного материала ( $\delta$ ) можно узнать какое количество утеплителя толщиной 50мм. понадобится.

$$n = \frac{\delta}{t} = \frac{0,100}{0,050} = 2$$

Тогда, затраты на теплоизоляцию (ЗТ), проектируемого здания, однородным материалом, будут составлять произведение стоимости утеплителя за м<sup>2</sup> (С) на требуемое количество слоев теплоизоляционного материала:

$$ЗТ = С \cdot S \cdot n = 113,11 \cdot 5000 \cdot 2 = 1131,10 \text{ тыс.руб.}$$

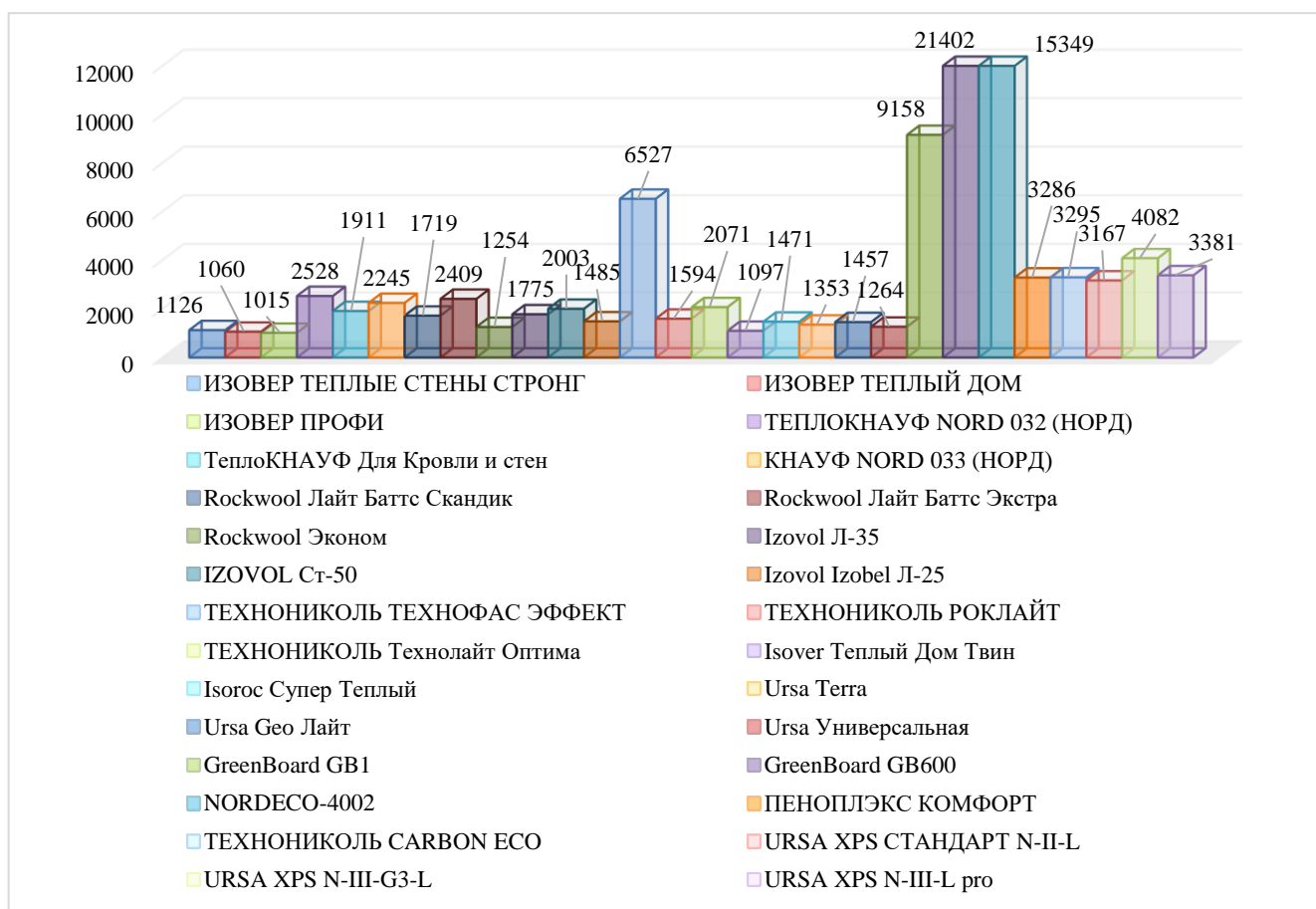
Все затраты на теплоизоляционные материалы для различных видов утеплителей и производителей приведены в табл.5. Для большей наглядности полученный объем затрат сведем в общий график (рис.5).

Таблица 5. Затраты на теплоизоляционные материалы (толщина утеплителя - 50 мм)  
 Table 5. The cost of thermal insulation materials (insulation thickness - 50 mm)

Производитель	Утеплитель	Требуемая толщина утеплителя, м	Необходимое количество слоёв утеплителя, м <sup>2</sup>	Затраты на теплоизоляцию, тыс. руб.
Каменная вата				
ISOVER	ИЗОВЕР ТЕПЛЫЕ СТЕНЫ СТРОНГ	0,100	1,99	1126,80
	ИЗОВЕР ТЕПЛЫЙ ДОМ	0,111	2,23	1059,96
	ИЗОВЕР ПРОФИ	0,108	2,17	1014,72
KNAUF	ТЕПЛОКНАУФ NORD 032 (НОРД)	0,094	1,88	2528,24
	ТеплоКНАУФ Для Кровли и стен	0,105	2,11	1911,83
	КНАУФ NORD 033 (НОРД)	0,097	1,93	2245,34
ROCKWOOL	Rockwool Лайт Баттс Скандик	0,105	2,11	1719,53
	Rockwool Лайт Баттс Экстра	0,103	2,05	2409,93



Производитель	Утеплитель	Требуемая толщина утеплителя, м	Необходимое количество слоёв утеплителя, м <sup>2</sup>	Затраты на теплоизоляцию, тыс. руб.
	Rockwool Эконом	0,114	2,29	1253,77
IZOVOL	Izovol Л-35	0,103	2,05	1775,04
	IZOVOL Ст-50	0,103	2,05	2002,90
	Izovol Izobel Л-25	0,103	2,05	1484,82
Технониколь	ТЕХНОНИКОЛЬ ТЕХНОФАС ЭФФЕКТ	0,108	2,17	6527,15
	ТЕХНОНИКОЛЬ РОКЛАЙТ	0,105	2,11	1594,44
	ТЕХНОНИКОЛЬ Технолайт Оптима	0,103	2,05	2071,20
<b>Стекловата</b>				
ISOVER	Isover Теплый Дом Твин	0,117	2,34	1096,76
ISOROC	Isoroc Супер Теплый	0,094	1,88	1471,00
URSA	Ursa Terra	0,105	2,11	1353,41
	Ursa Geo Лайт	0,129	2,58	1456,80
	Ursa Универсальная	0,105	2,11	1264,39
<b>Фибролитовые плиты</b>				
GreenBoard	GreenBoard GB1	0,185	3,69	9157,69
GreenBoard	GreenBoard GB600	0,278	5,57	21402,05
NORDECO	NORDECO-400	0,264	5,27	15348,66
<b>Экструдированный пенополистирол</b>				
ПЕНОПЛЭКС	ПЕНОПЛЭКС КОМФОРТ	0,100	4,86	3285,57
ТЕХНОНИКОЛЬ	ТЕХНОНИКОЛЬ CARBON ECO	0,094	5,48	3295,29
URSA	URSA XPS СТАНДАРТ N-II-L	0,088	5,66	3166,60
	URSA XPS N-III-G3-L	0,094	5,66	4081,75
	URSA XPS N-III-L pro	0,088	12,00	3381,34



**Рис. 5.** Затраты на теплоизоляцию проектируемого здания однородным материалом  
**Fig. 5.** The cost of thermal insulation of the designed building with a homogeneous material

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исходя из стоимостной оценки теплоизоляционных материалов и объемов условно проектируемого здания, можно сделать вывод, самым экономически интересным предложением среди изоляции из каменной ваты является теплоизоляция ИЗОВЕР ПРОФИ (с затратами в размере 1015 тыс. руб.), а самым дорогим вариантом является ТЕХНОНИКОЛЬ ТЕХНОФАС ЭФФЕКТ (затраты в размере 6527 тыс. руб.) – использование данного утеплителя экономически нецелесообразно.

Сравнивая стекловолоконные утеплители, наиболее дешевым и эффективным вариантом является ISOVER ТЕПЛЫЙ ДОМ ТВИН (стоимость утепления составит 1097 тыс. руб.), наименее привлекательный же вариант является ISOROC СУПЕР ТЕПЛЫЙ (стоимость утепления составит 1471 тыс. руб.). Разница в затратах между данными вариациями утеплителя составляет 25%.

Выбирая между фибролитовыми плитами, экономически целесообразно использовать GREENBOARD GB1, так как они имеют наименьший показатель затрат (9158 тыс. руб.), наибольший же показатель имеет утеплитель GREENBOARD GB600 (21402 тыс. руб.). В целом можно сделать вывод о фибролитовых плитах, имея максимальную долговечность, они также имеют и максимальную стоимость, среди сравниваемых материалов. Исходя из экономических соображений использование данного вида утеплителя нерационально.

Сравнивая теплоизоляцию из ЭППС, делаю вывод о том, что наиболее эффективным и экономически выгодным будет утеплитель URSA XPS СТАНДАРТ N-II-L (с показателем затрат в 3167 тыс. руб.), наименее эффективным и самым дорогим является URSA XPS N-III-G3-L (с показателем затрат в 4082 тыс. руб.). Разница в затратах на утепление между данными теплоизоляционными материалами составляет 22%. В общем и целом, цены на экструдированный пенополистирол гораздо дороже чем на утеплители из каменной ваты и стекловаты.

Делая вывод о долговечности выбранных теплоизоляционных материалов, можно сказать, что стекловата имеет наименьший срок эксплуатации, это свидетельствует о том, что при долгом сроке эксплуатации стекловаты придется понести существенные затраты на замену утеплителя, этот факт делает данный утеплитель наименее привлекательным. Наиболее же привлекательный с точки зрения сроков службы является фибролит.

После рассмотрения пожаротехнических характеристик, можно сказать что из всех сравниваемых теплоизоляционных материалов экструдированный пенополистирол является самым пожароопасным, исходя из классов пожарной опасности, это указывает на то что его использование для теплоизоляции внешних стен не является разумным. Еще один несомненный и самый главный минус ЭППС заключается в его практически нулевой паропроницаемости, так наружные стены, выполненные с утеплением из ЭППС приведет к накоплению влаги внутри конструкции и не только к дальнейшему разрушению фасада, но и к образованию плесени и грибка.

Подводя итог, проанализировав выбранные виды утеплителей, наиболее эффективным и рациональным со всех точек зрения будет использование теплоизоляционных материалов из каменной ваты от производителя ИЗОВЕР ПРОФИ.

