

## Особые точки напряженно-деформированного состояния как слабое конструктивное место зданий и сооружений при сейсмическом воздействии

© А. И. Алексеев, Е. Э. Тарханов, В. И. Соболев

*Иркутский национальный исследовательский технический университет,  
г. Иркутск, Российская Федерация*

**Аннотация.** Ежегодно в мире происходит 1–2 катастрофических землетрясения, 10–15–регионального масштаба, 100–150 – с разрушительными толчками. Такие природные бедствия приводят к многочисленным человеческим жертвам и наносят огромный экономический ущерб странам в сейсмически активных поясах Земли. Уже более ста лет изучаются вопросы сейсмологии и теории сейсмостойкого строительства с целью минимизации последствий землетрясений. Особенности проектирования зданий зависят от степени сейсмической активности. В Иркутской области землетрясения часты, что требует учета сейсмической нагрузки при строительстве. Здания и сооружения состоят из разных видов конструкций, в которых из-за специфики устройства могут возникать особые точки НДС. В данной статье была рассмотрена одна из таких конструкций, а именно оконные проемы: часто после землетрясений в углах окон обнаруживаются трещины. В программе Nastran нами были построены модели и проведены расчеты, что позволило увидеть возникновение особых точек НДС и предложить одно из решений по избавлению от таких напряжений и предотвращению образования трещин.

**Ключевые слова:** сейсмическое воздействие, образование трещин, особые точки, напряжения, напряженно-деформированное состояние, деформации

## Singular points of the stress-strain state as a weak structural point of buildings and structures under seismic impact

© Alexander I. Alekseyev, Evgeny E. Tarkhanov, Vladimir I. Sobolev

*Irkutsk National Research Technical University,  
Irkutsk, Russian Federation*

**Abstract.** Every year there are 1-2 catastrophic earthquakes in the world, 10-15-regional scale, 100-150 - with destructive shocks. In addition to numerous human losses, such natural disasters cause enormous economic damage to countries in the seismically active zones of the Earth. For more than a hundred years, the issues of seismology and the theory of earthquake-resistant construction have been studied in order to minimize the consequences of earthquakes. Seismic activity has a great influence on the design of buildings and structures. A feature of the Irkutsk region is frequent seismic activity, which requires that seismic load be taken into account during construction. Buildings and structures consist of different types of structures, and due to the peculiarities of their design, special SSS points may occur in them. The article discusses one of these structures, namely window openings: often after earthquakes, cracks are found in the corners of the windows. The models built in the Nastran program and the calculations made it possible to see the occurrence of SSS singular points and offer one of the solutions to get rid of such stresses and prevent the formation of cracks.

**Keywords:** seismic action, cracking, singular points, stresses, stress-strain state, deformations

При анализе последствий сейсмического воздействия мы часто можем наблюдать образование трещин. Они бывают техногенными и естественными, конструктивными и технологическими, открытыми и закрытыми. Образуются в зависимости от множества различных факторов: начиная от просадки грунта, вызывающей неравномерное распределение нагрузки в конструктиве здания, заканчивая техногенными последствиями [1, 2]. Мы решили заострить внимание именно на трещинах, которые обра-

зуются в местах так называемого скопления напряжений, то есть точках напряженно-деформированного состояния.

Особые точки можно охарактеризовать как концентраторы напряжения конструктива здания, сочетающие в себе напряжения, вызванные как поперечной нагрузкой, так и продольной. Области особых точек находятся в углах дверных и оконных проемов. На рис. 1 данные области отмечены красным маркером.

