

Минобрнауки России
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»
Инженерно-строительный институт
Высшая школа «Гидротехническое и энергетическое строительство»

На правах рукописи

Лёвина Екатерина Борисовна

«Обоснование конструктивных решений подпорных металлических конструкций на атомных электростанциях»

НАУЧНЫЙ ДОКЛАД

Направление подготовки
08.06.01 Техника и технологии строительства
Специальность
05.23.07 Гидротехническое строительство

Научный руководитель

Козинец Галина Леонидовна, проф. ВШ, д.т.н

Заведующий выпускающей высшей школы

Козинец Галина Леонидовна, проф. ВШ, д.т.н

Директор института выпускающей высшей школы

Козинец Галина Леонидовна, проф. ВШ, д.т.н

Рецензент

Санкт-Петербург
2020

Содержание:

Общая характеристика содержания научно-квалификационной работы (диссертации).....	4
Основное содержание диссертации	8
1. Металлические конструкции.	8
1.1. Определение и виды металлических конструкций.	8
1.2. Исследование металлических конструкций.....	9
1.3. Применение металлических конструкций на объектах повышенного уровня ответственности.	9
1.4. Классификация металлических конструкций на атомных электростанциях.....	10
1.4.1. Классификация металлических конструкций по безопасности.	10
1.4.2. Классификация металлических конструкций по сейсмостойкости.	10
1.4.3. Классификация металлических конструкций по условиям ответственности за радиационную и ядерную безопасность и обеспечения функционирования размещаемого в них оборудования и систем.	10
2. Подопорные металлические конструкции.....	12
2.1. Определение и типы подопорных металлических конструкций.	12
2.2. Применение подопорных металлических конструкций на объектах повышенного уровня ответственности.....	15
2.2.1. Трубопроводы на объектах повышенного уровня ответственности.	15
2.2.2. Опоры трубопроводов. Назначение и виды.	16
2.2.3. Технологическое оборудование на объектах повышенного уровня ответственности.....	16
2.3. Исследование подопорных металлических конструкций.	17
2.4. Конструирование и расчет подопорных металлических конструкций.	17
2.5. Способы повышения надежности подопорных металлических конструкций.....	22

3. Повышение надежности подпорной металлической конструкции типа «консоль».....	24
3.1. Проектирование подкоса для конструкции типа «консоль».....	24
3.2. Исследование оптимального угла подкоса для конструкции типа «консоль».....	24
4. Повышение надежности подпорной металлической конструкции типа «стойка».....	29
4.1. Проектирование подкоса для конструкции типа «стойка».....	29
4.2. Исследование оптимального угла подкоса для конструкции типа «стойка».....	29
5. Повышение надежности подпорной металлической конструкции П-образного типа.....	31
5.1. Проектирование стяжки.....	31
5.2. Исследование оптимальной высоты стяжки для конструкции П-образного типа.....	31
6. Повышение надежности подпорных металлических конструкций в условиях несимметричной нагруженности, пространственной стесненности и удаленных мест крепления.....	34
6.1. Создание расчетной схемы подпорной металлической конструкции	34
6.2. Расчет подпорной металлической конструкции.....	35
6.3. Сравнение расчетов до и после повышения надежности подпорной металлической конструкции.....	36
7. Внедрение подпорных металлических конструкций повышенной надежности в реальный объект атомной электростанции.....	37
Заключение	38
Список используемой литературы	39
Нормативная литература	39
Научно-техническая литература.....	39
Список работ, опубликованных автором по теме диссертации	41

Общая характеристика содержания научно-квалификационной работы (диссертации)

Актуальность темы исследования

Атомные электростанции строятся на территории РФ и за рубежом и на сегодняшний день являются наиболее экономически эффективными.

Подопорные металлические конструкции являются отдельным видом сооружений, впервые выделенные при проектировании атомных электростанций. Анализ способов повышения и обоснования надежности позволит в будущем оптимизировать подход к проектированию и расчету большого количества подопорных металлических конструкций на атомной электростанции. Это в свою очередь, сократит время и ресурсы проекта и позволит нашей стране выйти на новые ведущие позиции в атомной энергетической промышленности.

