

ООО «Центр инженерных услуг «МОДЕЛЬЕР»



Утверждаю

Генеральный директор

С.С. Смольянин

Технический отчет

№127.03.001

Вертикальная лестница

Расчетные исследования трехмерного напряженно-деформированного состояния конструкции

Ответственный исполнитель
Е.С. Калинина
Инженер Калинина Е.С.

Подольск, 2016

1. Содержание

2.	Введение	3
3.	Исходная информация и постановка задач	4
4.	Задачи расчетных исследований	4
5.	Нагрузки и воздействия. Основные расчетные положения	5
5.1.	Виды нагрузок на конструкцию и их расчетные сочетания.....	5
5.2.	Нагрузка на ступень лестницы.....	5
5.3.	Нагрузка на балку крепления лестницы к стене здания	5
5.4.	Нагрузка на площадку.....	6
5.5.	Нагрузка ограждения лестницы	6
5.6.	Гололедная нагрузка	7
6.	Расчет конструкции.....	8
6.1.	Расчет ступени лестницы.....	8
6.2.	Расчет балки крепления к стене	9
6.3.	Расчет площадки.....	11
6.4.	Расчет ограждений лестницы от действия горизонтальной нагрузки.....	12
6.5.	Расчет ограждений лестницы от действия вертикальной нагрузки	13
6.6.	Расчет защитного ограждения в вертикальном направлении	15
6.7.	Расчет лестницы от действия гололедной нагрузки	16
6.8.	Проверка на упругую устойчивость	17
7.	Анализ результатов. Выводы	18
8.	Список основных использованных источников	19

2. Введение

В данном документе представлены результаты расчетов напряженно-деформированного состояния *вертикальной лестницы* при действии эксплуатационных нагрузок в соответствии с ГОСТ 53254-2009. Расчеты выполнены на основе трехмерного физически линейного конечноэлементного анализа с использованием программного комплекса OpenFOAM-v3.0.

Расчет проводится на соответствие конструкции требованиям по обеспечению работоспособности при воздействии внешних факторов.

Работа выполняется ООО «Центр инженерных услуг «МОДЕЛЬЕР».

В процессе работы ставятся и решаются следующие задачи:

- Нагружение лестницы расчетной нагрузкой;
- Анализ полученных результатов, сопоставление результатов расчета с допускаемыми величинами.

Используются следующие исходные данные:

- чертежи актуального проектного варианта лестницы с необходимой детализацией;

В документе приводятся:

- краткое описание конструкции и характеристик материалов металлических конструкций и узлов, расчетных нагрузок и их сочетаний, постановка задач расчетных исследований напряженно-деформированного состояния и прочности;
- результирующие параметры пространственного напряженно-деформированного состояния лестницы (деформации) при расчетном приложении нагрузок, оценка статической прочности по нормативным критериям.

В заключении, на базе выполненных расчетных исследований делается вывод о соответствии состояния несущих конструкций лестницы нормативным критериям статической прочности при условии соблюдения принятых параметров проекта.

3. Исходная информация и постановка задач

Заказчиком представлены чертежи для проектирования и расчета конструкции вертикальной лестницы согласно ТУ 5262-002-92716048-2012 «Быстрособорные металлические лестницы «Вол-Тех». Технические условия».

Из материалов предоставленных условий конструкция лестницы состоит из следующих элементов:

- кронштейнов крепления лестницы к стене – гнутый профиль;
- вертикальных тетив, жестко соединенных поперечными опорными ступенями;
- площадки для выхода на крышу;
- ограждения;

Жесткость и устойчивость конструкций обеспечивается жесткостью и устойчивостью тетив в сборе со ступенями, а также жесткостью узла крепления кронштейнов лестницы к стене.

На рис.1 представлена модель лестницы.

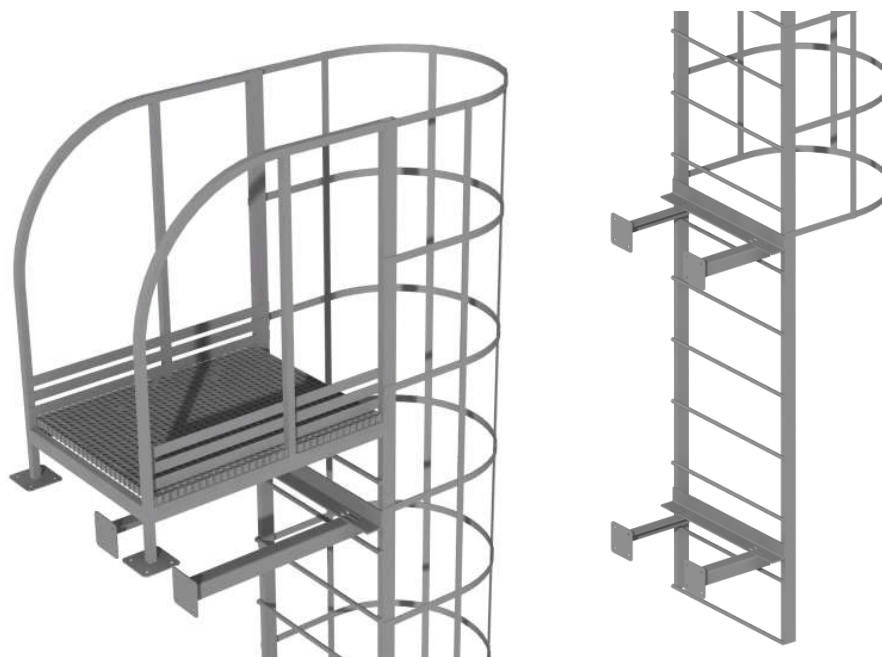


Рис. 1. Вертикальная лестница

4. Задачи расчетных исследований

В соответствии с техническим заданием решаются следующие задачи:

- разработка расчетной модели лестницы;
- определение напряженно-деформированного состояния конструкции;
- оценка статической прочности конструкции по нормативным критериям.

5. Нагрузки и воздействия. Основные расчетные положения

5.1. Виды нагрузок на конструкцию и их расчетные сочетания

В соответствии с ГОСТ 53254-2009 «Техника пожарная. Лестницы пожарные наружные стационарные. Ограждения кровли» необходимо испытать следующие элементы лестницы:

- ступень лестницы;
- балку крепления вертикальной лестницы к стене здания;
- площадку лестницы;
- ограждение лестницы;

В соответствии с СП 20.13330.2011 «Нагрузки и воздействия» необходимо испытать:

- перила лестницы на сосредоточенную вертикальную и горизонтальные нагрузки;
- конструкцию лестницы на удовлетворение условиям жесткости;
- на гололедные нагрузки (на ветровые и снеговые воздействия не испытываем ввиду решетчатой конструкции лестницы);

Общие данные для расчета нагрузок

$\gamma_n=1,0$ - коэффициент надежности по ответственности для принятого класса конструкции К2 (уровень ответственности нормальный) по ГОСТ 27751-2014.