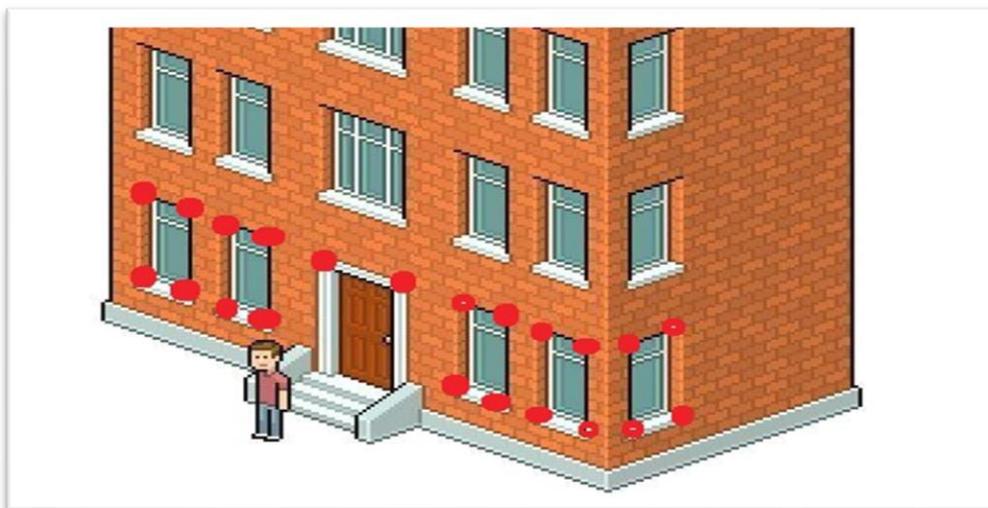


Рис. 1. Области особых точек НДС

Воздействие продольной и поперечной нагрузки приводит к образованию растягивающего напряжения, что в свою очередь ведет к появлению таких опасных деформаций, как отрыв (а), сдвиг (d), растяжение под углом (b) и смятие (с) (рис. 2).

Нас интересует такой вид деформации как растяжение под углом, ведь именно он возникает при сейсмической активности и именно он, воздействуя на особую точку НДС, приводит к образованию трещин в данных узлах [3]. Конструктивно избежать возникновения особой точки НДС возможно с

помощью устройства вутов.

Вуты в железобетонных сооружениях (рис. 3) [4] – это утолщения плит или балок по высоте сечения вблизи опор. Вуты повышают сопротивление плит и балок на коротком протяжении около опор, где моменты и перерезающие силы достигают наибольших абсолютных значений. Такое увеличенное сечение применяется к опорам для соответственного размещения арматуры в противодействие отрицательным изгибающим моментам.

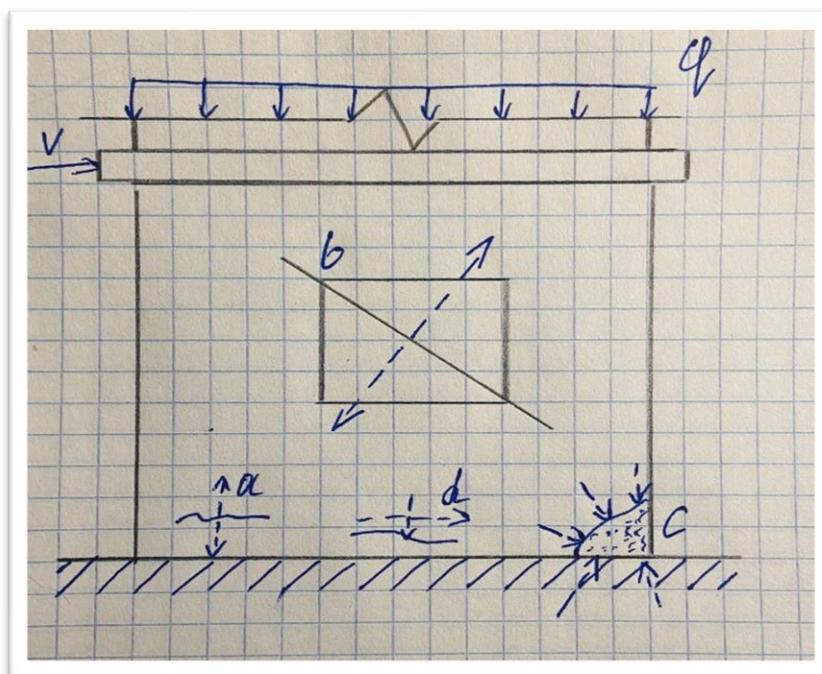


Рис. 2. Различные виды деформаций

Отношение высоты ( $h$ ) вута к его заложению (длине) принимается обычно не более 1:3, в противном случае приходится учитывать влияние наклонного положения поверхности вутов на величину расчетных напряжений [5]. Если же по каким-либо соображениям