Каждый из сравниваемых материалов не идеален и не лишен недостатков. Идеального утеплителя, подходящего для любых целей, не существует. Выбирая оптимальный вариант, нужно принимать во внимание множество других факторов, таких как материал утепляемой конструкции, её форму и положение в пространстве, условия эксплуатации и другие моменты.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Иванов М.Ю. Энергоэффективные утеплители в строительстве // Труды братского государственного университета. серия: естественные и инженерные науки - развитию регионов Сибири. 2012. №5. С. 161-166.
2. Чакин Е.Ю., Гамаюнова О.С. Современные тенденции повышения энергоэффективности зданий // В сборнике: Неделя науки ИСИ. Материалы всероссийской конференции в 3-х частях. Инженерно-строительный институт Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого. Санкт-Петербург, 2021. С. 212-215.
3. Gamayunova O., Musorina T., Petrichenko M., Goremikins V. Warming of panel houses in various climatic zones // В сборнике: Proceedings of EECSE 2019. Energy, Environmental and Construction Engineering. Cham, 2020. С. 253-263.
4. Попов Г.П. Анализ рынка теплоизоляционных материалов // Инженерные исследования. 2021. № 3 (3). С. 3-8. URL: <http://eng-res.ru/archive/2021/3/3-8.pdf>
5. Zubarev K., Gagarin V. Mathematical modeling of heat and moisture regimes of building for the facade thermal insulation composite system with mineral wool insulation // Smart Innovation, Systems and Technologies. 2022. Т. 247. С. 625-634.
6. Zubarev K., Gagarin V. Heat and moisture transfer in building enclosing structures // Lecture Notes in Networks and Systems. 2022. Т. 247. С. 257-266.

7. Ватин Н.И., Немова Д.В., Рымкевич П.П., Горшков А.С. Влияние уровня тепловой защиты ограждающих конструкций на величину потерь тепловой энергии в здании // Инженерно-строительный журнал. 2012. №8(34). С. 4-14.
8. Кузнецова Л.В., Семёнова Е.Ю. Теплоизоляционные материалы как средство достижения повышения энергоэффективности зданий и сооружений // Научный журнал. инженерные системы и сооружения. 2013. №4(13). С. 22-28.
9. Бердюгин И.А. Теплоизоляционные материалы в строительстве. Каменная вата или стекловолокно: сравнительный анализ // Инженерно-строительный журнал. 2010. №1(11). С. 26-31.
10. Матвиенко А.В. Применение стекловаты в строительстве // Наука и образование сегодня. 2020. №7(54). С. 27-28.
11. Вольхин М.А., Николаева Ю.Е., Быкадорова О.А. Анализ выбросов вредных веществ в окружающую среду при сжигании топлива на примере производства стекловаты // Вестник НИЦ МИСИ: актуальные вопросы современной науки. 2017. №4. С. 29-33.
12. Жидко К.А., Резван И.В. Фибролитовые плиты, как экологичный утеплитель // Сборник материалов международных научно-практических конференций. 2018. С. 113-118.
13. Рудченко И.И., Саусь А.А., Клименко Н.Е. Эффективные решения по применению плит из экструдированного пенополистирола для утепления стен подвала // Научные горизонты. 2017. № 3. С. 188-191.

#### ОБ АВТОРАХ

**Егор Юрьевич Чакин** – студент. Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (СПбПУ). 195251, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д.29. E-mail: chakin34@gmail.com

#### ABOUT THE AUTHORS

**Egor Yu. Chakin** – student. Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University (SPbPU). 195251, Russia, St.Petersburg, Polytechnicheskaya st., 29. E-mail: chakin34@gmail.com

УДК 629.039.58

## ПОВЕДЕНИЕ КОНСТРУКЦИЙ АЭС С РАЗЛИЧНЫМИ МАССОВЫМИ ВОЗДЕЙСТВИЯМИ ПРИ СЕЙСМИЧЕСКОЙ НАГРУЗКЕ

О.Б. Ташчи<sup>1</sup>, Т.Д. Талай<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,  
г. Санкт-Петербург (Российская Федерация)

**Аннотация.** Популярность атомных электростанций во всем мире растет. Как увеличение потребления энергии, так и дифференциация источников энергии увеличили строительство объектов ядерной энергетики. Однако этот растущий спрос сделал элементы дизайна более важными. При проектировании сооружений всегда следует учитывать сейсмические факторы. Поведение конструкций при сейсмическом воздействии должно быть хорошо изучено и отражено. При исследовании воздействия сейсмических нагрузок на конструкцию можно использовать множество методов. У каждого метода есть свои преимущества и недостатки. Однако конструкции ядерных объектов, безопасность которых очень важна, должны анализироваться наиболее чувствительными методами. В статье определены различные массовые воздействия на вспомогательные конструкции ядерных установок, вместе с этими эффектами исследовано их поведение при сейсмических нагрузках и построены спектры отклика. Путем сравнения спектров отклика, образованных различными масс-эффектами, была исследована взаимосвязь между масс-эффектом и спектрами отклика при ускорении.

**Ключевые слова:** сейсмический анализ, спектр отклика, переходный анализ, спектральный анализ, сейсмический анализ АЭС, динамический анализ, спектры отклика на ускорение.

**Ссылка для цитирования:** Ташчи О.Б., Талай Т.Д. Поведение конструкций АЭС с различными массовыми воздействиями при сейсмической нагрузке // Инженерные исследования. 2022. № 1(6). С. 19-26. URL: <http://eng-res.ru/archive/2022/1/19-26.pdf>

## BEHAVIOR OF NUCLEAR POWER PLANT STRUCTURES WITH DIFFERENT MASS EFFECTS UNDER SEISMIC LOAD

O.B.Tasci<sup>1</sup>, T.C.Talay<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University, St.Petersburg (Russian Federation)

**Abstract.** Nuclear power plants are growing in popularity around the world. Both the increase in energy consumption and the differentiation of energy sources have increased the construction of nuclear energy facilities. However, this increasing demand has made design elements more important. Seismic factors should always be considered in the design of facilities. The behavior of structures under seismic influence should be well studied and reflected. Many methods can be used when examining the effect of seismic loads on the structure. Each method has different advantages and disadvantages. However, nuclear facility structures, whose safety is very important, should be analyzed with the most sensitive methods. In this article, different mass effects on the auxiliary structures of nuclear facilities are defined, their behavior under seismic loads is examined together with these effects, and response spectra are formed. By comparing the response spectra formed by different mass effects, the relationship between mass effect and acceleration response spectra was investigated.

**Keywords:** seismic analysis, response spectrum, transient analysis, spectral analysis, seismic analysis of NPPs, dynamic analysis, acceleration response spectra.

**For citation:** Tasci O.B., Talay T.C. Behavior of nuclear power plant structures with different mass effects under seismic load // Inzhenernyye issledovaniya [Engineering Research]. 2022. No. 1(6). Pp. 19-26. URL: <http://eng-res.ru/archive/2022/1/19-26.pdf>

## ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в 14 странах мира строятся 64 атомных объекта. Ожидается, что к 2030 году будут введены в эксплуатацию 164 реактора. При проектировании АЭС, которые широко используются во многих странах, необходимо учитывать всевозможные неблагоприятные ситуации. В то время как реакторы защищены сейсмическими изоляторами, во вспомогательных зданиях ситуация часто иная ситуация [1, 2]. Атомные электростанции представляют собой объекты высокого риска из-за возможности внезапных аварийных ситуаций, поскольку любой возможный отказ может вызвать катастрофическое радиоактивное загрязнение [3]. Поскольку конструкции АЭС имеют жизненно важное значение, считается, что строительные площадки находятся вдали от сейсмических воздействий. Однако очень важно, чтобы эти конструкции показали высокую стойкость при возможном сейсмическом воздействии [4]. Перед постройкой здания следует учитывать сейсмические колебания характерные для строительной площадки. Расчет должен производиться на соответствующие синтезированные акселерограммы [5].

Цель работы - является определение поведения конструкции, подверженной сейсмической нагрузке при различных массовых воздействиях, и изучение связи спектров отклика с массовым воздействием.

## ЗНАЧЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ГРУНТА ДЛЯ СЕЙСМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

В структурном анализе решения обычно принимаются путем признания фундамента встроенным, и считается, что в фундаменте нет смещения или поворота. Однако даже при анализе строительных систем при статических нагрузках в фундаментах происходят обрушения и повороты. В случае динамической нагрузки, такой как землетрясение, воздействующее на конструкции, конструкция перемещается вместе с землей, иногда даже конструкция и земля перемещаются в противоположном направлении, и основания могут находиться в разных положениях на земле во время динамической нагрузки [6].

Таблица 1. Свойства грунта  
Table 1. Soil properties

Показатель	Значение
Модуль упругости грунта	84 и 45 ГПа
Коэффициент Пуассона	0,28 и 0,2
$\rho$	2,85 и 2,6 ( $T/m^3$ )

Следует рассчитать свойства жесткости грунта. Изменение свойств грунта влияет на поведение здания против сейсмических воздействий.

Расчетные данные о грунте важны как для модального анализа, так и для анализа переходных процессов конструкции. Он напрямую влияет на движение и поведение конструкции под воздействием землетрясения. При анализе более мягких грунтов деформации и смещения увеличиваются.

Расчет грунтовых пружин производился в соответствии с критериями ASCE. Расчет пружин, которые будут использоваться на грунте, определяется формулами, приведенными ниже [7].

$$K_x = 2(1 + \nu)G_x\beta_x^2\sqrt{BL} \quad (1)$$

$$K_y = 2(1 + \nu)G_y\beta_y^2\sqrt{BL} \quad (2)$$

$$K_z = \frac{G_z}{1 - \nu}\beta_z^2\sqrt{BL} \quad (3)$$

$$K_{xx} = \frac{G_{xx}\beta_{xx}B^2 \cdot L}{1 - \nu} \quad (4)$$

$$K_{yy} = \frac{G_{yy}\beta_{yy}L^2 \cdot B}{1 - \nu} \quad (5)$$

$$K_{zz} = (16G_{zz}R^3)/3 \quad (6)$$

где:

$$R = \sqrt[4]{BL(B^2 + L^2)/6\pi} \quad (7)$$

где:

L – длина здания ;

B – ширина здания ;

$\nu$  – Коэффициент Пуассона ;

G – модуль сдвига для соответствующих направлений ;

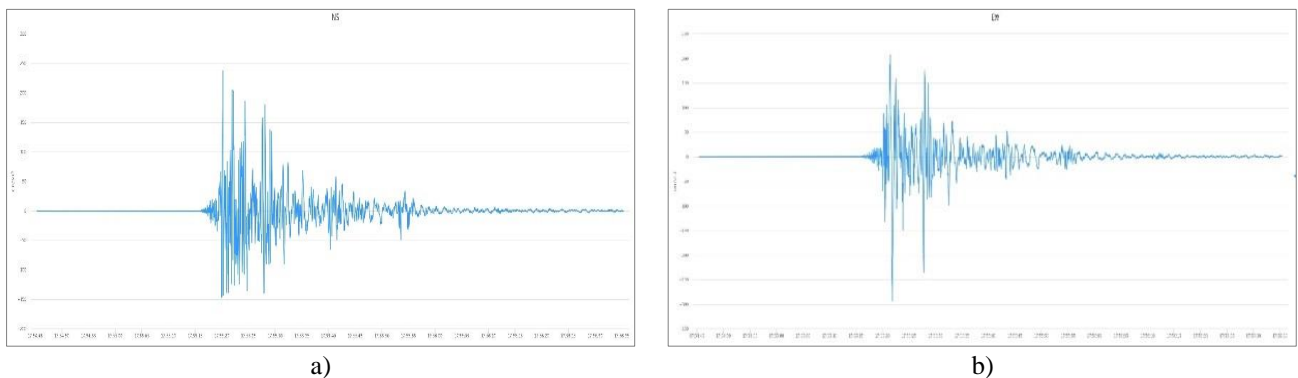
$\beta$  – коэффициенты, которые зависят от соотношения B к L.