Степень разработанности темы исследования

В одном из ведущих инжиниринговых дивизионов Госкорпорации «Росатом» в 2018 году был создан отдел, отвечающий за проектирование подопорных металлических конструкций. Но нигде в нормативно-технической документации не встречается даже такого термина. Из этого можно сделать вывод, что подробных исследований подопорных металлических конструкций не проводилось.

Цели и задачи исследования

Цель: Обоснование конструктивных решений подопорных металлических конструкций.

Задачи:

1. Дать определение нового вида металлических конструкций – подопорных металлических конструкций.
2. Произвести классификацию по типам подопорных металлических конструкций.
3. Выполнить исследования по обоснованию конструктивных решений подопорных металлических конструкций.

- определить оптимальный угол подкоса к консоли;
- определить оптимальный угол подкоса к стойке;
- определить оптимальную высоту стяжки в п-образной конструкции;

4. Рассмотреть и обосновать повышение надежности подпорной металлической конструкции, в условиях несимметричной нагруженности, пространственной стесненности и удаленных мест крепления.

5. Внедрить в реальный объект атомной электростанции рассмотренную конструкцию.

Объект и предмет исследования

Объект исследования: подпорные металлические конструкции на атомных электростанциях.

Предмет исследования: подпорные металлические конструкции на атомных электростанциях.

Научная новизна.

Исследование подпорных металлических конструкций будет проводиться впервые.

Теоретическая и практическая значимость диссертации.

Исследования позволят оптимизировать процесс проектирования, а предложенные конструкции уже внедрены в рабочую документацию реального объекта и реализуется в настоящее время в одном из зданий комплекса атомной электростанции.

Положения, выносимые на защиту:

Впервые дано определение нового вида металлических конструкций – подпорных металлических конструкций.

Произведена классификация по типам подпорных металлических конструкций.

Представлены результаты выполнения исследований по обоснованию конструктивных решений подпорных металлических конструкций:

- определен оптимальный угол подкоса к консоли, он составляет 45-35 градусов;

- определен оптимальный угол подкоса к стойке, он составляет 45-40 градусов;

- определена оптимальная высота стяжки в п-образной конструкции, её необходимо крепить по центру конструкции.

Рассмотрены и обоснованы конструктивные решения подпорной металлической конструкции, в условиях несимметричной нагруженности, пространственной стесненности и удаленных мест крепления, которая впоследствии внедрена в реальный объект атомной электростанции.

Обоснование предложенной структуры диссертации

Структура диссертации (деление на главы и разделы) соответствует поставленным задачам исследования.

Степень достоверности и апробация результатов

Результаты исследования докладывались внутри компании АО «Атомпроект».

Соответствие диссертации паспорту специальности «05.23.01 Строительные конструкции, здания и сооружения»

Формула специальности:

Строительные конструкции, здания и сооружения – область науки и техники, занимающаяся созданием и совершенствованием рациональных типов конструкций, методов их расчета, объемно-планировочных решений промышленных гражданских и сельскохозяйственных зданий, а также их комплексов. Данная научная специальность содержит научно-технические исследования и разработки в области рационального проектирования конструктивных и объемно-планировочных решений зданий и сооружений, их технической эксплуатации и конструкционной безопасности, основанные на использовании технических, экономико-математических и других современных научных методов. Значение решения научных и технических проблем, предусмотренных специальностью 05.23.01 для народного хозяйства состоит в создании наиболее совершенных и надежных

конструкций, рациональных и комфортных объемно-планировочных решений зданий и сооружений.

Области исследований:

1. Обоснование, исследование и *разработка новых типов несущих и ограждающих конструкций* зданий и сооружений.

2. Обоснование, *разработка и оптимизация объемно-планировочных и конструктивных решений* зданий и сооружений с учетом протекающих в них процессов, природно-климатических условий, экономической и конструкционной безопасности на основе математического моделирования с использованием автоматизированных средств исследований и проектирования.