Расчетные гололедные нагрузки принимаются для IV региона.

$\gamma_g=1,05$ – коэффициент надежности по нагрузке от сил тяжести для металлических конструкций и оборудования.

$G_1=g \cdot \gamma_g=10,301$ – м/с², расчетное значение силы тяжести;

$\gamma_f=1,5$ - коэффициент запаса прочности [4, п.6.2.3].

5.2. Нагрузка на ступень лестницы

Ступень лестницы должна выдерживать испытательную нагрузку весом 1,8 кН (180 кгс), приложенную к ее середине и направленную вертикально вниз.

5.3. Нагрузка на балку крепления лестницы к стене здания

Балка крепления вертикальной лестницы к стене здания должна выдерживать испытательную нагрузку $P_{бал}$, определяемую по формуле:

$$P_{бал} = \frac{HK_2}{K_1 X} K_3$$

где:

$H=20$ – м, высота лестницы;

$X=26$ – шт, количество балок при помощи которых лестница крепится к стене;

$K_1=2.5$ – коэффициент, численно равный высоте участка лестницы, занимаемого одним человеком (пожарным), принимается равным 2,5 м;

$K_2=1.2$ – максимальная нагрузка, создаваемая одним человеком (пожарным), принимается равной 1,2 кН (120 кгс);

$K_3=1.5$ – коэффициент запаса прочности, принимается равным 1,5.

$$P_{\text{бал}} := \frac{H \cdot K_2 \cdot K_3}{K_1 \cdot X} = 553.846$$

, Н – нагрузка на балку;

5.4. Нагрузка на площадку

Площадка лестницы должна выдерживать испытательную нагрузку $P_{\text{площ}}$, определяемую по формуле:

$$P_{\text{площ}} = \frac{S \cdot K_2 \cdot K_3}{K_4 \cdot X}$$

где:

$S=0.8$ – м², площадь площадки лестницы;

$K_3=0.5$ – коэффициент, численно равный величине проекции человека на горизонталь, м², принимается равным 0,5;

$X=2$ – шт., количество балок при помощи которых площадка крепится к стене;

$$P_{\text{площ}} := \frac{S \cdot K_2 \cdot K_3}{K_4 \cdot X} = 1.44 \times 10^3$$

, Н – нагрузка на площадку;

5.5. Нагрузка ограждения лестницы

Ограждения лестниц и кровли зданий должны выдерживать на грузку величиной 0,54 кН, приложенную горизонтально.

$\gamma_f=1,2$ – коэффициент надежности по нагрузке;

$P_{\text{ог.гор}}=540*1,2=648$ – Н;

Вертикальная нагрузка на перила [3, п.8.3.1]:

$P_{\text{ог.верт}}=1500*1,2=1800$ – Н;

5.6. Гололедная нагрузка

Т а б л и ц а 12.1

Гололедные районы (принимаются по карте 4 приложения Ж)	I	II	III	IV	V
Толщина стенки гололеда b , мм	Не менее 3	5	10	15	Не менее 20

$i = b * k * \mu_2 * \rho * g$ – Па, нормативное значение гололедной нагрузки на все элементы лестницы, кроме ступеней;

$b = 15$ – мм, толщина стенки гололеда для IV гололедного района;

$k = 2$ – коэффициент учитывающий изменение толщины стенки гололеда по высоте, для высоты установки лестницы 100 м;

$\mu_2 = 0,6$ – коэффициент учета относительной площади обледенения;

$\rho = 0,9$ – г/см³, плотность льда;

$i = 15 * 2 * 0,6 * 0,9 * 9,8 = 158,76$ – Н/м², нормативное значение гололедной нагрузки;

$\gamma_i = 1,3$ – коэффициент надежности по гололедной нагрузке;

$i = \pi * b * k * \mu_1 * (d + b * k * \mu_1) * \rho * g * 10^{-3}$ – Па, нормативное значение гололедной нагрузки на круглые ступени лестницы;

$\mu_1 = 1,0$ – коэффициент учета изменения толщины стенки гололеда в зависимости от диаметра кругового сечения;

$d = 20$ – мм, диаметр ступени;

$i = 3,14 * 15 * 2 * 1 * (18 + 15 * 2 * 1) * 0,9 * 9,8 * 10^{-3} = 41,5$ – Н/м, нормативное значение гололедной нагрузки на круглые ступени;

Распределение массы льда на элементы конструкции

$m_{s1} = 415$ – Н, вес льда на площадке (площадь поверхности элементов площадки 2 м²);

$m_{s2} = 2500$ – Н, вес льда на тетивах и ограждении (площадь поверхности элементов площадки 12 м²);

$m_{s3} = 2763$ – Н, вес льда на ступенях;

6. Расчет конструкции

6.1. Расчет ступени лестницы

В данном случае прикладывается расчетная нагрузка на ступень лестницы (рис.2).