Таблица 2. Динамическая жесткость  
 Table 2. Dynamic stiffness

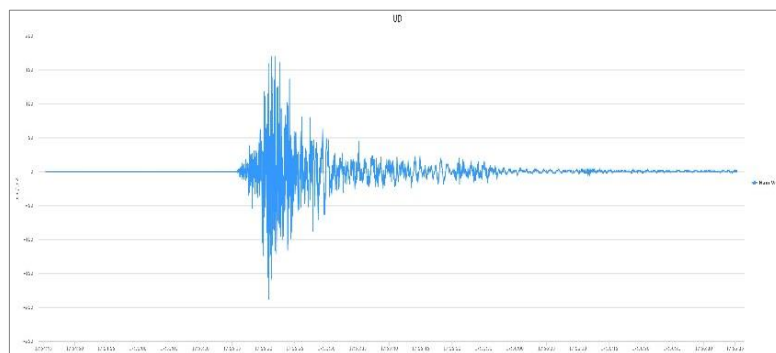
Характеристика	Обозначение	Ед. изм.	Величина
Горизонтальная жесткость	Kx	кН/м	1.38E+9
Вертикальная жесткость	Ky	кН/м	1.33 E+9
Вертикальная жесткость	Kz	кН/м	1,6 E+9
Вертикальная жесткость	Kxx	кН·м/рад	2.7 E+11
Вертикальная жесткость	Kyy	кН·м/рад	1.93 E+11
Жесткость на кручение	Kzz	кН·м/рад	2.98 E+11

#### ДАнные, ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ В СЕЙСМИЧЕСКОМ АНАЛИЗЕ

В исследовании использовались данные реальных землетрясений. Данные получены из записей землетрясения 2020 года в Турции. Данные реальных землетрясений были определены и зачитаны в программу ПК ANSYS. Параметры землетрясения определены по трем осям (рис.1, рис.2).



**Рис. 1.** График ускорений землетрясения по оси X, Y: а – для направления X; б – для направления Y  
**Fig. 1.** Graph of earthquake acceleration along the X, Y axis: a – for X direction; b – for Y direction



**Рис. 2.** График ускорений землетрясения по оси Z  
**Fig.2.** Graph of earthquake acceleration along the Z

Анализируемое здание было смоделировано с помощью ANSYS. Его размеры 47,1 x 31,3 м в длину и 21,8 м в высоту. Вся конструкция выполнена из железобетона с указанием толщины использованных материалов (табл.3).

Таблица 3. Свойства материалов (все материалы определены как железобетон)  
Table 3. Material properties

Свойство	Значение
Плиты	600мм
Перегородки	400мм
Наружные стены	600мм
Фундаментная плита	1100мм
Плотность	2300 kg/m <sup>3</sup>
Коэффициент Пуассона	0,18

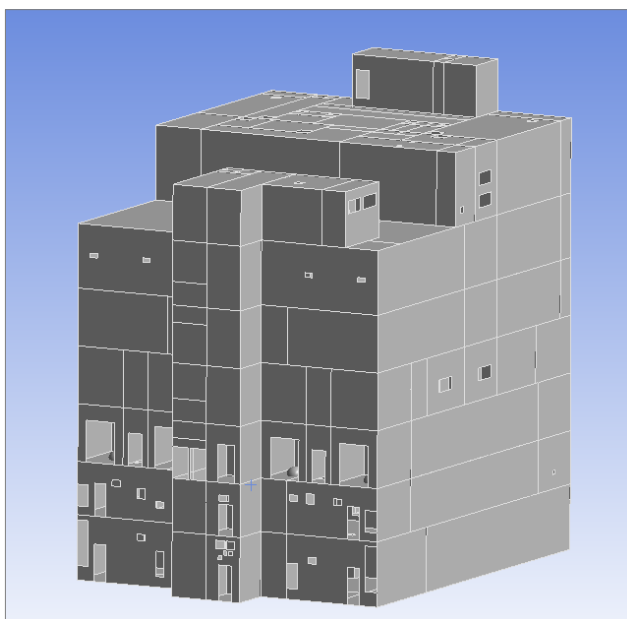
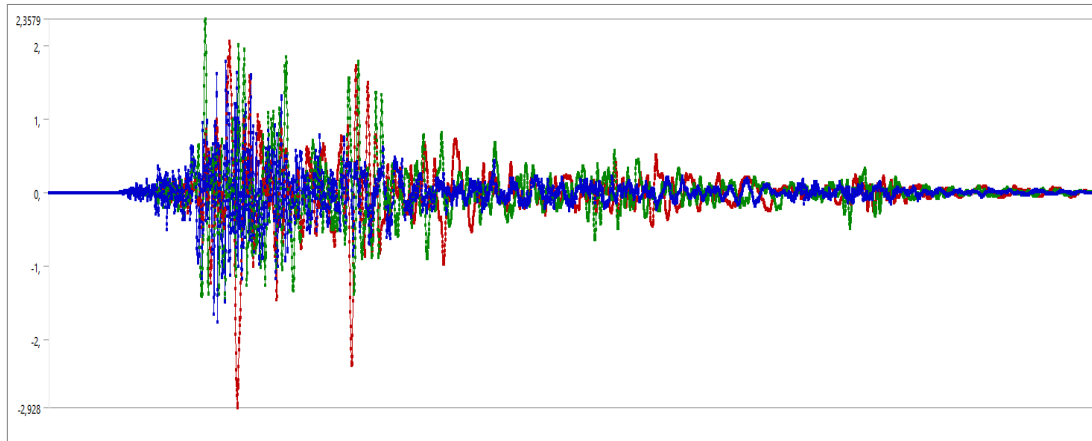


Рис. 3. Модель здания, использованная в анализе  
Fig. 3. The building model used in the analysis

Временной интервал, в течение которого землетрясение создает максимальную деформацию, - это моменты времени, когда ускорение входящего землетрясения является наиболее частым, и с этой частотой значение ускорения является самым высоким. Ускорения, действующие на землетрясения, через определенный промежуток времени усиливаются, а затем начинают затухать. По этой причине смещение и деформации сводятся к минимуму, поскольку движение грунта прекращается с окончанием землетрясения. Мгновенные максимальные деформации возникают, когда сейсмические нагрузки учащаются. По окончании землетрясения можно обнаружить постоянные деформации.

При максимальном смещении максимальное ускорение, влияющее на конструкцию, составляет 178,28 см/с<sup>2</sup> в направлении Y. Однако максимальные ускорения, влияющие на здание во время землетрясения, составляют 205,04 см/с<sup>2</sup> по оси X, 235,79 см/с<sup>2</sup> по оси Y и 178,58 см/с<sup>2</sup> по оси Z. Максимальных ускорений, влияющих на конструкцию, не произошло одновременно. Следовательно, максимальное смещение произошло в конструкции в любой момент времени, когда сумма ускорений для каждой оси максимальна. Следует хорошо проанализировать места, где суммарные ускорения максимальны, и промежутки времени до них. Если суммарные ускорения аналогичной величины наблюдаются слишком сильно за короткий период времени, смещения соответственно увеличиваются (рис.4).





**Рис. 4.** Комбинированный сейсмический график ускорений  
**Fig. 4.** Combined seismic acceleration graph

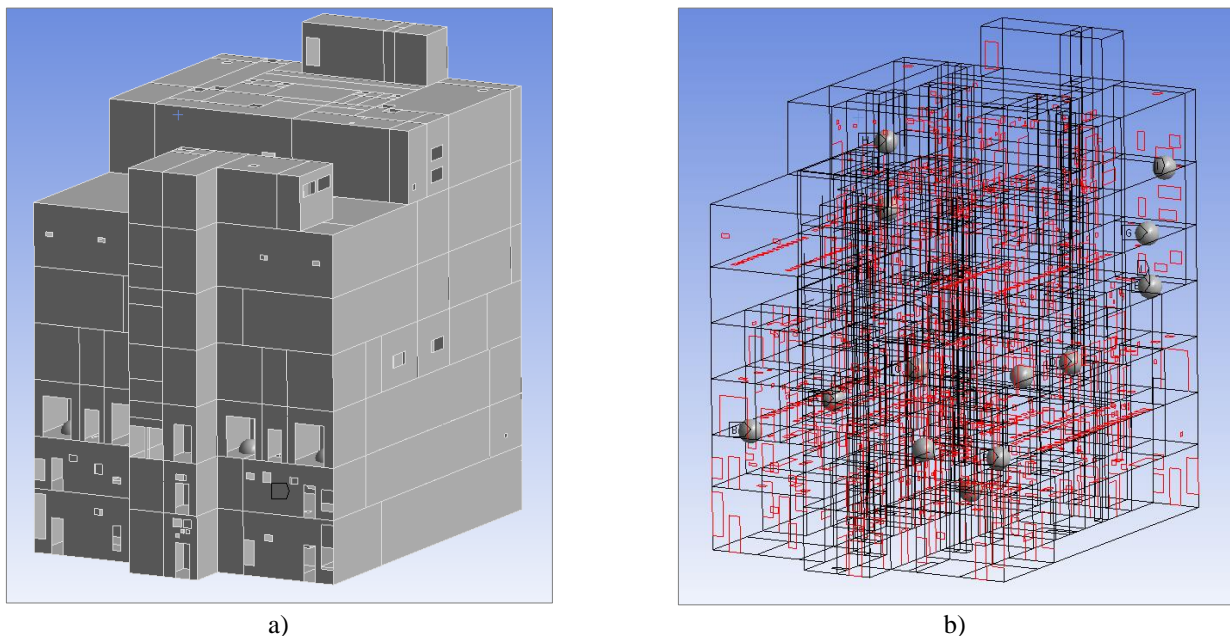
Результаты основаны на данных истории времени. По этой причине анализ позволяет выявить деформацию, которая возникнет в здании из-за сейсмической нагрузки в желаемый интервал времени.