6. *Поиск рациональных форм, размеров* зданий, помещений и их ограждений исходя из условий их размещения в застройке, деятельности людей и движения людских потоков, технологических процессов, протекающих в здании, санитарно-гигиенических условий, экологической безопасности.

7. Развитие теоретических основ строительно-акустических методов и средств, *поиск рациональных решений* освещения зданий и отдельных помещений, *рациональных объемно-планировочных и конструктивных решений* зданий и сооружений, направленных на повышение эффективности капиталовложений, энерго- и ресурсосбережение, создание комфортных условий для людей и оптимальных для технологических процессов.

Основное содержание диссертации

1. Металлические конструкции.

В современном мире применение металлических конструкций обусловлено рядом преимуществ. Они могут воспринимать значительные усилия при относительно малых сечениях благодаря высокой прочности металла. Кроме того расчет таких конструкций вследствие упругих свойств и однородности материала можно произвести наиболее точно. Также одним из достоинств является высокомеханизированный монтаж на месте возведения сооружения.

1.1. Определение и виды металлических конструкций.

Прежде чем рассмотреть понятие металлической конструкции, необходимо дать разъяснения относительно определения строительной конструкции.

Строительная конструкция – это часть здания или другого строительного сооружения, которая выполняет определенные несущие, ограждающие и (или) эстетические функции.

Металлическая конструкция – это конструкция из металла, которая используется в строительстве зданий и сооружений.

Различных видов металлических конструкций существует довольно много, рассмотрим основные из них.

Каркасы строений. Такие конструкции представлены следующими профильными элементами: балки, фермы, двутавры, уголки, швеллера и т. д.

Ограждающие конструкции: витражи, оконные переплеты, ворота и т. д. Для создания таких изделий применяются уголок, листовой прокат, прут.

Цельнометаллические конструкции. К ним относятся разного вида и назначения емкости. Изготавливаются из листового проката.

Высотные металлоконструкции включают опоры линий электропередач, мачты, башни. Для их производства в основном используется металлический уголок.

Арматура. Такая конструкция сооружается из проволоки, прутьев, сетки.

1.2. Исследование металлических конструкций.

Металлические конструкции применялись для строительства зданий и сооружений с 12 века. Чаще всего это затяжки для каменной кладки.

Уже в те времена конструктора понимали, что для затяжек, работающих на изгиб, нужно применять полосу, поставленную на ребро, а подкосы, работающие на сжатие, надо делать квадратного сечения.

С развитием промышленности использование металлических конструкций стало необходимостью. Для оптимизации процессов строительства, повышения эффективности производства и наращивания технологического потенциала в 20 веке стали проводиться исследования материала металла и работы конструкций из него. Развивались и методы расчета. До 1950 года конструкции рассчитывались по методу допускаемых напряжений. Это часто приводило к перерасходу материала. С середины прошлого столетия в СССР стали рассчитывать конструкции по методу предельных состояний. Электронная вычислительная техника значительно ускоряет процесс проектирования не в ущерб качеству

Большой вклад внес профессор Н. С. Стрелецкий. Он впервые использовал статистические методы в расчете конструкций, исследовал работу статически неопределимых систем за пределом упругости, провел теоретические исследования и обобщил данные в области развития и совершенствования конструктивной формы и расчетов. Профессор Е. О. Патон известен своими достижениями в области механизации и автоматизации электродуговой сварки. Также принимал участие в развитии металлических конструкций профессор Н. П. Мельников.

1.3. Применение металлических конструкций на объектах повышенного уровня ответственности.

Особо опасные, технически сложные и уникальные объекты строительства имеют повышенный уровень ответственности. К ним относятся объекты использования атомной энергии, гидротехнические сооружения 1 и 2 класса, тепловые электростанции мощностью 150 мегаватт

и выше, опасные производственные объекты. А также уникальные здания и сооружения, если они обладают одной из следующих характеристик: высота более 100 метров, заглубление подземной части более 10 метров или пролет более 100 метров.

Ни один из таких объектов невозможно представить без использования металлических конструкций. Их применение обусловлено преимуществами: такими как высокая несущая способность, транспортабельность, высокая надежность, относительная легкость.

1.4. Классификация металлических конструкций на атомных электростанциях.