Нагрузки на модель

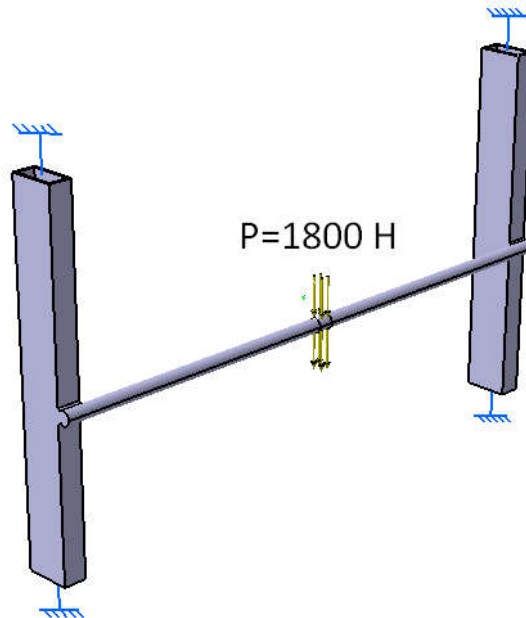


Рис. 2. Расчетные нагрузки на модель

Общая картина эквивалентных напряжений в конструкции

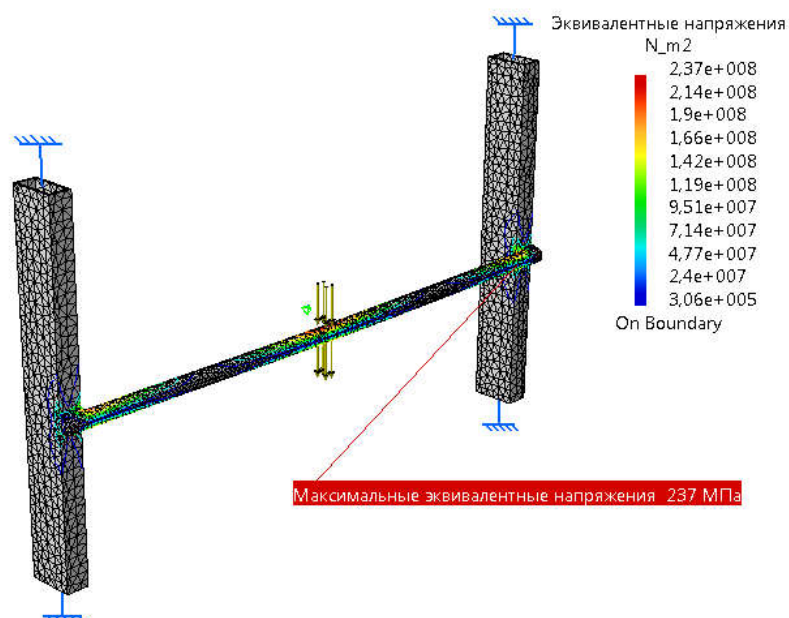


Рис. 3. Эквивалентные напряжения, МПа

Зоны наибольших напряжений находятся вблизи мест соединения ступени и тетивы (рис.3). Максимальные основные напряжения в зонах концентрации на уровне 237 МПа. Ступень выдерживает приложенную нагрузку.

Перемещения в модели

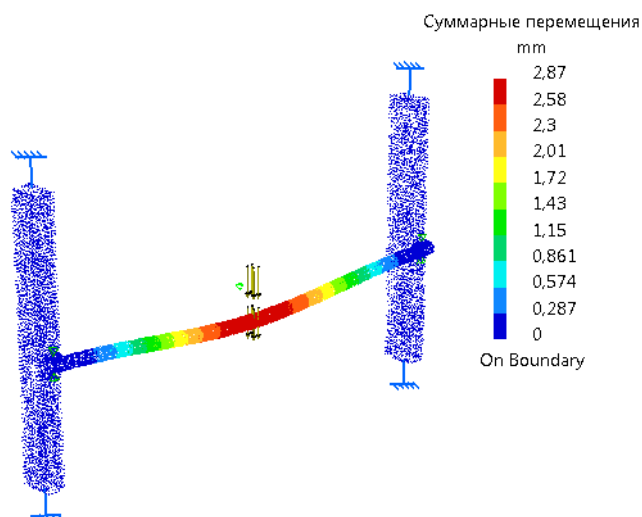


Рис. 4. Суммарные перемещения в модели, мм

Максимальное перемещение точек передней ступени составляет 2,87 мм в средней части (рис.4).

6.2. Расчет балки крепления к стене

Вариант 1 длина балок $L=400$ мм

Нагрузки на модель

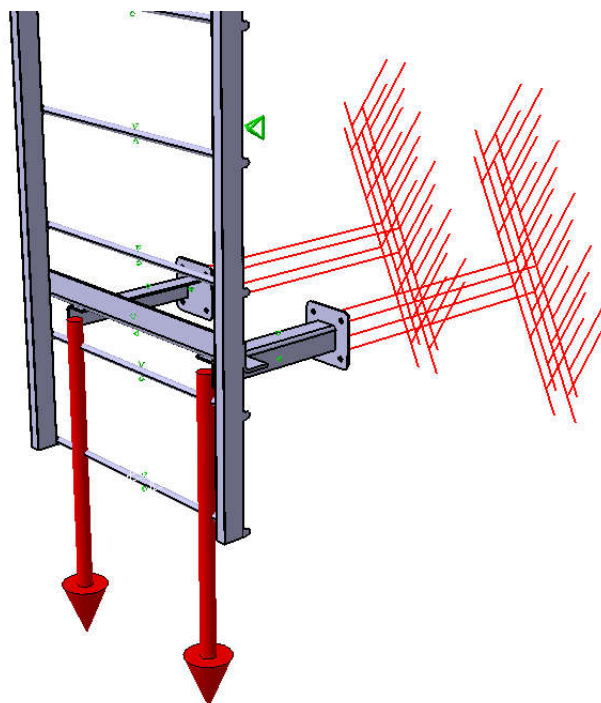


Рис. 5. Расчетные нагрузки на модель

Общая картина эквивалентных напряжений в конструкции

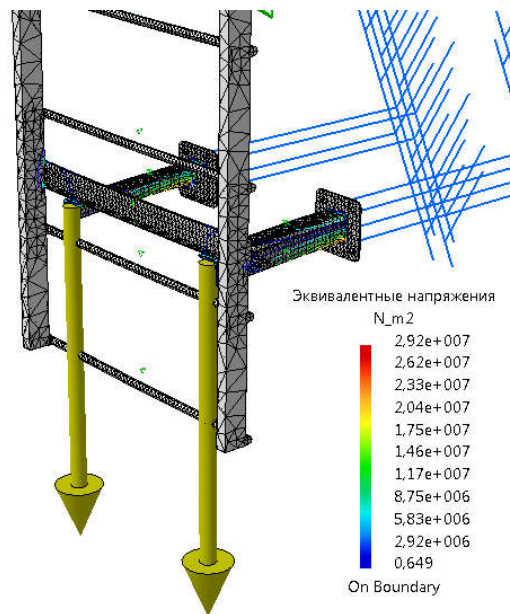


Рис. 6. Эквивалентные напряжения, МПа

Зоны наибольших напряжений находятся вблизи мест соединения балки и опорной пластины (рис.6). Максимальные основные напряжения в зонах концентрации на уровне 29,2 МПа. Балка выдерживает расчетную нагрузку.