устройство вутов недопустимо, то увеличение сечений балок достигается их расширением. Для улучшения сопротивления балок увеличение высоты является предпочтительным.

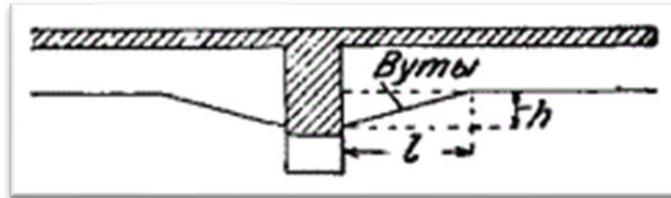


Рис. 3. Устройство вута

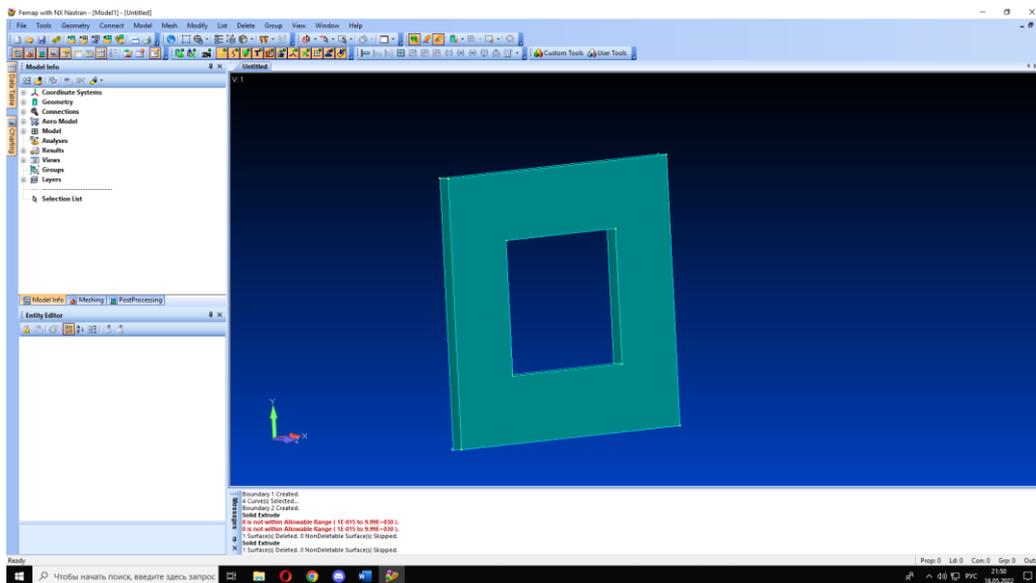


Рис. 4. Модель оконного проема

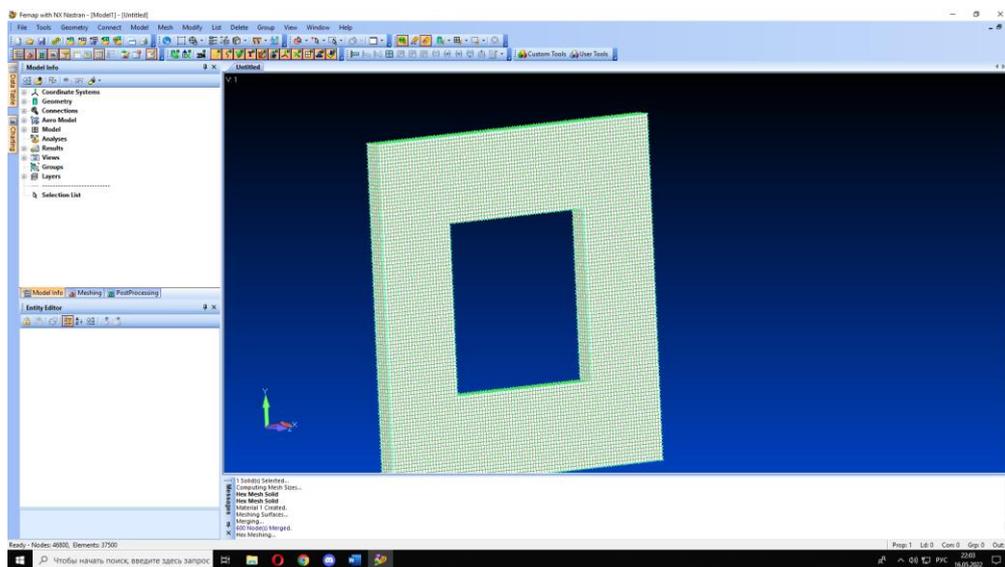


Рис. 5. Разбивка модели на элементы

При помощи программного комплекса Femap with NX Nastran мы решили изучить, как меняется напряжение в области особой точки при устройстве вута и без него. Для начала нами была создана модель оконного проема (рис. 4) [6].

Далее мы разбили получившуюся модель на элементы (рис. 5), задали характеристики материала, указали связи и приложили нагрузку.

После задания всех необходимых пара-

метров мы провели расчет и анализ системы. Результат представлен на рис. 6, 7 [7, 8]. Можно заметить, как в углу в диагональном направлении образовалась область напряжения. Полученная область обозначает особую точку НДС.

Мы построили модель оконного проема с вутом, задали те же характеристики материала и приложили такую же нагрузку. На рис. 8, 9 можно видеть анализ построенной части модели угла с использованием вута [9, 10].