1.4.1. Классификация металлических конструкций по безопасности.

Классификация металлических конструкций по безопасности на АЭС определена в НП 001-15 (взамен ПНАЭ Г-01-011-97, ОПБ 88/97) .

По влиянию элементов АС на безопасность устанавливаются четыре класса безопасности. [1]

Если какой-либо элемент одновременно содержит признаки разных классов, то он должен быть отнесен к более высокому классу безопасности.

1.4.2. Классификация металлических конструкций по сейсмостойкости.

Классификация металлических конструкций по сейсмостойкости на АЭС определена в НП-031-01.

По сейсмостойкости металлические конструкции на АЭС делятся на три категории. [2]

1.4.3. Классификация металлических конструкций по условиям ответственности за радиационную и ядерную безопасность и обеспечения функционирования размещаемого в них оборудования и систем.

Классификация металлических конструкций по условиям их ответственности за радиационную и ядерную безопасность и обеспечения

функционирования размещаемого в них оборудования и систем определена в ПиН АЭ-5.6.

Здания и сооружения атомных станций по условиям их ответственности за ядерную и радиационную безопасность и обеспечения функционирования размещаемого в них оборудования и систем, подразделяются на три категории. [3]

2. Подопорные металлические конструкции.

2.1. Определение и типы подопорных металлических конструкций.

Атомная промышленность в современной России набирает обороты. В связи с этим ведется активная работа по совершенствованию конструкций и технологических процессов в этой отрасли. Так было принято решение выделить подопорные металлические конструкции в отдельный вид сооружений на атомной электростанции и даже создать отдел в ведущем инжиниринговом дивизионе Госкорпорации «Росатом» в АО «Атомпроект», отвечающий за разработку рабочей документации, совершенствование конструкций и оптимизацию проектирования. Это позволяет сделать выполнение заказов на строительство АЭС быстрее и качественнее.

Термина «подопорные конструкции» нет в нормативно-справочных документах РФ. Он лишь встречается в Англо-русском словаре Глоссария «Росатома» (http://glossary.novostroyki-na-karte.ru/?name_directory_startswith=%D0%9F). Поэтому автором дается определение этого вида конструкций впервые.

Подопорная конструкция - конструкция, предназначенная для крепления опоры трубопровода или оборудования к фиксированной части здания или сооружения.

Подопорные конструкции состоят из профилей металла, стальных листов и болтов. Крепятся к стенам, потолку, полу сооружения, а также к другим металлическим конструкциям. Пример подопорной металлической конструкции представлен на рисунке 2.1.

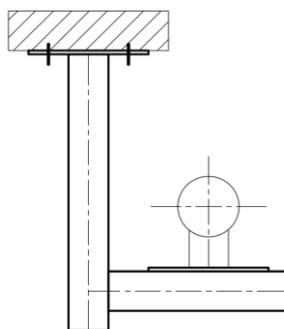


Рис. 2.1. Подопорная металлическая конструкция.

Типы подопорных металлических конструкций.

Так как термина не существовало ранее, то и классификация типов подопорных металлических конструкций будет проводиться впервые.

Подопорные металлические конструкции по внешним признакам составных элементов можно разделить на несколько типов:

Консоль (кронштейн) - жестко закрепленная одним концом конструкция, представлена на Рис. 2.2.

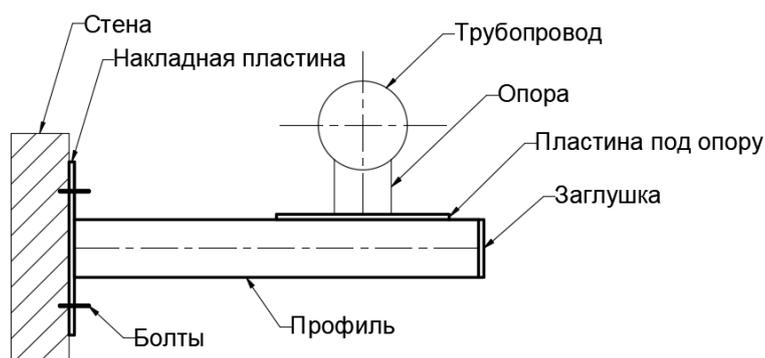


Рис. 2.2. Подопорная конструкция – консоль.