Вариант 2 длина балок $L=800$ мм

Общая картина эквивалентных напряжении в конструкции

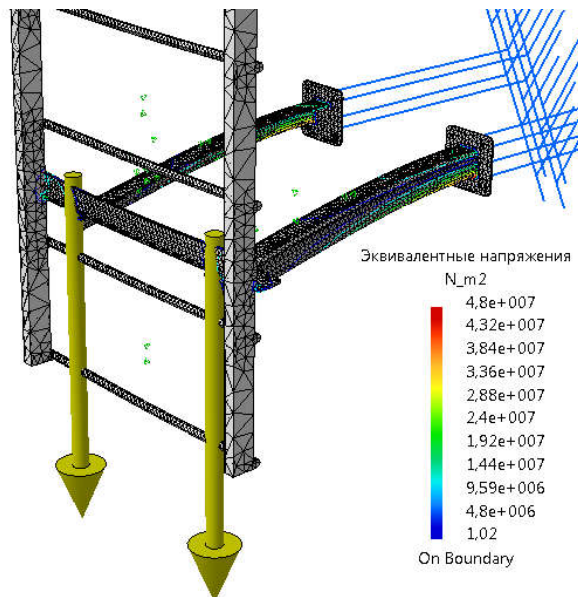


Рис. 7. Эквивалентные напряжения, МПа

Зоны наибольших напряжений, как и в предыдущем случае, находятся вблизи мест соединения балки и опорной пластины (рис.7). Максимальные основные напряжения в зонах концентрации на уровне 48 МПа. Балка выдерживает расчетную нагрузку.

6.3. Расчет площадки

Нагрузки на модель

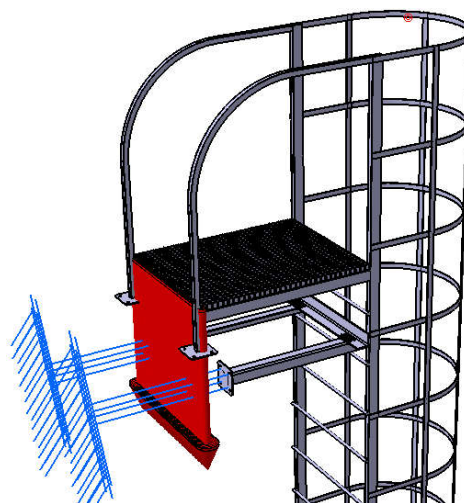


Рис. 8. Расчетные нагрузки на модель

Общая картина эквивалентных напряжений в конструкции

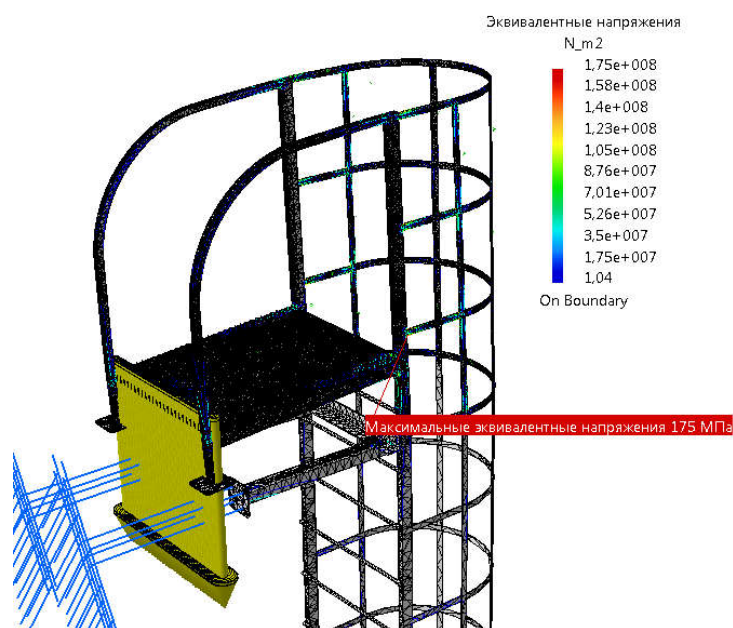


Рис. 9. Эквивалентные напряжения, МПа

Зоны наибольших напряжений находятся вблизи мест соединения ограждений и тетивы, максимальные основные напряжения в зонах концентрации на уровне 175 МПа (рис.9). Пластических деформаций не возникает.

Расчет производился без закрепления опорных пластин площадки, т.е. возможно изготовление лестницы с консольно висящей площадкой, в этом случае необходимо проверить общую жесткость поручня.

6.4. Расчет ограждений лестницы от действия горизонтальной нагрузки

Нагрузки на модель



Рис. 10. Расчетные нагрузки на модель

Общая картина эквивалентных напряжений в конструкции

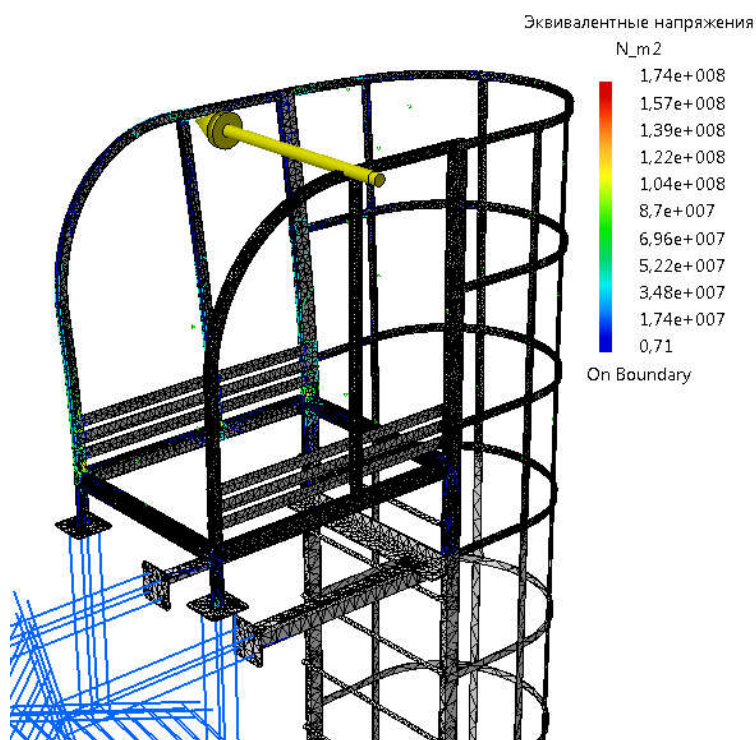


Рис. 10. Эквивалентные напряжения, МПа

Зоны наибольших напряжений находятся вблизи мест соединения тетивы и горизонтальной балки площадки, максимальные основные напряжения в зонах концентрации на уровне 174 МПа (рис.10). Пластических деформаций не возникает.