#### ОПРЕДЕЛЕНИЕ СПЕКТРОВ ОТКЛИКА ПРИ РАЗЛИЧНЫХ МАССОВЫХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ

Анализ спектра реакции - это метод оценки реакции конструкции на короткие, недетерминированные, переходные динамические события. Примеры таких событий - землетрясения и толчки [8]. Поскольку точная временная история нагрузки неизвестна, трудно выполнить анализ, зависящий от времени [9].

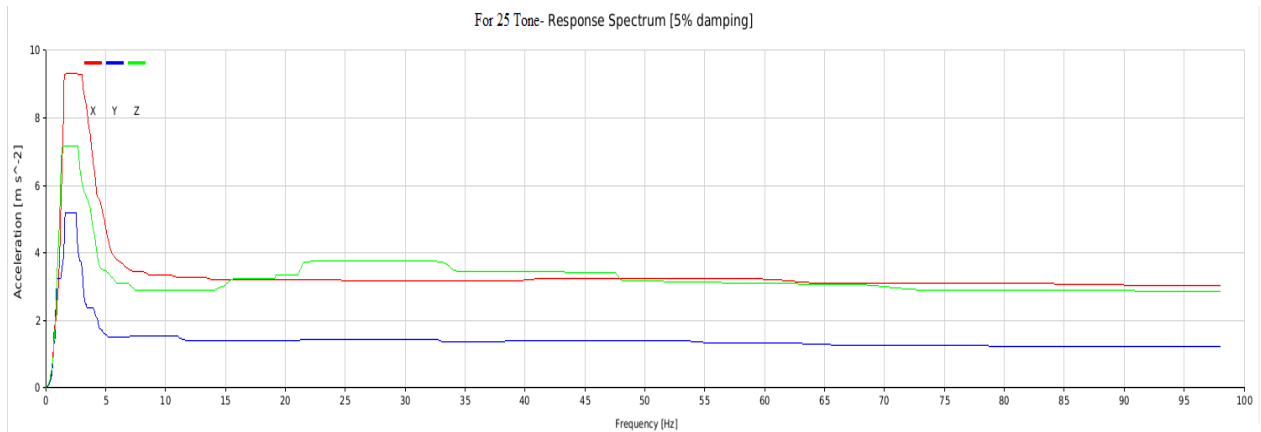
При анализе сейсмического отклика строительных конструкций входные колебания грунта оказывают значительное влияние на нелинейные характеристики сейсмического отклика конструкций. Характеристики почвы и местоположение участка, где были зарегистрированы эти колебания грунта, влияют на содержание хронологий колебаний грунта [10].

Для динамического анализа массы воздействуют на разные части конструкции (рис.5).



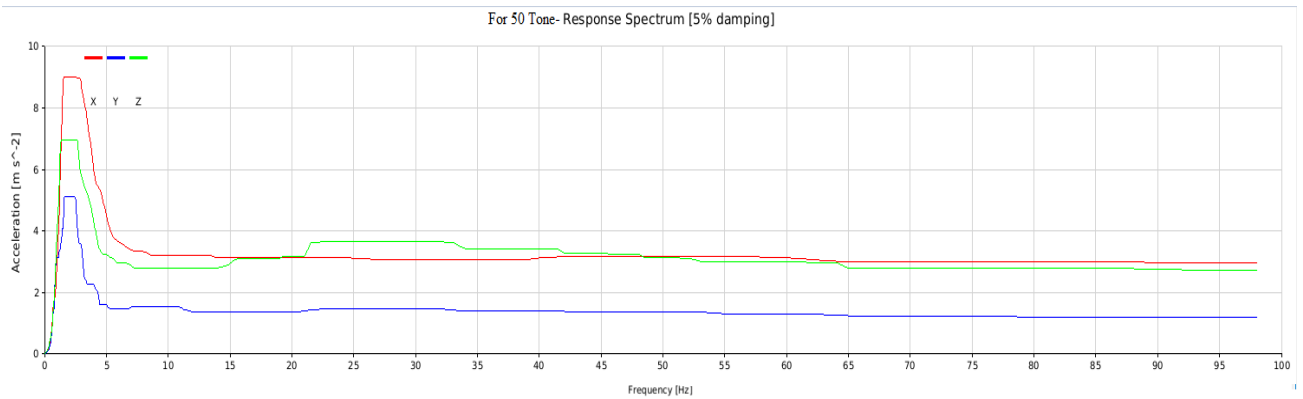
**Рис. 5.** Здание и массовые эффекты; а – Общий вид здания; б – Расположение массовых эффектов  
**Fig. 5.** Building and mass effects; a - General view of the building; b - Location of mass effects

К конструкции были применены три различных массовых эффекта: 25,50 и 75 тонн. Для каждой массы были проведены отдельные анализы и определены спектры отклика.



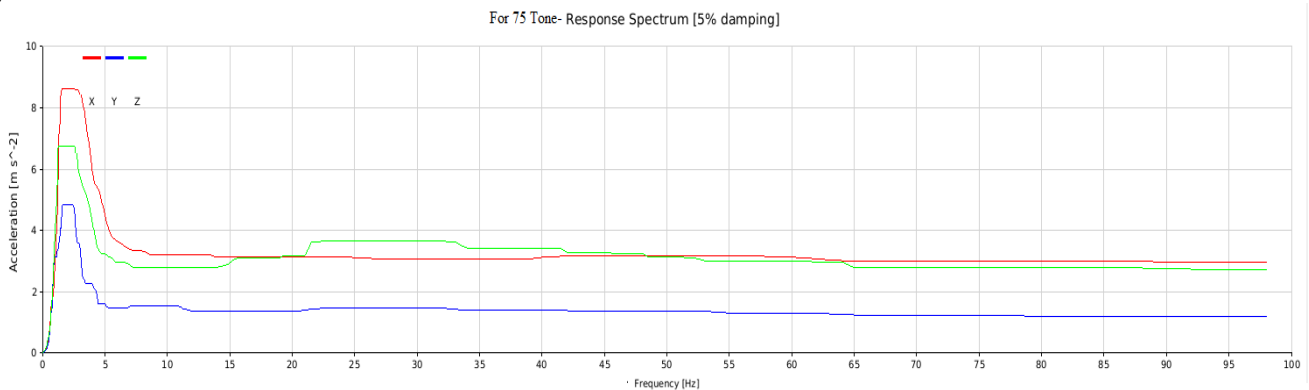
**Рис. 6.** График спектра отклика для 25 тонов  
**Fig. 6.** Response Spectrum graph for 25 Tones

Для 25-тонного масс-эффекта максимальное значение ускорения в направлении X составило  $9,309 \text{ м/с}^2$ , в направлении Y  $5,3 \text{ м/с}^2$  и в направлении Z  $7,2 \text{ м/с}^2$ .



**Рис. 7.** График спектра отклика для 50 тонов  
**Fig. 7.** Response Spectrum graph for 50 Tones

Максимальное ускорение для эффекта масс 50 тонн составило  $8,71 \text{ м/с}^2$  в направлении X,  $5,05 \text{ м/с}^2$  в направлении Y и  $6,97 \text{ м/с}^2$  в направлении Z. По мере увеличения массового эффекта ускорения уменьшались.



**Рис. 8.** График спектра отклика для 75 тонов  
**Fig. 8.** Response Spectrum graph for 75 Tones

Максимальное ускорение для эффекта масс 75 тонн составило  $8,35 \text{ м/с}^2$  в направлении X,  $4,8 \text{ м/с}^2$  в направлении Y и  $6,82 \text{ м/с}^2$  в направлении Z. Можно сказать, что с увеличением масс-эффекта максимальные ускорения уменьшаются. Но при разных значениях частот разница между ускорениями увеличивается еще больше.

Таблица 4. Ускорения, обусловленные массами на определенных частотах  
Table 4. Accelerations due to masses at certain frequencies

Частота (Гц)	25 тонн			50 тонн			75 тонн		
	X (м/с <sup>2</sup> )	Y (м/с <sup>2</sup> )	Z (м/с <sup>2</sup> )	X (м/с <sup>2</sup> )	Y (м/с <sup>2</sup> )	Z (м/с <sup>2</sup> )	X (м/с <sup>2</sup> )	Y (м/с <sup>2</sup> )	Z (м/с <sup>2</sup> )
1	2,695	3,231	3,743	2,773	3,143	3,806	3,013	3,051	3,839
3	9,3	3,662	6,15	8,645	3,47	5,802	8,205	2,998	5,453
5	4,788	1,59	3,48	4,544	1,62	3,236	4,307	1,563	3,007
10	3,341	1,544	2,908	3,226	1,549	2,812	3,091	1,475	2,723
15	3,206	1,418	3,077	3,142	1,383	2,962	3,065	1,335	2,805
25	3,182	1,453	3,759	3,114	1,461	3,653	3,012	1,466	3,543
50	3,25	1,406	3,193	3,162	1,367	3,127	3,052	1,309	3,004
75	3,115	1,261	2,905	3,019	1,226	2,778	2,927	1,211	2,656
100	3,035	1,218	2,863	2,956	1,183	2,719	2,858	1,151	2,574

Как видно из табл.4, более высокие ускорения обычно наблюдались при эффектах малой массы. Однако при большой массе в 1 Гц, которую мы можем принять за первую реакцию, большее ускорение произошло в направлениях X и Z. Направления могут варьироваться в зависимости от составляющих действующей сейсмической силы. Однако, как только началось демпфирование, нестабильность исчезла, и ускорение под действием массы 75 тонн было ниже, чем при других эффектах массы. Чем выше значение масс-эффекта, тем выше исходные данные ускорения. Причина этого в том, что первая реакция на сейсмическую нагрузку прямо пропорциональна значению массы. Однако обычно это наблюдается только в начале спектра отклика.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сейсмические нагрузки, действующие на конструкции, создают спектры реакции в конструкциях. В этих спектрах реакции обычно возникают более высокие значения ускорения, чем ускорения сейсмических нагрузок, действующих на конструкцию. Причина этого в том, что спектры реакции ускорения дают сигнал землетрясения от земли до конструкции. Максимальное значение ускорения в спектре реакции можно назвать абсолютным значением ускорения, воздействующим на конструкцию.

Помимо спектров реакции на ускорение, есть также спектры реакции на скорость и смещение.

В этом исследовании были получены спектры ускорения сейсмической нагрузки, действующей на конструкцию, вместе с различными массовыми эффектами. Согласно полученным данным, максимальное значение ускорения в спектре отклика уменьшается по мере увеличения воздействия массы на конструкцию. Согласно полученным данным, в начале сейсмической нагрузки конструкция под воздействием большой массы вначале реагирует сильнее. Спектры отклика рассчитывались с пятипроцентным коэффициентом сброса.