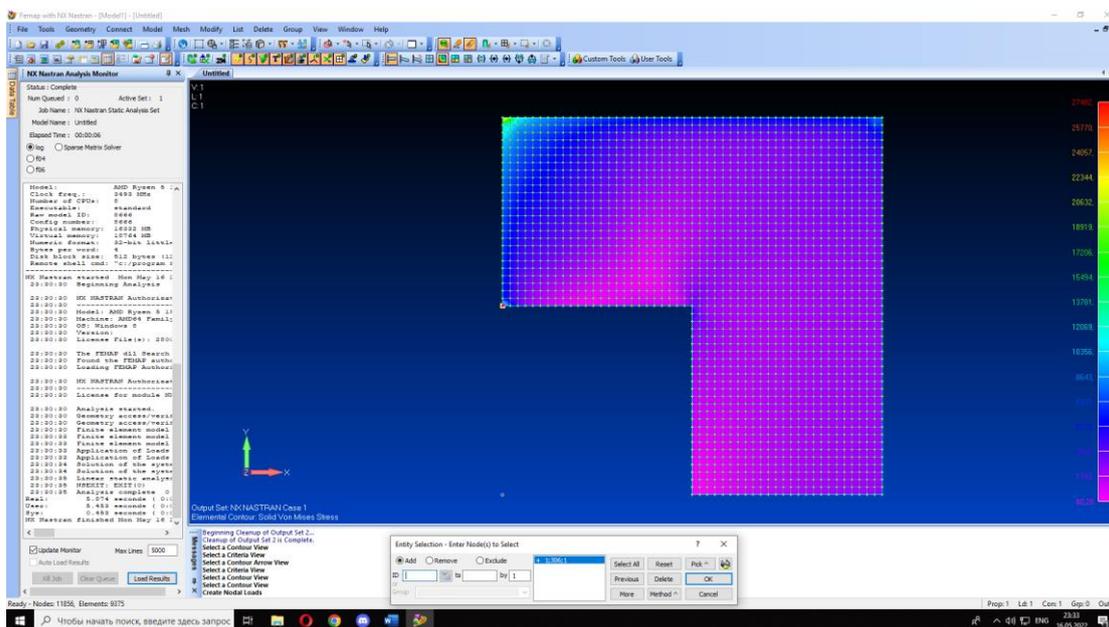


Рис. 6. Результат анализа системы

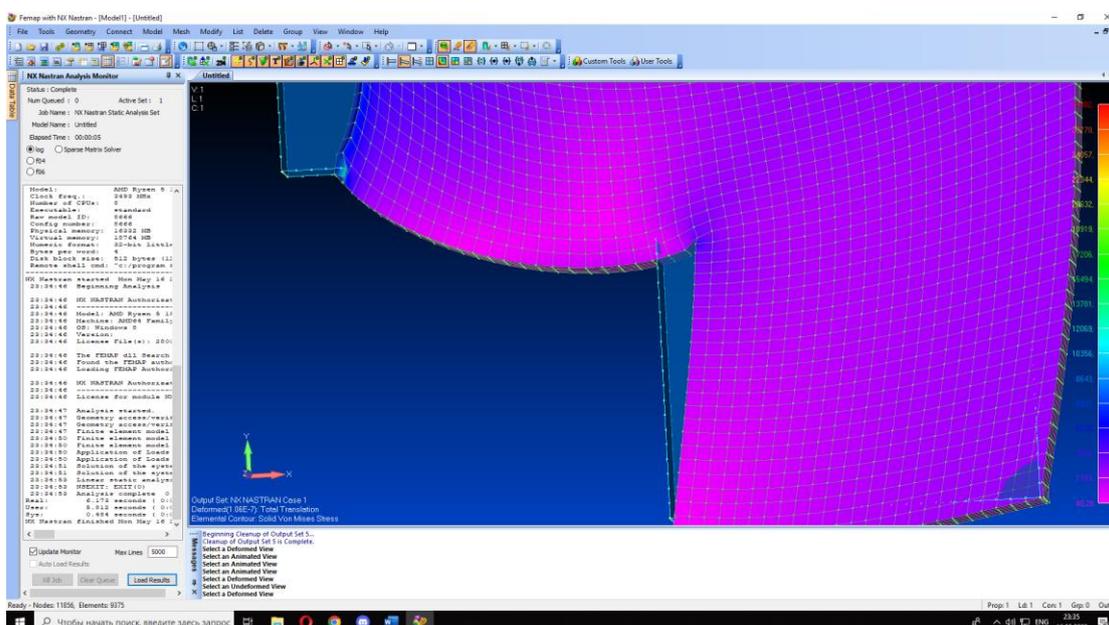


Рис. 7. Результат анализа системы

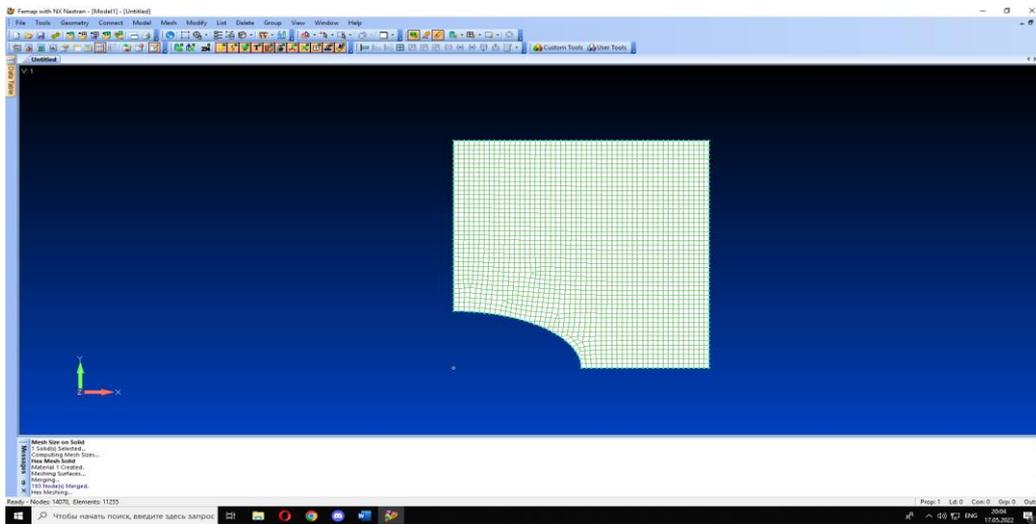


Рис. 8. Модель оконного проема с использованием вута

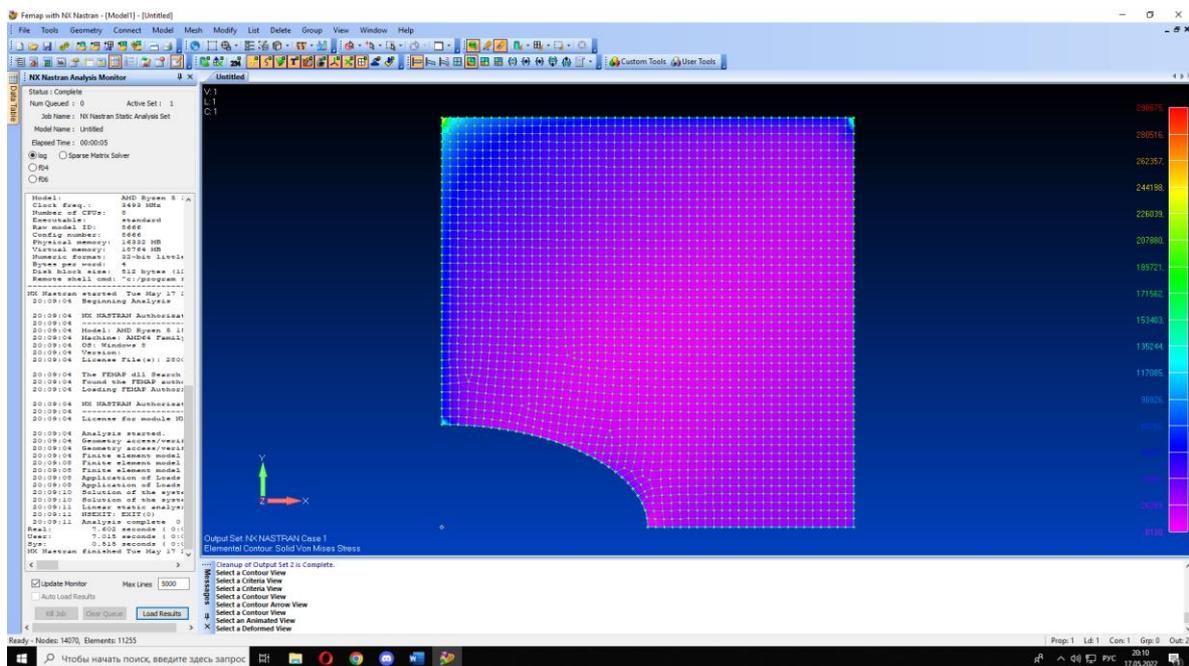


Рис. 9. Результат анализа системы

Как видим, материал и величина нагрузки остались прежними, но при устройстве вута (закругление) напряжение, возникающее в исследуемой области, исчезло.

Из анализа созданных моделей можно сделать вывод, что устройство вутов – это отличный способ борьбы со сложными

напряженно-деформированными состояниями, возникающими в окрестности особой точки при сейсмической активности. Применение вутов помогает распределять напряжение, возникающее в данном узле, благодаря чему решается проблема трещин.