Перемещения в модели

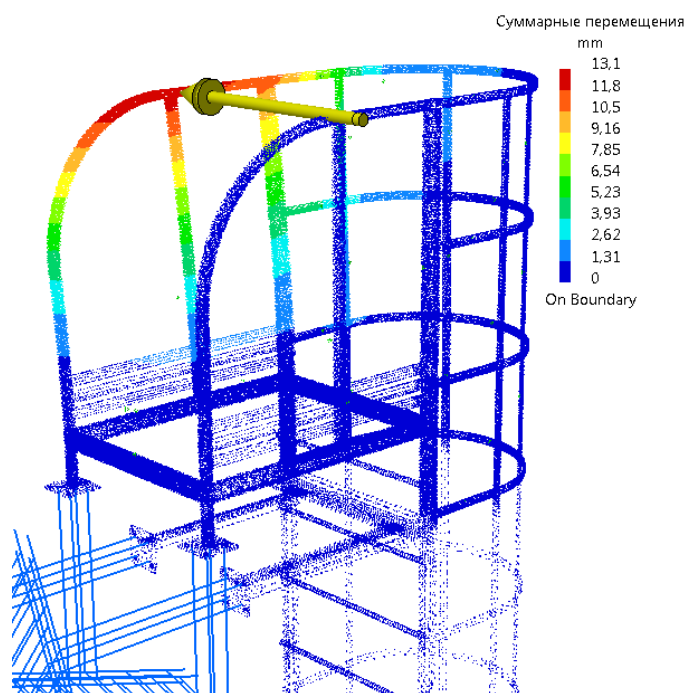


Рис. 11. Суммарные перемещения в модели, мм

Максимальное перемещение точек передней ограждения составляет 13,1 мм в верхней части (рис.11).

6.5. Расчет ограждений лестницы от действия вертикальной нагрузки

Нагрузки на модель

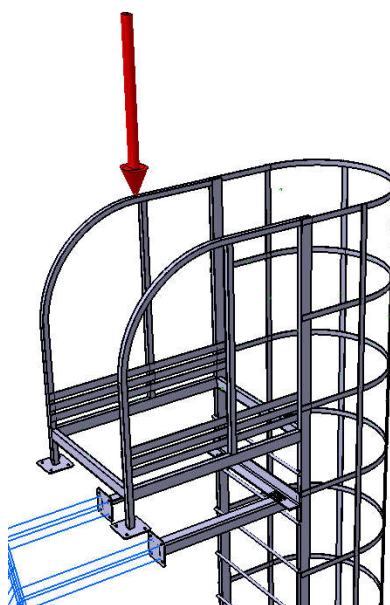


Рис. 12. Расчетные нагрузки на модель

Общая картина эквивалентных напряжений в конструкции

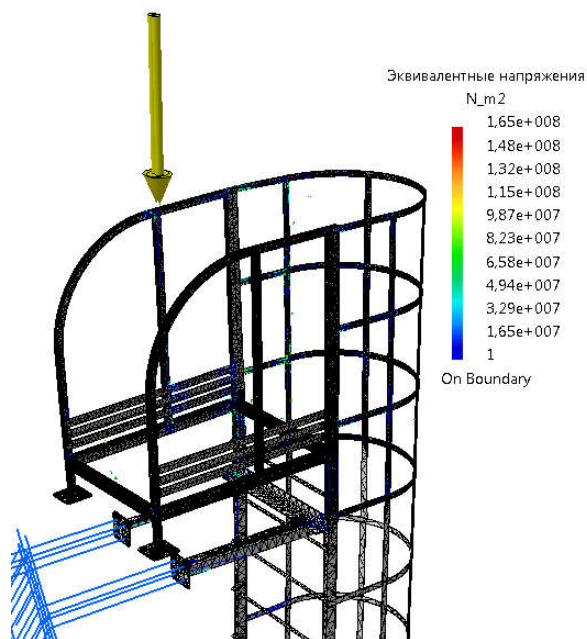


Рис. 12. Эквивалентные напряжения, МПа

Зоны наибольших напряжений находятся вблизи мест соединения тетивы и горизонтальной балки площадки, максимальные основные напряжения в зонах концентрации на уровне 165 МПа (рис.12). Пластических деформаций не возникает.

Перемещения в модели

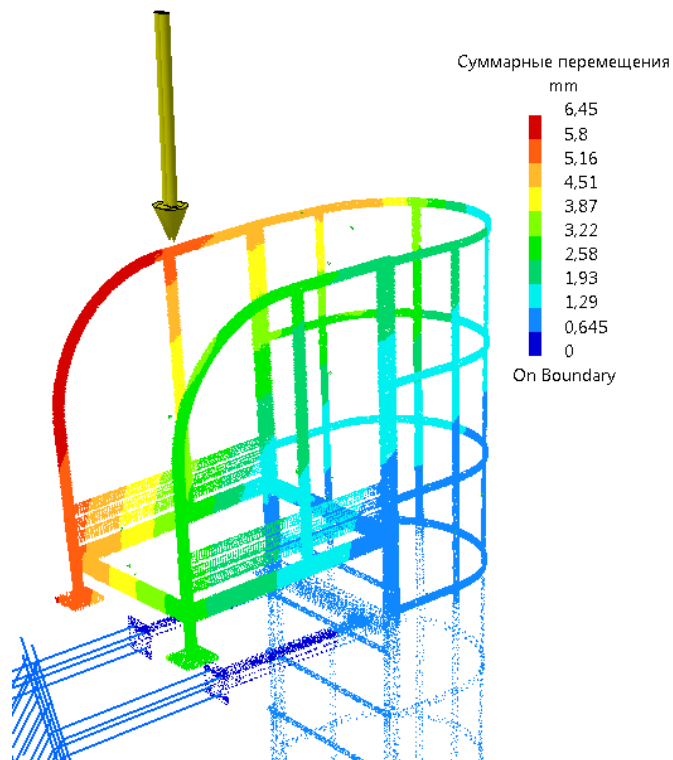


Рис. 13. Суммарные перемещения в модели, мм

Максимальное перемещение точек ограждения составляет 6,45 мм (рис.13).