Стойка (колонна) – вертикальная конструкция, работающая на центральное и внецентренное сжатие, представлена на рисунке 2.3.

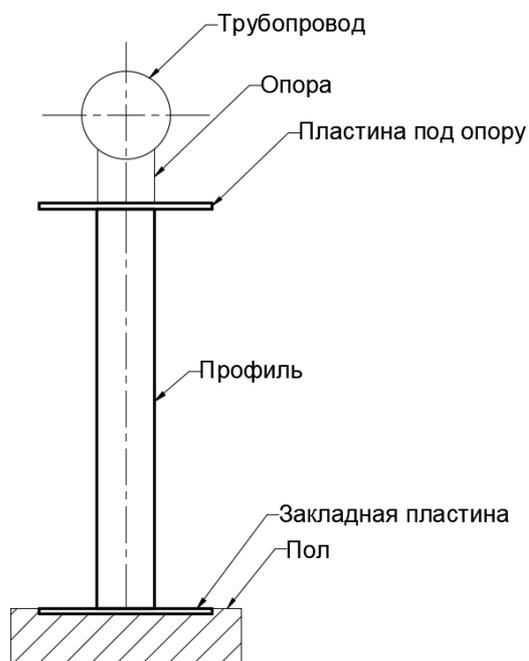


Рис. 2.3. Подопорная конструкция – стойка.

П-образная конструкция – конструкция, в которой два вертикальных элемента соединены горизонтальным элементом, представлена на рисунке 2.4.

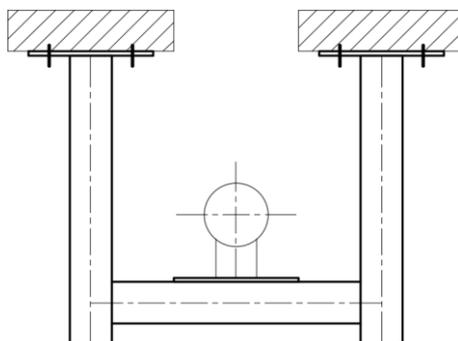


Рис. 2.4. Подпорная конструкция – П-образная конструкция.

Г-образная конструкция – конструкция, в которой горизонтальный элемент крепится к вертикальному, представлена на рисунке 2.5.

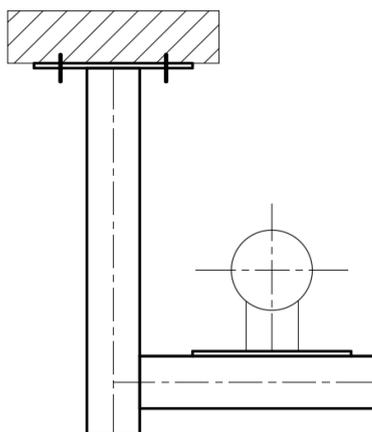


Рис. 2.5. Подпорная конструкция – Г-образная конструкция.

Т-образная конструкция – конструкция, в которой горизонтальный элемент крепится к вертикальному, но в отличие от Г-образной конструкции, имеет два свободных конца, представлена на рисунке 2.6.

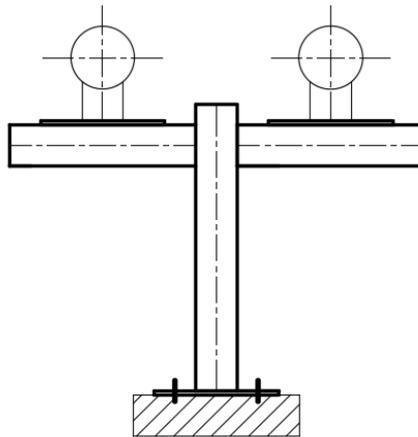


Рис. 2.6. Подопорная конструкция – Т-образная конструкция.

2.2. Применение подопорных металлических конструкций на объектах повышенного уровня ответственности.