В результате увеличение массового эффекта вызывает уменьшение максимального ускорения реакции, которое будет иметь место в конструкции, и гарантирует, что конструкция остается более жесткой против сейсмических нагрузок. Было определено, что массовый эффект и ускорение реакции обратно пропорциональны.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Salimi Firoozabad E., Jeon B.G., Choi H.S., Kim N.S. Seismic fragility analysis of seismically isolated nuclear power plants piping system // Nuclear Engineering and Design. 2015. Т. 284. С.264–279.
2. Varpasuo P. Seismic Design and Analysis of Nuclear Power Plant Structures. 2012.
3. Kubo T., Yamamoto T., Sato K., Jimbo M., Imaoka T., Umeki Y. Seismic design of nuclear reactor building structures applying seismic isolation system in a high seismicity region –a feasibility case study in Japan // Nuclear Engineering and Technology. 2014. Т. 46. № 5. С.581–594.
4. Nakamura N., Akita S., Suzuki T., Koba M., Nakamura S., Nakano T. Study of ultimate seismic response and fragility evaluation of nuclear power building using nonlinear three-dimensional finite element model // Nuclear Engineering and Design. 2010. Т. 240. № 1. С.166–180.
5. Whittaker A.S., Kumar M., Kumar M. Seismic isolation of nuclear power plants // Nuclear Engineering and Technology. 2014. Т. 46. № 5. С.569–580.
6. Çağlar N., Garip Z.Ş., Yaman Z.D. Deprem etkisindeki betonarme yapılarda yapı-zemin etkileşimi // Deprem Sempozyumu. 2005.
7. Черенков И.А. Прочность внутренних преднапряженных оболочек зданий реакторов атомных станций [электронный ресурс]: выпускная квалификационная работа магистра: 08.04.01 - Строительство; 08.04.01\_20 -

Проектирование и расчет строительных конструкций и оснований / Санкт-Петербург. 2019. URL: <http://elib.spbstu.ru/dl/3/2019/vr/vr19-2108.pdf>

8. Wilson E.L., Kiureghian A. Der, Bayo E.P. A replacement for the SRSS method in seismic analysis // Earthquake Engineering & Structural Dynamics. 1981. Т. 9. № 2. С.187–192.

9. Maison B.F., Neuss C.F., Kasai K. The comparative performance of seismic response spectrum combination rules in building analysis // Earthquake Engineering & Structural Dynamics. 1983. Т. 11. № 5. С.623–647.

10. Sinha R., Igusa T. CQC and SRSS methods for non-classically damped structures // Earthquake Engineering & Structural Dynamics. 1995. Т. 24. № 4. С.615–619.

#### ОБ АВТОРАХ

**Омер Бугра Ташчи** – студент. Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (СПбПУ). 195251, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д.29. E-mail: tascibugra@gmail.com

**Талат Джан Талай** – студент. Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (СПбПУ). 195251, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д.29. E-mail: talaytalat@gmail.com

#### ABOUT THE AUTHORS

**Omer Bugra Tasci** – student. Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University (SPbPU). 195251, Russia, St.Petersburg, Polytechnicheskaya st., 29. E-mail: tascibugra@gmail.com

**Talat Can Talay** – student. Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University (SPbPU). 195251, Russia, St.Petersburg, Polytechnicheskaya st., 29. E-mail: talaytalat@gmail.com

УДК 69.032.22

## МИРОВЫЕ ТЕНДЕНЦИИ СТРОИТЕЛЬСТВА ВЫСОТНЫХ ЗДАНИЙ

**А.А. Корсунцева**

*Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,  
г. Санкт-Петербург (Российская Федерация)*

**Аннотация.** Высотные здания являются символом современного строительства. На примере высотных зданий из разных стран мира рассмотрены основные тенденции в области высотного строительства: экологичность, многофункциональность, высотность и оригинальность исполнения небоскребов. Проведен анализ научных публикаций, в ходе которого выявлены наиболее часто встречающиеся вопросы, касающиеся проектирования, строительства и эксплуатации высотных зданий: конструктивные и объемно-планировочные решения, использование «зеленых» технологий, обеспечение безопасной эвакуации людей, особенности систем оповещения, защиты и предотвращения пожаров, использование энергосберегающего остекления, проектирование высотных зданий в сейсмических районах, применение BIM-технологий в проектировании высотных зданий и др. Уже сегодня строительные технологии позволяют возводить высотные сооружения до нескольких километров высотой, но в таких зданиях пока нет необходимости. Различия в строительстве и архитектуре небоскребов становятся более заметными, однако невозможно представить, какие небоскребы будут появляться в будущем, даже зная нынешние тенденции развития высотного строительства.

**Ключевые слова:** высотное строительство, высотные здания, небоскребы, многоэтажные здания, уникальные здания, архитектурные решения, Лахта Центр, Москва-Сити.

**Ссылка для цитирования:** Корсунцева А.А. Мировые тенденции строительства высотных зданий // Инженерные исследования. 2022. № 1(6). С. 27-32. URL: <http://eng-res.ru/archive/2022/1/27-32.pdf>

## WORLD TRENDS IN CONSTRUCTION OF HIGH-RISE BUILDINGS

**A.A. Korsuntseva**

*Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University, St.Petersburg (Russian Federation)*

**Abstract.** High-rise buildings are a symbol of modern construction. On the example of high-rise buildings from around the world, the main trends in the field of high-rise construction are considered: environmental friendliness, versatility, height and originality of skyscrapers. The analysis of scientific publications was carried out, during which the most frequently encountered issues related to the design, construction and operation of high-rise buildings were identified: structural and space-planning solutions, the use of "green" technologies, ensuring the safe evacuation of people, features of warning systems, protection and fire prevention, the use of energy-saving glazing, the design of high-rise buildings in seismic areas, the use of BIM technologies in the design of high-rise buildings, etc. Already today, building technologies allow the construction of high-rise structures up to several kilometers high, but such buildings are not yet needed. Differences in the construction and architecture of skyscrapers are becoming more noticeable, but it is impossible to imagine what kind of skyscrapers will appear in the future, even knowing the current trends in the development of high-rise construction.

**Keywords:** high-rise construction, high-rise buildings, skyscrapers, unique buildings, architectural solutions, Lakhta Center, Moscow City.

**For citation:** Korsuntseva A.A. World trends in construction of high-rise buildings // Inzhenernyye issledovaniya [Engineering Research]. 2022. No. 1(6). Pp. 27-32. URL: <http://eng-res.ru/archive/2022/1/27-32.pdf>



## ВВЕДЕНИЕ

Высотное здание – это уникальное инженерное сооружение, испытывающее постоянное воздействие окружающей среды, а также внутренних строительных и эксплуатационных нагрузок. В каждом случае при проектировании небоскрёба принимается отдельное техническое решение в соответствии с требованиями, которые установлены международными или же национальными стандартами.

Небоскрёбы чаще всего относят к проектам самого высокого уровня ответственности и класса надежности. Их сложность напрямую зависит от высоты планируемого здания, что требует привлечения участия в проекте различных групп специалистов из разных областей. Высотная застройка осуществляется практически по всей территории планеты. Большая плотность населения городов и невозможность их дальнейшего расширения стали главной причиной появления небоскрёбов.

Возведение высотных зданий требует повышенных мер по пожарной безопасности. В связи с этим, в научной литературе один из наиболее часто встречающихся вопросов, касающихся высотных зданий - проблема обеспечения безопасной эвакуации людей, в том числе маломобильных групп населения [1, 2]. Перминов Е.М., Ермоленко А.А., Портнова Т.А., Абдулина Е.Р., Чеберяк В.В., Реутов Д.В., Беликов Д.Ю., Омелаева А.А. в своих исследованиях рассмотрели конструктивные и объемно-планировочные решения, особенности систем оповещения, защиты и предотвращения пожаров [3-6]. Гравит М.В., Гавриленко Б.А., Бабаев Р.А., Розов А.П. провели натурный эксперимент по эвакуации [7]. Также среди публикаций, касающихся высотных зданий, встречаются работы, посвященные «зеленым» технологиям, энергосберегающему остеклению, проектированию высотных зданий в сейсмических районах, применению BIM-технологий в проектировании высотных зданий и др. [8-12].

## ЗАРОЖДЕНИЕ НЕБОСКРЕБОВ

С началом интенсивного развития промышленности и концентрации населения в городах появилась необходимость возведения большого количества многоэтажных и высотных зданий. Чикаго стал первым городом, в котором в конце XIX в. появились небоскрёбы. Строительство высотных зданий в 12-16 этажей привело к некоторым сложностям при их эксплуатации. В первую очередь это коснулось водяных насосов, которые в то время могли подавать воду лишь на высоту 15 м. Также подъем выше 5-7 этажей был слишком сложным, однако изобретение безопасного лифта и более мощных насосов позволили увеличить высоту зданий до 100 метров и более. Самые первые многоэтажные здания были построены из кирпича, всю несостоятельность такого строительства показало возведение в 1891 г. 16-этажного здания Monadnock (рис.1) с толщиной наружной стены 1,8 м.



**Рис. 1.** Здание Monadnock Building<sup>1</sup>  
**Fig. 1.** Monadnock Building



**Рис. 2.** Здание Уэйнрайт Луи Салливана<sup>2</sup>  
**Fig. 2.** Louis Sullivan's Wainwright Building

<sup>1</sup> A walk around Chicago's loop [Электронный ресурс]. – URL <https://www.newgeography.com/content/006083-a-walk-around-chicago-s-loop> (дата обращения: 15.10.2021)

<sup>2</sup> Wainwright Building [Электронный ресурс]. – URL: <https://interactive.wttw.com/tenbuildings/wainwright-building> (дата обращения: 15.10.2021)

Луис Салливан стал одним из первых теоретиков высотного строительства, который сформулировал пять самых основных принципов возведения высотных и многоэтажных зданий. Стоит отметить, что их до сих пор использует множество современных архитекторов. Первый этаж – подземный, в котором должны обязательно находиться бойлерные, силовые установки и инженерное оборудование, которое обеспечивает здание энергией и теплом. Второй этаж (а по сути - первый) отдаётся в распоряжение банков, магазинов и иным заведениям, которым необходимо большое пространство, много света, яркие витрины и легкий доступ с улицы. Третий – второй этаж имеет не меньше света и простора, чем первый, так как он легко достижим с помощью лестниц. Четвертый – между вторым и самым верхним этажом обычно находятся офисные помещения, ничем неотличающиеся друг от друга по планировке. Пятый – самый верхний этаж является техническим. Здесь находится система вентиляции и другое оборудование. Свои принципы Салливан совместно с Адлером подтвердил в проекте «Гаранти Траст билдинг» в Буффало (рис. 2).

Магазины и банк разместились на первом и втором этажах, верхний этаж отведен для установки необходимого оборудования, а десять этажей между ними заняты офисными помещениями с одинаковым планировочным решением.

Проектирование и строительство высотных зданий с течением времени претерпевали изменения. Изобретения в области строительства, новые технологии, изменения в законодательстве и архитектурных стилях оставили свой след в строительстве высотных зданий.