6.6. Расчет защитного ограждения в вертикальном направлении

Нагрузки на модель

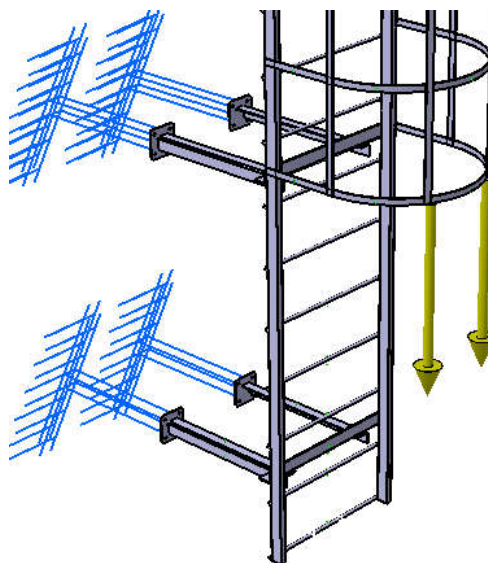


Рис. 14. Расчетные нагрузки на модель

Общая картина эквивалентных напряжений в конструкции

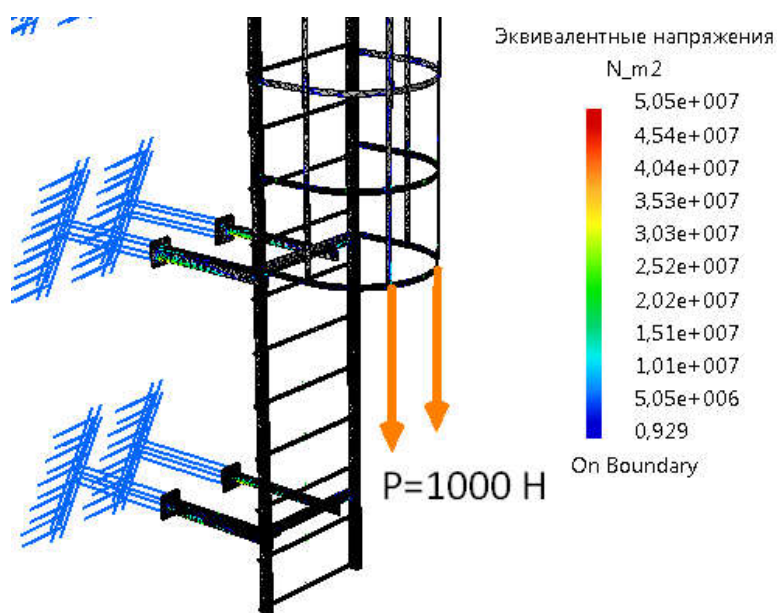


Рис. 15. Эквивалентные напряжения, МПа

Максимальные основные напряжения в зонах концентрации на уровне 50,5 МПа (рис.15). Пластических деформаций не возникает.

6.7. Расчет лестницы от действия гололедной нагрузки

Нагрузки на модель

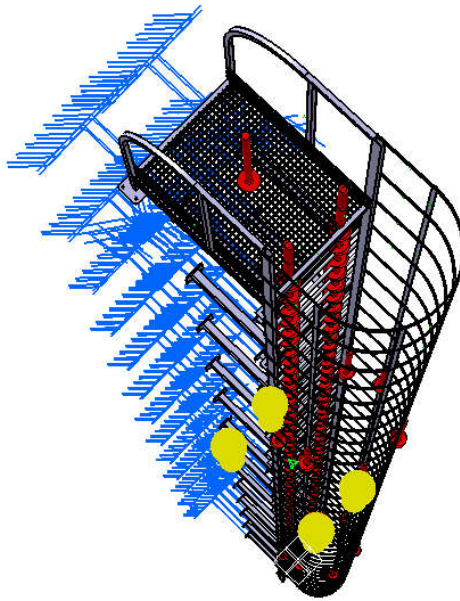


Рис. 16. Расчетные нагрузки на модель

Общая картина эквивалентных напряжений в конструкции

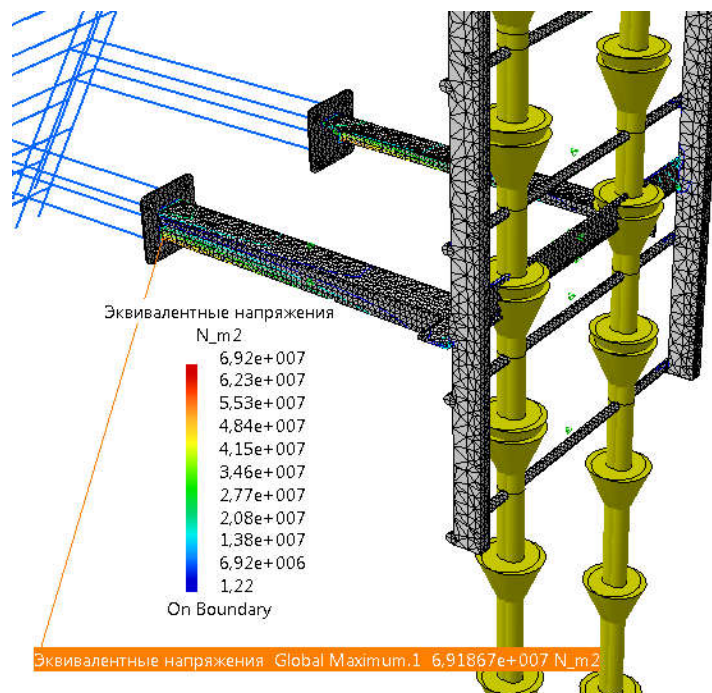


Рис. 16. Эквивалентные напряжения, МПа

Максимальные основные напряжения в зонах концентрации в месте крепления балки к опорной пластине на уровне 69,1 МПа (рис.16). Пластических деформаций не возникает.