### Список источников

1. Талапов В. В. BIM: что под этим обычно понимают // Isicad. [Электронный ресурс]. URL: [http://isicad.ru/ru/articles.php?article\\_num=14078](http://isicad.ru/ru/articles.php?article_num=14078) (26.01.2021).
2. Autodesk. Информационное моделирование объек-

тов промышленного и гражданского строительства. Проектирование, строительство, эксплуатация // Autodesk. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.autodesk.ru/bim/metro> (26.01.2021).

3. Autodesk. Концептуальное проектирование инфраструктуры с Autodesk InfraWorks 360 // Autodesk. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.autodesk.ru/campaigns/en/iw/> (26.01.2021).
4. Navisworks. Программное обеспечение для проверки 3D-моделей для архитекторов, инженеров и строительных организаций // Autodesk. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.autodesk.ru/products/navisworks/overview> (26.01.2021).
5. Вербицкий В. А. Анализ программных комплексов и опыта внедрения BIM-технологии // International Journal of Advanced Studies. 2019. № 2. С. 14–28.
6. Талапов В. В. Многоликий BIM // Isicad. [Электронный ресурс]. URL: [http://isicad.ru/ru/articles.php?article\\_num=14261&compage=3](http://isicad.ru/ru/articles.php?article_num=14261&compage=3) (27.01.2021).
7. Иванов Р. П. BIM-технологии на службе спорта // Строительная газета. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.stroygaz.ru/publication/item/bim-tehnologii-na-sluzhbe-sporta> (27.01.2021).
8. Лустина О. В., Бикбаева Н. А., Купчиков А. М. Использование BIM-технологий в современном строительстве // Молодой ученый. 2016. № 15. С. 187–190.
9. Филина Ф. Н. BIM-Технологии в проектировании зданий // Наука и промышленность России. 2016. № 3. С. 330–361.
10. Фролова Е. В. Информационное моделирование строительного объекта (BIM) // Инновации. 2017. № 4. С. 109–123.

#### **Информация об авторах / Information about the Authors**

**Александр Игоревич Алексеев**,  
магистрант группы ТиМм-20,  
Институт архитектуры, строительства и дизайна,  
Иркутский национальный исследовательский  
технический университет,  
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83,  
Российская Федерация,  
[sasha221198@yandex.ru](mailto:sasha221198@yandex.ru)

**Alexander I. Alekseyev**,  
Student,  
Institute of Architecture, Construction and Design,  
Irkutsk National Research Technical University,  
83 Lermontov St., Irkutsk 664074,  
Russian Federation,  
[sasha221198@yandex.ru](mailto:sasha221198@yandex.ru)

**Евгений Эдуардович Тарханов**,  
магистрант группы ТиМм-20,  
Институт архитектуры, строительства и дизайна,  
Иркутский национальный исследовательский  
технический университет,  
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83,  
Российская Федерация,  
[tarhanov38@gmail.com](mailto:tarhanov38@gmail.com)

**Evgeny E. Tarkhanov**,  
Student,  
Institute of Architecture, Construction and Design,  
Irkutsk National Research Technical University,  
83 Lermontov St., Irkutsk 664074,  
Russian Federation,  
[tarhanov38@gmail.com](mailto:tarhanov38@gmail.com)

**Владимир Иванович Соболев**,  
доктор технических наук, профессор,  
кафедра сопротивления материалов  
и строительной механики,  
Институт архитектуры, строительства и дизайна,  
Иркутский национальный исследовательский  
технический университет,  
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83,  
Российская Федерация,  
[tarhanov38@gmail.com](mailto:tarhanov38@gmail.com)

**Vladimir I. Sobolev**,  
Dr. Sci. (Technics), Professor,  
Department of Strength of Materials  
and Structural Mechanics,  
Institute of Architecture, Construction and Design,  
Irkutsk National Research Technical University,  
83 Lermontov St., Irkutsk 664074,  
Russian Federation,  
[tarhanov38@gmail.com](mailto:tarhanov38@gmail.com)