### ВЫСОТНОСТЬ

Рост этажности - ответ на дефицит и дороговизну земли в наиболее привлекательных городских районах [13, 14]. Борьба за лидерство в строительстве самых высоких зданий с каждым годом набирает всё большую интенсивность. Ранее запредельная цифра высоты сооружения в 200 м уже давно стала нормальной. На сегодняшний день в мире почти полторы тысячи небоскребов имеет высоту более 200 м. Сегодня самым высоким зданием на планете является Jeddah Tower (рис.3), которое располагается в Саудовской Аравии. Его высота – 1007 м. За ним следует Burj Khalifa - одна из главных достопримечательностей ОАЭ, высотой 828 м (рис.4). Существуют технологии сверхвысоких зданий, но применяются они пока не так широко в виду их дороговизны.



**Рис. 3.** Джидда Тауэр<sup>3</sup>  
**Fig. 3.** Jeddah Tower



**Рис. 4.** Бурдж-Халифа<sup>4</sup>  
**Fig. 4.** Burj Khalifa

<sup>3</sup> Управляющая компания Jeddah Tower выбрала Guardian Glass в качестве поставщика стекла для фасадного остекления небоскреба высотой более одного километра [Электронный ресурс]. – URL: <https://archi.ru/tech/85525/skoro-steklo-guardian-glass-na-fasade-buduschego-samogo-vysokogo-neboskreba-jeddah-tower>: 23.10.2021)

<sup>4</sup> 15 interesting Facts about Burj Khalifa [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.swedishnomad.com/facts-about-burj-khalifa/> (дата обращения: 25.10.2021)



Что касается России, то здесь лидером является башня Лахта Центра (рис.5) в Санкт-Петербурге, высотой 462 м [15]. Следом идут башня «Федерация» (373 м) и комплекс «Око» (354 м), входящие в комплекс зданий Московского международного делового центра «Москва-Сити» (рис.6).



**Рис. 5.** Лахта Центр<sup>5</sup>  
**Fig. 5.** Lakhta Center



**Рис. 6.** Москва-Сити<sup>6</sup>  
**Fig. 6.** Moscow City

### ЭКОЛОГИЧНОСТЬ

Строительство абсолютно любого небоскреба планируется заранее, примерно за десятки лет. Именно поэтому архитекторы стараются использовать в них самые новые технологии, которые не устареют на момент сдачи здания. Одно из важных направлений при этом - экологичность и энергоэффективность. Проектные решения чаще всего направлены на минимизацию теплопотерь здания, максимальное использование естественного освещения, экономию электроэнергии и задействование альтернативных энергетических источников. В качестве примера применения такого подхода можно привести кампус компании Amazon в Сиэтле (рис.7).



**Рис. 7.** Кампус Amazon в Сиэтле<sup>7</sup>  
**Fig. 7.** Amazon campus in Seattle

<sup>5</sup> Петербургский «Лахта Центр» получил разрешение на ввод в эксплуатацию [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.rbc.ru/rbcfreenews/5bc65dd29a79471af83a66f9> (дата обращения: 17.10.2021)

<sup>6</sup> Строительство многофункционального комплекса «Федерация» в деловом центре «Москва-Сити» [Электронный ресурс]. – URL: <https://rbc.ru/ru/projects/stroitelstvo-mnogofunkczionalnogo-kompleksa-federacziya-v-delovom-centre-moskva-siti/> (дата обращения: 17.10.2021)

<sup>7</sup> Amazon создал новое место для отдыха сотрудников: экскурсия по «шарам Безоса» [Электронный ресурс]. – URL: <https://kfund-media.com/ru/amazon-sozdal-novoe-mesto-dlya-otdyha-sotrudnykov-ekskursyya-po-sharam-bezosa/> (дата обращения: 20.10.2021)

### МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОСТЬ

Особо важное значение имеет функциональность многоэтажных зданий. Традиционно, на первых этажах обычно располагаются торговые помещения, выше - офисные, еще выше - жилые, однако есть и более интересные варианты с зелеными и пешеходными зонами, развлекательными центрами.

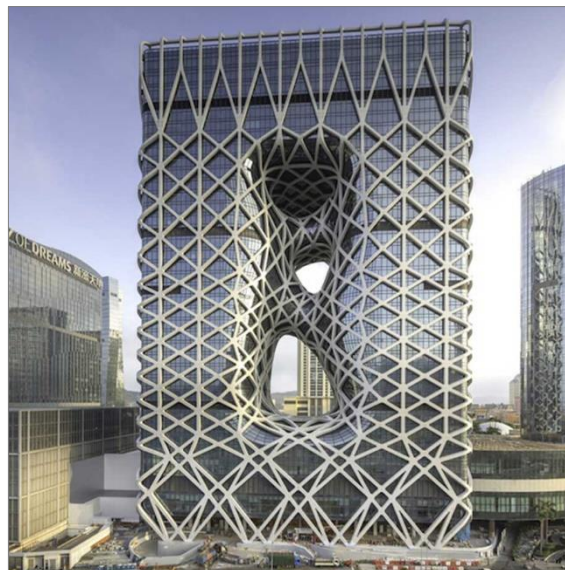
Большинство высотных зданий относительно недавно строили в основном для размещения офисных помещений. Но такой подход стал причиной того, что по ночам эти здания пустовали. Это вызвало необходимость в поиске дополнительного функционала, который позволил бы решить эту проблему, используя здание круглосуточно. Решение было найдено – размещение общественных зон внутри небоскреба либо в непосредственной близости от него. Один из примеров - реконструкция территории бывшего выставочного комплекса Fiera Milano. Половину нового района City Life (рис.8) занимают зеленые зоны, все надземное – пешеходные зоны. Предусмотрено значительное количество объектов питания, отдыха и развлечений.

### ОРИГИНАЛЬНОСТЬ

Стандартный облик большинства высоток прошлого сменилась другим трендом: началась эпоха суперзданий. Архитекторы прикладывают много усилий, когда придумывают проекты известных всему миру в будущем зданий. Примеров, действительно, много. Так, Zaha Hadid Architects возводит в Макао Morpheus Hotel (рис.9) - небоскреб свободной формы с экзоскелетом (внешним несущим каркасом).



**Рис. 8.** Район City Life<sup>8</sup>  
**Fig. 8.** City Life Area



**Рис. 9.** Гостиница Morpheus<sup>9</sup>  
**Fig. 9.** Morpheus Hotel

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В последние десятилетия строительство уникальных высотных зданий стало уже устойчивой тенденцией. Высотное строительство является одним из важнейших звеньев современного интенсивного строительства городов. Возможно, через несколько десятилетий никого не смогут удивить здания высотой в несколько километров, однако сегодня небоскрёбы можно встретить лишь в больших городах.

Уже сегодня строительные технологии позволяют возводить высотные сооружения до трёх километров высотой, но в таких зданиях пока нет необходимости, ведь, прежде всего, это довольно сложно и дорого реализовать. Поэтому большая часть современных небоскребов составляет в среднем не более 500 метров. Однако и строительство таких зданий довольно сложный процесс, требующий принятия сложных технических решений [16].

<sup>8</sup> City Life commercial premises [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.gae-engineering.com/en/project/city-life-commercial-premises-2/> (дата обращения: 27.10.2021)

<sup>9</sup> Гостиница Morpheus [Электронный ресурс]. – URL: <https://archi.ru/projects/world/8562/gostinica-morpheus> (дата обращения: 26.10.2021)



Рост современных городов вверх должен формировать многофункциональные высотные центры, которые должны быть насыщены разнообразными функциями, а также предусматривать наличие общественных рекреационных пространств на высоте для комфортной и здоровой жизни.

В последние годы различия в строительстве и архитектуре небоскребов становятся более заметными. Невозможно представить, какие небоскребы будут появляться в будущем, даже зная нынешние тенденции развития высотного строительства.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бареев В.И., Иванова Е.В. Проблема обеспечения безопасной эвакуации маломобильных групп населения из высотных зданий // Вестник научных конференций. 2020. № 2-2 (54). С. 20-22.
2. Гравит М.В., Карькин И.Н., Дмитриев И.И., Кузенков К.А. Моделирование процесса эвакуации из высотных зданий и сооружений с использованием пассажирских лифтов // Пожаровзрывобезопасность. 2019. Т. 28. № 2. С. 66-80.
3. Перминов Е.М. Обеспечение пожарной безопасности высотных зданий // Инженерные исследования. 2021. № 3 (3). С. 15-21. – URL: <http://eng-res.ru/archive/2021/3/15-21.pdf>
4. Ермоленко А.А., Портнова Т.А., Абдулина Е.Р. Безопасность эвакуации людей, находящихся в высотных зданиях // В сборнике: Актуальные проблемы обеспечения безопасности в техносфере и защиты населения и территорий в чрезвычайных ситуациях. Сборник научных трудов по материалам Всероссийской научно-практической конференции. 2019. С. 77-79.
5. Чеберяк В.В. Безопасность эвакуации людей, находящихся в высотных зданиях // Трибуна ученого. 2020. №6. С. 209-212.
6. Реутов Д.В., Беликов Д.Ю., Омелаева А.А. Средства спасения с высотных уровней зданий и сооружений // Пожарная и техносферная безопасность: проблемы и пути совершенствования. 2021. № 1 (8). С. 308-319.
7. Гравит М.В., Гавриленко Б.А., Бабаев Р.А., Розов А.П. Верификация расчетного времени эвакуации в высотном здании // В книге: Ройтмановские чтения. Сборник материалов VIII научно-практической конференции. Под редакцией Б.Б. Серкова. 2020. С. 19-23.
8. Шеина С.Г., Ульяновская В.В. Зеленые технологии в высотных уникальных зданиях // В книге: Актуальные проблемы науки и техники. 2018. Материалы национальной научно-практической конференции. 2018. С. 580-581.
9. Гамаюнова О.С., Гумерова Э.И. Энергосберегающее остекление как метод повышения энергоэффективности высотных зданий // В сборнике: Неделя науки СПбПУ. Материалы научной конференции с международным участием. Инженерно-строительный институт. 2018. С. 339-341.
10. Халикова А.С., Гамаюнова О.С. Особенности проектирования высотных зданий в сейсмических районах // Инженерные исследования. 2021. № 5 (5). С. 31-38. URL: <http://eng-res.ru/archive/2021/5/31-38.pdf>
11. Чесноков А.С., Тарасов А.А. Применение BIM-технологий при проектировании высотных зданий // Строительство и недвижимость. 2018. № 2-1 (3). С. 125-128.
12. Жорник М.А., Гамаюнова О.С. Высокоскоростное строительство высотных зданий // Высокие технологии в строительном комплексе. 2021. № 1. С. 115-123.
13. Ptuhina I., Spiridonova T., Musorina T., Kanyukova S., Rezvaia A. Efficiency of urban development under high-rise construction of districts // В сборнике: MATEC Web of Conferences. Editor V. Murgul. 2016. С. 01049.
14. Ptuhina I., Spiridonova T., Musorina T. Performance evaluation of high-rise complex construction depending on building site placement // Applied Mechanics and Materials. 2015. Т. 725-726. С. 153-159.
15. Sviridenko V., Novik A., Jos V. The concept of a footbridge, that leading to the Lakhta Center // AlfaBuild. 2019. № 1 (8). С. 27-36.
16. Булатов Г.Я., Костюкова А.Ю. Новые технологии фундаментостроения для высотных зданий // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. 2008. № 4 (63). С. 227-233.