Перемещения в модели

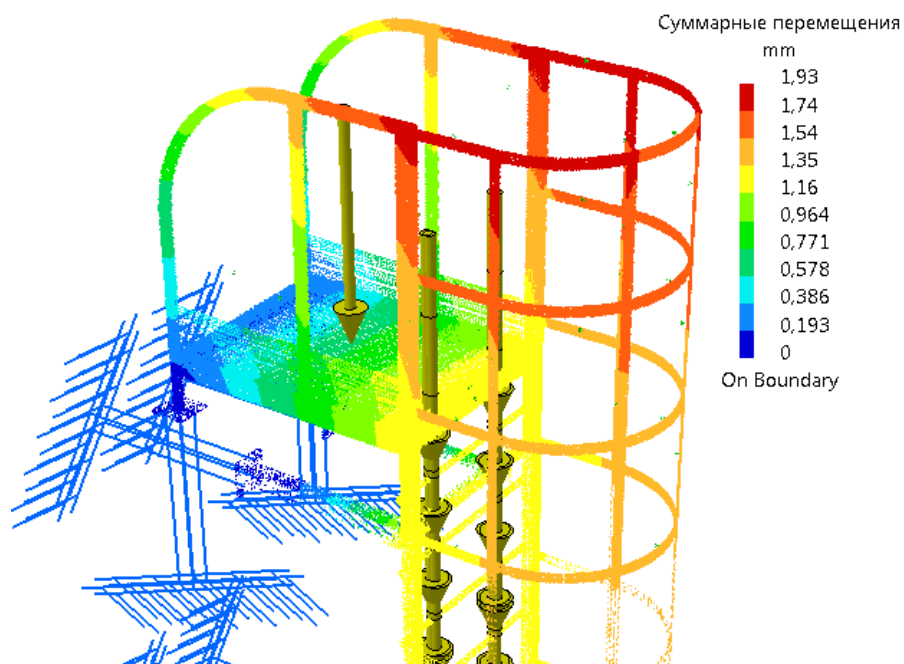


Рис. 17. Суммарные перемещения в модели, мм

Максимальное перемещение точек лестницы от гололедной нагрузки составляет 1,93 мм (рис.17).

6.8. Проверка на упругую устойчивость

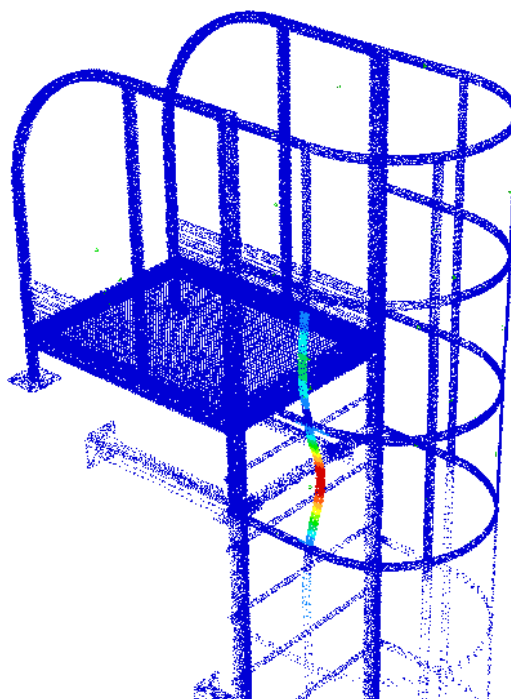


Рис. 18. Первая форма потери устойчивости

Проверка на упругую устойчивость показала большой запас по устойчивости. Коэффициент запаса 5,12.

7. Анализ результатов. Выводы

При анализе напряженно-деформированного *вертикальной лестницы* на заданные нагрузки проводился расчет в трехмерной физически и геометрически линейной конечноэлементной постановке.

Пластических деформаций не возникает.

Максимальное значение напряжений при полной нагрузке составило 237 МПа в минимальной локальной зоне вблизи прикрепления ступени к тетиве.

В соответствии с расчетом несущая способность конструкции вертикальной лестницы, а также несущих кронштейнов крепления к стене обеспечивается.

Выполненными расчетными исследованиями установлено, что при соблюдении принятых параметров проекта (геометрия, свойства материалов и соединений и др.):

1) состояние несущих металлических конструкций лестницы удовлетворяет нормативным критериям несущей способности (деформативности, прочности и устойчивости);

2) статическая прочность наиболее нагруженных узлов обеспечена с запасом, т.к. средние по характерным сечениям элементов расчетные упругие напряжения существенно ниже допускаемых;

В зависимости от температуры эксплуатации элементы вертикальные лестницы должны изготавливаться в различных исполнениях:

1) при температурах свыше -45°C следует использовать сталь С235 (Ст3кп2, Ст3пс2);

2) при минимальных температурах от -45 до -55°C должна использоваться сталь С345 (низколегированная сталь 09Г2С), категории 4, расчетное сопротивление 320 МПа;

3) при температурах ниже -55°C – низколегированная сталь 09Г2С категории 7 или 12 класса прочности С345, расчетное сопротивление 320 МПа.

8. Список основных использованных источников

1. ТУ 5262-002-92716048-2012 «Быстрособорные металлические лестницы «Вол-Тех». Технические условия».
2. ГОСТ 27751-2014 «Надежных строительных конструкций и оснований».
3. СП 20.13330.2011 «Нагрузки и воздействия».
4. ГОСТ 53254-2009 «Техника пожарная. Лестницы пожарные наружные стационарные. Ограждения кровли».
5. СП 16.13330.2011 «Стальные конструкции».



**ПРОЕКТИРОВОЧНЫЙ
АЛЬЯНС
МОНОЛИТ**

Саморегулируемая организация,
основанная на членстве лиц, осуществляющих подготовку проектной документации
Некоммерческое партнерство «Проектировочный Альянс Монолит»
115093, г. Москва, ул. Люсиновская, дом № 36, строение 2, офис 2.10, <http://www.sropam.ru>
Регистрационный номер в государственном реестре
саморегулируемых организаций
СРО-П-192-18062014

г.Москва

«30» декабря 2015 г.

СВИДЕТЕЛЬСТВО

о допуске к определенному виду или видам работ, которые оказывают влияние
на безопасность объектов капитального строительства

№ 2667.01-2015-5036154420-П-192

Выдано члену саморегулируемой организации:

Обществу с ограниченной ответственностью "Центр инженерных услуг "МОДЕЛЬЕР"
ИНН:5036154420, ОГРН:1155074009859

адрес местонахождения: 142111, Московская область, г. Подольск, ул. 8 марта, д. 2

Основание выдачи Свидетельства: Решение Правления, протокол № 103 от «25» декабря 2015 г.

Настоящим Свидетельством подтверждается допуск к работам, указанным в приложении к настоящему
Свидетельству, которые оказывают влияние на безопасность объектов капитального строительства.

Начало действия с «30» декабря 2015 г.
Свидетельство без приложения не действительно.
Свидетельство выдано без ограничения срока и территории его действия.

Президент

(должность уполномоченного лица)



Булыгин О.А.

(инициалы, фамилия)

Серия ПАМ

№ 0002487 *



**ПРОЕКТИРОВОЧНЫЙ
АЛЬЯНС
МОНОЛИТ**

Приложение
к Свидетельству о допуске к
определенному виду или видам
работ, которые оказывают влияние
на безопасность объектов
капитального строительства
от «30» декабря 2015 г.
№ 2667.01-2015-5036154420-П-192

Виды работ, которые оказывают влияние на безопасность

1. Объектов капитального строительства (кроме особо опасных и технически сложных объектов, объектов использования атомной энергии) и о допуске к которым член Некоммерческого партнерства «Проектировочный Альянс Монолит» Общество с ограниченной ответственностью "Центр инженерных услуг "МОДЕЛЬЕР" имеет Свидетельство

№	Наименование вида работ
1	1. Работы по подготовке схемы планировочной организации земельного участка:
	1.1. Работы по подготовке генерального плана земельного участка
	1.2. Работы по подготовке схемы планировочной организации трассы линейного объекта
	1.3. Работы по подготовке схемы планировочной организации полосы отвода линейного сооружения
2	2. Работы по подготовке архитектурных решений
3	3. Работы по подготовке конструктивных решений
4	4. Работы по подготовке сведений о внутреннем инженерном оборудовании, внутренних сетях инженерно-технического обеспечения, о перечне инженерно-технических мероприятий:
	4.1. Работы по подготовке проектов внутренних инженерных систем отопления, вентиляции, кондиционирования, противодымной вентиляции, теплоснабжения и холодоснабжения
	4.2. Работы по подготовке проектов внутренних инженерных систем водоснабжения и канализации
	4.3. Работы по подготовке проектов внутренних систем электроснабжения
	4.4. Работы по подготовке проектов внутренних слаботочных систем
	4.5. Работы по подготовке проектов внутренних диспетчеризации, автоматизации и управления инженерными системами
	4.6. Работы по подготовке проектов внутренних систем газоснабжения
5	5. Работы по подготовке сведений о наружных сетях инженерно-технического обеспечения, о перечне инженерно-технических мероприятий:

Серия ПАМ

№ 0005423 *



**ПРОЕКТИРОВОЧНЫЙ
АЛИАНС
МОНОЛИТ**

5.1.	Работы по подготовке проектов наружных сетей теплоснабжения и их сооружений
5.2.	Работы по подготовке проектов наружных сетей водоснабжения и канализации и их сооружений
5.3.	Работы по подготовке проектов наружных сетей электроснабжения до 35 кВ включительно и их сооружений
5.4.	Работы по подготовке проектов наружных сетей электроснабжения не более 110 кВ включительно и их сооружений
5.5.	Работы по подготовке проектов наружных сетей электроснабжения 110 кВ и более и их сооружений
5.6.	Работы по подготовке проектов наружных сетей слаботочных систем
5.7.	Работы по подготовке проектов наружных сетей газоснабжения и их сооружений
6	6. Работы по подготовке технологических решений:
6.1.	Работы по подготовке технологических решений жилых зданий и их комплексов
6.2.	Работы по подготовке технологических решений общественных зданий и сооружений и их комплексов
6.3.	Работы по подготовке технологических решений производственных зданий и сооружений и их комплексов
6.4.	Работы по подготовке технологических решений объектов транспортного назначения и их комплексов
6.5.	Работы по подготовке технологических решений гидротехнических сооружений и их комплексов
6.6.	Работы по подготовке технологических решений объектов сельскохозяйственного назначения и их комплексов
6.7.	Работы по подготовке технологических решений объектов специального назначения и их комплексов
6.8.	Работы по подготовке технологических решений объектов нефтегазового назначения и их комплексов
6.9.	Работы по подготовке технологических решений объектов сбора, обработки, хранения, переработки и утилизации отходов и их комплексов
6.11.	Работы по подготовке технологических решений объектов военной инфраструктуры и их комплексов
6.12.	Работы по подготовке технологических решений объектов очистных сооружений и их комплексов
7	7. Работы по разработке специальных разделов проектной документации:
7.1.	Инженерно-технические мероприятия по гражданской обороне
7.2.	Инженерно-технические мероприятия по предупреждению чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера
7.3.	Разработка декларации по промышленной безопасности опасных производственных объектов
7.4.	Разработка декларации безопасности гидротехнических сооружений

Серия ПАМ

№ 0005424 *



**ПРОЕКТИРОВОЧНЫЙ
АЛЬЯНС
МОНОЛИТ**

8	8. Работы по подготовке проектов организации строительства, сносу и демонтажу зданий и сооружений, продлению срока эксплуатации и консервации
9	9. Работы по подготовке проектов мероприятий по охране окружающей среды
10	10. Работы по подготовке проектов мероприятий по обеспечению пожарной безопасности
11	11. Работы по подготовке проектов мероприятий по обеспечению доступа маломобильных групп населения
12	12. Работы по обследованию строительных конструкций зданий и сооружений
13	13. Работы по организации подготовки проектной документации, привлекаемым застройщиком или заказчиком на основании договора юридическим лицом или индивидуальным предпринимателем (генеральным проектировщиком)

2. Объектов капитального строительства, включая особо опасные и технически сложные объекты капитального строительства (кроме объектов использования атомной энергии) и о допуске к которым член Некоммерческого партнерства «Проектировочный Альянс Монолит» Общество с ограниченной ответственностью "Центр инженерных услуг "МОДЕЛЬЕР" имеет Свидетельство

№	Наименование вида работ
нет	

3. Объектов капитального строительства, включая особо опасные и технически сложные объекты капитального строительства, объекты использования атомной энергии, и о допуске к которым член Некоммерческого партнерства «Проектировочный Альянс Монолит» Общество с ограниченной ответственностью "Центр инженерных услуг "МОДЕЛЬЕР" имеет Свидетельство

№	Наименование вида работ
нет	

ПРИЛОЖЕНИЕ к СВИДЕТЕЛЬСТВУ

Серия ПАМ

№ 0005425 *



**ПРОЕКТИРОВОЧНЫЙ
Альянс
МОНОЛИТ**

Общество с ограниченной ответственностью "Центр инженерных услуг "МОДЕЛЬЕР" вправе заключать договоры по осуществлению организации работ по подготовке проектной документации для объектов капитального строительства, стоимость которых по одному договору не превышает 5 000 000 (пять миллионов) рублей

Президент

(должность уполномоченного лица)



Бульгин О.А.

(инициалы, фамилия)

ПРИЛОЖЕНИЕ к СВИДЕТЕЛЬСТВУ

Серия ПАМ

№ 0005426 *