#### ОБ АВТОРАХ

**Анна Анатольевна Корсунцева** – студентка. Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (СПбПУ). 195251, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д.29. E-mail: [korsuntseva.aa@edu.spbstu.ru](mailto:korsuntseva.aa@edu.spbstu.ru)

#### ABOUT THE AUTHORS

**Anna A. Korsuntseva** – student. Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University (SPbPU). 195251, Russia, St.Petersburg, Polytechnicheskaya st., 29. E-mail: [korsuntseva.aa@edu.spbstu.ru](mailto:korsuntseva.aa@edu.spbstu.ru)

УДК 712

## ГОРОДСКАЯ ЛАНДШАФТНАЯ АРХИТЕКТУРА

**Ю.С. Нечаева**

*Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,  
г. Санкт-Петербург (Российская Федерация)*

**Аннотация.** Основной целью ландшафтного проектирования является создание благоприятной среды для людей. Особенно актуальной тема является из-за постоянного роста городов и влияния окружающей среды на человека. Для создания комфортной и функциональной городской среды, которая будет соответствовать экологическим, экономическим и эстетическим требованиям, необходимо учитывать множество аспектов, среди которых природно-климатические данные и физико-географические условия. В статье рассмотрены основные принципы проектирования городской среды, представлены выдающиеся объекты ландшафтной архитектуры России (музей-усадьба «Архангельское», Петергоф, парк «Зарядье», остров «Новая Голландия», парк «Ривьера», парк Даманского острова), а также определены перспективные направления развития городской ландшафтной архитектуры. Предложено уделить особое внимание в развитии городской ландшафтной архитектуры вертикальному озеленению, которое с каждым годом становится все более перспективным направлением, создающим уникальные объекты городской архитектуры, не забывая при этом об идентичности в архитектуре и градостроительстве.

**Ключевые слова:** ландшафтная архитектура, современная городская среда, градостроительство, благоустройство, озеленение, зеленая кровля, архитектурный стиль, хай-тек, парк, Петергоф, Зарядье, Новая Голландия.

**Ссылка для цитирования:** Нечаева Ю.С. Городская ландшафтная архитектура // Инженерные исследования. 2022. № 1(6). С. 33-39. URL: <http://eng-res.ru/archive/2022/1/33-39.pdf>

## URBAN LANDSCAPE ARCHITECTURE

**Yu.S. Nechaeva**

*Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University, St.Petersburg (Russian Federation)*

**Abstract.** The main goal of landscape design is to create a favorable environment for people. The topic is especially relevant due to the constant growth of cities and the impact of the environment on humans. To create a comfortable and functional urban environment that will meet environmental, economic and aesthetic requirements, it is necessary to take into account many aspects, including natural and climatic data and physical and geographical conditions. The article discusses the basic principles of designing the urban environment, presents the outstanding objects of landscape architecture in Russia (Arkhangelskoye Museum-Estate, Peterhof, Zaryadye Park, New Holland Island, Riviera Park, Damansky Island Park), and also identifies promising directions of development of urban landscape architecture. It is proposed to pay special attention in the development of urban landscape architecture to vertical gardening, which every year becomes an increasingly promising direction that creates unique objects of urban architecture, while not forgetting about identity in architecture and urban planning.

**Keywords:** landscape architecture, modern urban environment, urban planning, landscaping, gardening, green roof, architectural style, high-tech, park, Peterhof, Zaryadye, New Holland.

**For citation:** Nechaeva Yu.S. Urban landscape architecture // Inzhenernyye issledovaniya [Engineering Research]. 2022. No. 1(6). Pp. 33-39. URL: <http://eng-res.ru/archive/2022/1/33-39.pdf>

## ВВЕДЕНИЕ

Уже много лет четко прослеживается тенденция роста и развития городов. Облик современного города очень сильно преобразился и продолжает динамично развиваться под влиянием социальных, экономических и экологических факторов. Именно за благоустройство, функционально-пространственную организацию жизнедеятельности людей на открытых пространствах, сохранение экологической и эстетической ценности территорий и улучшение природных ландшафтов отвечает городская ландшафтная архитектура.

Ландшафтная архитектура – это архитектура открытых пространств, комплексное благоустройство территорий, включающее в себя организацию, планирование, проектирование и управление городским пространством. Целью благоустройства является нахождение компромисса между наиболее выгодным использованием территорий, созданием условий для комфортной жизнедеятельности людей, сохранением природных ландшафтов и улучшением экологической ситуации. То есть, это деятельность, направленная на улучшение внешнего вида, удобства и безопасности городского пространства.

При проектировании архитекторы должны учитывать специфику местности (природно-климатические условия, рельеф, почву, наличие водоемов, грунтовые воды и т.д.), характер застройки (габариты и этажность зданий, направление и расположение дорог, плотность жилого фонда, размещение жилых и общественных зданий, подземные сети), расположение культурно-исторических объектов и объектов, несущих художественную или экологическую ценность (фонтаны, парки, скульптуры, памятники культуры, арт-объекты, заповедники, заказники и т.д.).

Виды деятельности, направленные на благоустройство, включают: районную планировку, зонирование, озеленение, обводнение, оснащение территорий объектами общего пользования (детские и спортивные площадки, зоны отдыха, беседки, скамейки, парки культуры и отдыха, сады, скверы, бульвары, стадионы и т.д.), освещение городских территорий, архитектурно-художественное оформление, рекламу (вывески, баннеры и т.д.), оснащение пешеходными дорожными сетями и велодорожками, а также объектами санитарно-гигиенического назначения и противопожарной безопасности.

Целью архитектора является создание композиционного решения, которое будет обеспечивать удобство и безопасность, а также повышать эстетическую выразительность, то есть объединять природу и архитектурные произведения. Необходимо уточнить, что эстетический аспект важен и первостепенен, квалифицированный специалист должен понимать природные особенности, знать национальную и историческую специфику местности, обладать художественным вкусом, использовать различные приемы для создания выразительности. Композиция не должна быть перегружена или пуста, цветовые и форменные решения должны сочетаться друг с другом, материалы и текстуры, должны не только соответствовать санитарным правилам и нормам, но и отвечать эстетическим требованиям. Также специалист должен учитывать существующую архитектурно-планировочную ситуацию и все ее особенности, по возможности усовершенствуя ее и ликвидируя имеющиеся недостатки.

## ПРИНЦИПЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ

Существуют множество факторов, формирующих основу городской среды. Один из них - влияние транспортного потока. Роль транспортных и пешеходных пространств при формировании ландшафтной архитектуры города сводится к формированию привлекательного пространства и его разнообразию с помощью создания мест для различного времяпрепровождения, разграничению пешеходных и других видов транспортных потоков (вело-, авто-, городской общественный транспорт) за счет использования растительности и малых форм [1, 2].

Для создания комфортной и функциональной городской среды, которая будет соответствовать экологическим, экономическим и эстетическим требованиям, необходимо учитывать множество аспектов. Необходимо заранее учитывать природно-климатические данные и физико-географические условия. При проектировании важно уделять особое внимание следующим аспектам:

- единый стиль композиции, компоненты должны дополнять друг друга или быть нейтральными;
- расставление акцентов в пространстве там, где необходимо привлечь внимание или сделать упор на объект;
- сочетаемость элементов благоустройства, озеленения (кустарников, живых оград, клумб) и освещения;
- зонирование территорий по функциональному назначению, правильное ограждение и расположение по отношению друг к другу;
- учет сезонов и погодных условий, возможность проведения уборки в любое время года;

- доступность для всех возрастных групп, а также для людей с ограниченными возможностями здоровья;
- безопасное расположение детских площадок и спортивных комплексов;
- соответствие экологическим нормам;
- соблюдение максимального сохранения существующих элементов ландшафта;
- учет стоимости работ, а также затрат на последующий уход и ремонт;
- соответствие существующим санитарным нормам и правилам, ГОСТ.

Не стоит забывать и об идентичности в архитектуре и градостроительстве [3]. В качестве приёмов раскрытия идентичности в мировой практике встречаются: наследование строительных материалов в застройке, сочетание традиций культуры и новаторских композиционных решений, аллюзия исторической застройки и античности, возрождение природного ландшафта и др. (рис. 1, рис.2).



**Рис. 1.** Уникальность как основа новой идентичности: небоскрёб Бурдж-Халифа (Дубай, ОАЭ) [3]

**Fig. 1.** Uniqueness as the basis of a new identity: the Burj Khalifa skyscraper (Dubai, UAE)



**Рис. 2.** Наследование строительных материалов в застройке (Дубровник, Хорватия) [3]

**Fig. 2.** Inheritance of building materials in development (Dubrovnik, Croatia)

### ВЫДАЮЩИЕСЯ ОБЪЕКТЫ ЛАНДШАФТНОЙ АРХИТЕКТУРЫ РОССИИ

Развитие ландшафтной архитектуры в России сильно отличается от европейских стран. Несмотря на глобализацию, считается что Россия в вопросе ландшафтного дизайна отстает от Европы на несколько десятков лет. Кроме того, многие считают, что данная отрасль в России развивается собственным путем, отличным от других стран. Русской ландшафтной архитектуре характерно развитие рывками, иногда в ускоренном темпе, в отличие от европейского эволюционно-поступательного процесса. Нельзя преуменьшать значение выдающихся объектов ландшафтной архитектуры, которые являются произведениями искусства. Один из них - усадьба «Архангельское» - дворцово-парковый ансамбль конца XVIII - начала XIX века, расположенный в городском округе Красногорск Московской области (рис.3). Характерной чертой усадьбы является гармоничное единство больших перспектив и тщательная отделка мелких архитектурных деталей, синтез природного и созданного человеком. Специалисты отмечают традиционность архитектурно-планировочного решения усадьбы. Отличительной чертой усадьбы также является отведение скульптуре главенствующей роли. Она используется для декоративного оформления, обозначения границ отдельных участков, создания цветовых акцентов, завершения аллей, подчеркивания оси симметрии и масштабности.

Другим выдающимся примером ландшафтной архитектуры является дворцово-парковый ансамбль Петергоф, расположенный на южном берегу Финского залива (рис.4). Петергоф вместе с рядом других памятников Санкт-Петербурга образует единый комплексный объект Всемирного наследия ЮНЕСКО.

Композиция Петергофа отличается строгой изысканностью и широтой [4]. Парк состоит из трех связанных между собой ансамблей, каждый из которых состоит из самостоятельных микроансамблей - садов, в каждом из которых достигнут удивительный синтез архитектуры и движущейся воды, искусства и природы. Важно отметить, что ансамбль имеет одну из крупнейших фонтанных систем в мире.

Так же характерной особенностью дворцово-паркового ансамбля Петергофа является его близость к морю. Из девяти парков ансамбля четыре северной границей имеют Финский залив.





**Рис. 3.** Музей-усадьба «Архангельское»<sup>1</sup>  
**Fig. 3.** Museum-estate «Arkhangelskoye»



**Рис. 4.** Петергоф<sup>2</sup>  
**Fig. 4.** Peterhof

В 2017 году в Москве открылся уникальный ландшафтный парк «Зарядье», который создавали архитекторы со всего мира (рис.5). Главной особенностью парка стало то, что все его объекты «спрятаны» под ландшафтом. При этом зеленое пространство «Зарядья» не однообразное - здесь воссозданы четыре природные зоны России: смешанный лес, степь, северный ландшафт и луг. «Пляшущий мост» в парке «Зарядье» представляет собой уникальный мост, единственный в России: у него 70-метровая консоль без единой опоры. Несущую конструкцию моста выполнили из бетона, а декоративные элементы - из металла. При этом настил «пляшущего моста» деревянный.

На территории острова «Новая Голландия» (рис.6) находится парк с продуманным ландшафтом и историческими зданиями. За привлекательным внешним видом зон отдыха и комфортом посетителей острова скрывается сложнейшая инженерная инфраструктура.



**Рис. 5.** Парк «Зарядье» (г.Москва)<sup>3</sup>  
**Fig. 5.** Zaryadye Park (Moscow)



**Рис. 6.** Остров «Новая Голландия» (Санкт-Петербург)<sup>4</sup>  
**Fig. 6.** Island "New Holland" (St. Petersburg)

Парк культуры и отдыха «Ривьера» в Сочи - один из самых уникальных уголков природы (рис.7). Основанный ещё в 1989 г. парк давно стал частью историко-культурного наследия и природно-историческим памятником г. Сочи. В Парке около 240 различных видов и форм деревьев и кустарников, платановая аллея, уникальный розарий и более чем 60 аттракционов.

Уникальным ландшафтом обладает и остров-парк «Даманский» в Ярославле, входящем в Золотое Кольцо России (рис.8).

<sup>1</sup> Архангельское [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.sputnik8.com/ru/moscow/sights/arhangelskoe/info> (дата обращения: 17.10.2021)

<sup>2</sup> Петродворец в Петергофе [Электронный ресурс]. – URL: <https://russo-travel.ru/landmark/petergof/petrodvorets-v-petergof/> (дата обращения: 17.10.2021)

<sup>3</sup> Собянин поздравил парк "Зарядье" с трехлетием [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.m24.ru/news/mehr-Moskvu/09092020/132523> (дата обращения: 15.10.2021)

<sup>4</sup> Реставрация острова Новая Голландия проходит с применением современных решений в области технической изоляции [Электронный ресурс]. – URL: <https://asninfo.ru/news/95157-restavratsiya-ostrova-novaya-gollandiya-prokhorit-s-primeneniyem-sovremennykh-resheniy-v-oblasti-tek> (дата обращения: 20.10.2021)





Рис. 7. Парк «Ривьера» (г. Сочи)<sup>5</sup>  
Fig. 7. Riviera Park (Sochi)



Рис. 8. Парк Даманского острова (г. Ярославль)<sup>6</sup>  
Fig. 8. Damansky Island Park (Yaroslavl)

### ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ГОРОДСКОЙ ЛАНДШАФТНОЙ АРХИТЕКТУРЫ

Одной из современных активно развивающихся технологий городской ландшафтной архитектуры является вертикальное озеленение [5, 6].

Основные направления вертикального озеленения [5]:

- зеленые стены - все формы заросших стеновых поверхностей;
- зеленые крыши и террасы - это крыши и террасы зданий с живыми растениями, высаженными в грунт прямо на поверхность крыши (рис.9);
- эко-графити - рисунки из мха на вертикальных поверхностях (рис.10);
- самостоятельные зеленые стены;
- вертикальные клумбы - независимо высаженные отдельно стоящие системы-цветники вертикального направления;
- вертикальные фермы - здание со сложной технической структурой для выращивания сельскохозяйственной продукции.



Рис. 9. Зеленая кровля крыши<sup>7</sup>  
Fig. 9. Green roof



Рис. 10. Граффити из мха на стенах<sup>8</sup>  
Fig. 10. Moss graffiti on the walls

Основной функцией вертикального озеленения, используемого в ландшафтном дизайне, является сохранение тепла внутри здания зимой и прохладной температуры летом, что значительно сокращает затраты на отопление и кондиционирование.

<sup>5</sup> «Ривьера» в Сочи — курортный парк для всей семьи! [Электронный ресурс]. – URL: <https://parentbook.ru/rivyera-sochi/> (дата обращения: 16.10.2021)

<sup>6</sup> Лучшие городские парки России [Электронный ресурс]. – URL: <https://gotonature.ru/1692-luchshie-gorodskie-parki-gossii.html> (дата обращения: 13.10.2021)

<sup>7</sup> Зеленая кровля крыши [Электронный ресурс]. – URL: <https://samstroy.com/зеленая-кровля-крыши/> (дата обращения: 18.10.2021)

<sup>8</sup> Как сделать граффити из мха. Пошаговая инструкция [Электронный ресурс]. – URL: <http://zagorodnaja-life.ru/kak-sdelat-graffiti-iz-mha-poshagovaya-instrukciya> (дата обращения: 16.10.2021)

Еще одним перспективным архитектурно-дизайнерским направлением городской ландшафтной архитектуры является использование стиля хай-тек [7]. В ландшафтной архитектуре России стиль хай-тек является относительно новым направлением. Если архитектурные проекты в стиле хай-тек уже не редкость, то в ландшафтном дизайне они только начинают появляться (рис.11).



**Рис. 11.** Малые архитектурные формы (а) и элементы ландшафта (б) в стиле хай-тек<sup>9</sup>  
**Fig. 11.** Small architectural forms (a) and landscape elements (b) in high-tech style

Территория не обязательно должна быть полностью спроектирована в данном стиле, достаточно отдельных элементов планировки и благоустройства. Современный стиль хай-тек также уместен в оформлении территорий дворов, участков вдоль улиц и магистралей, а также при проектировании современных парков.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящее время происходит стремительное развитие городской ландшафтной архитектуры, это позитивно сказывается как на самой отрасли, так и на градостроительстве в целом. Городская среда – это совокупность многих объектов, которые формируют пространство и взаимоотношения внутри этого пространства. Поэтому невозможно переоценить значимость городской ландшафтной архитектуры в жизни людей. Формирование комфортной городской среды – это сложный процесс, включающий в себя множество экологических, экономических и социальных аспектов, который напрямую влияет на развитие и функционирование города, а также на жизнедеятельность людей в общем и на каждого человека отдельно.

Городская среда подлежит тщательному изучению, описанию и оценке перед выполнением каких-либо ландшафтных работ, необходимо создать индивидуальную комплексную программу развития для каждой территории, учитывая все ее аспекты и особенности. Для создания комфортной среды необходимо учитывать потребности всех групп населения [8, 9].

Особое внимание в развитии городской ландшафтной архитектуры стоит уделить вертикальному озеленению, которое с каждым годом становится все более перспективным направлением, создающим уникальные объекты городской архитектуры, не забывая при этом об идентичности в архитектуре и градостроительстве.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зубайдуллаев У.З., Хусаинов Ш.Я., Хасанова Ш.Х., Журакулова Ш.К.К. Влияние транспортного потока в организации ландшафтной архитектуры города // В сборнике: Молодежь и XXI век - 2018. материалы VIII Международной молодежной научной конференции: в 5 томах. 2018. С. 272-275.
2. Шуленбаева А.Р., Джумабаева А.Т., Сейтов Н.Б., Добровольская В.В., Алтаева Г.О. Ландшафтная архитектура в организации транспортных потоков города // Вестник науки Южного Казахстана. 2019. № 2 (6). С. 25-29.

<sup>9</sup> Сад в стиле хай тек: Дизайн сада в стиле хай-тек, общие черты и разнообразие материалов, творческое использование пространства, зеленых насаждений и воды [Электронный ресурс]. – URL: <https://absolut-dostavka.ru/raznoe/sad-v-stile-haj-tek-dizajn-sada-v-stile-haj-tek-obshhie-cherty-i-raznoobrazie-materialov-tvorcheskoe-ispolzovanie-prostranstva-zelenyh-nasazhdenij-i-vody.html> (дата обращения: 28.10.2021)



3. Есаулов Г.В. Об идентичности в архитектуре и градостроительстве // *Academia. Архитектура и строительство*. 2018. № 4. С. 12-18. DOI: 10.22337/2077-9038-2018-4-12-18
4. Маслов А.Н., Карпова С.В. Городская ландшафтная архитектура // *Инженерные исследования*. 2021. № 4 (4). С. 41-47.
5. Филатова Е.В., Жукова В.В. Инновационные приемы в ландшафтной архитектуре современного города // В сборнике: *Экологические проблемы региона и пути их разрешения. Материалы XV Международной научно-практической конференции*. Под общей редакцией Е.Ю. Тюменцевой. Омск, 2021. С. 164-169.
6. Хуснутдинова А.И., Александрова О.П., Новик А.Н. Технология вертикального озеленения // *Строительство уникальных зданий и сооружений*. 2016. № 12 (51). С. 20-32.
7. Рукавишников Е.Л., Макарова М.В. О применении стиля хай-тек в оформлении скверов и бульваров г. Москвы // В сборнике: *Инновационные технологии в науке и образовании. сборник статей XII Международной научно-практической конференции*. 2019. С. 339-349.
8. Лавров Л.П., Молоткова Е.Г., Суровенков А.В. Градостроительные парадоксы «Geniusloci» в историческом центре Санкт-Петербурга // *Academia. Архитектура и строительство*. 2021. № 1. С. 85-91. DOI: 10.22337/2077-9038-2021-1-85-91
9. Беляева Е.Л. «Сохранение» и «обеспечение сохранности» при проектировании благоустройства и озеленения центров исторических городов // *Биосферная совместимость: человек, регион, технологии*. 2019. № 3 (27). С. 54-70. DOI: 10.21869/23-11-1518-2019-27-3-54-70

#### ОБ АВТОРАХ

**Юлия Сергеевна Нечаева** – студентка. Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (СПбПУ). 195251, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д.29. E-mail: [nechaeva.yus@edu.spbstu.ru](mailto:nechaeva.yus@edu.spbstu.ru)

#### ABOUT THE AUTHORS

**Yulia S. Nechaeva** – student. Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University (SPbPU). 195251, Russia, St.Petersburg, Polytechnicheskaya st., 29. E-mail: [nechaeva.yus@edu.spbstu.ru](mailto:nechaeva.yus@edu.spbstu.ru)