2.2.1. Трубопроводы на объектах повышенного уровня ответственности.

Общие сведения о трубопроводах

Трубопровод — инженерное сооружение, предназначенное для транспортировки пылевидных и разжиженных масс, газообразных и жидких веществ, а также твёрдого топлива и иных твёрдых веществ в виде раствора под воздействием разницы давлений в поперечных сечениях трубы.

Трубопроводы соединяют между собой агрегаты единого технологического цикла, которые расположены в разных зданиях, а также могут объединять трубопроводную сеть станции в замкнутые системы. [4]

Трубопроводы с опорами, устройствами для их обслуживания, оборудованием, лестницами, площадками составляют трубопроводную систему. Используемые в строительстве трубопроводные системы можно разделить на две группы: системы, состоящие из трубопроводов малых диаметров ($D_y < 89\text{мм}$) и системы, имеющие в своем составе трубопроводы больших диаметров. [5]

Компоновка трубопроводных систем

Основная задача при компоновке трубопроводных систем выбрать тип и схему расстановки опор, которые обеспечивают устойчивость и

неизменяемость всей системы. Типы опор бывают разными и зависят от многих конструктивных и компоновочных факторов. [6]

2.2.2. Опоры трубопроводов. Назначение и виды.

Опора трубопровода - конструктивный элемент, который защищает трубу от повреждений в месте контакта с опорной конструкцией и служит для удержания трубопровода в проектном положении. Опоры используются для восприятия действующих на трубопровод нагрузок и их передачи на строительные подпорные конструкции. В некоторых случаях опоры применяют для устранения вибраций, а также регулирования усилий и напряжений в трубопроводе. [7]

Назначение и конструкция

По назначению опоры чаще всего делят на подвижные и неподвижные, но многие конструктивные типы опор применяются как для подвижного, так и неподвижного закрепления трубопровода.

Под неподвижными опорами обычно понимают шарнирно-неподвижные и абсолютно-неподвижные («мёртвые») опоры. Первые не допускают линейные перемещениям трубопровода, вторые - линейные и угловые.

Подвижная опора фиксирует проектное положение трубопровода и расчётное перемещение относительно опорной конструкции с заданными характеристиками подвижности. Подвеска трубопровода - подвесная опора с местом крепления к опорной конструкции, которое расположено выше оси трубопровода.

Практически все конструктивные типы опор трубопроводов могут применяться в качестве неподвижных.

Области применения, характеристики и конструктивное исполнение опор регламентируются нормативными документами.

2.2.3. Технологическое оборудование на объектах повышенного уровня ответственности.

Технологическое оборудование на объектах повышенного уровня ответственности таком как атомная электростанция является основным

элементом производства атомной электроэнергии. Все теплотехническое оборудование подразделяется на реакторную, парогенераторную, турбогенераторную, конденсационную установки, конденсатно-питательный тракт, включающий деаэрационно-питательную установку. [8]

2.3. Исследование подопорных металлических конструкций.

Ввиду отсутствия подопорных металлических конструкций как отдельного вида сооружений подробного исследования их не проводилось ранее. Все исследования, относящиеся просто к металлическим конструкциям применимы и к подопорным. Однако вследствие наличия конструктивных особенностей, применения на объектах повышенного уровня ответственности, а также практической необходимости оптимизирования процесса их проектирования требуется провести и сопоставить исследования касательно подопорных металлических конструкций.

2.4. Конструирование и расчет подопорных металлических конструкций.

Подопорные металлические конструкции в основном используются для крепления опор трубопроводов, а также оборудования на промышленных и технологических предприятиях, электростанциях, заводах. [9]

Подопорная металлическая конструкция состоит из следующих конструктивных элементов:

- металлический профиль, чаще всего квадратный, швеллер, двутавр или равнополочный уголок;
- накладная (закладная) пластина из листовой стали толщиной 8-10 мм;
- болты 10-16 мм;
- ребра жесткости из листовой стали 6-10 мм;
- заглушки полого профиля 4-6 мм;
- пластина для крепления опоры на подопорную конструкцию из листовой стали 8-10 мм.

На рисунке 2.2 изображены конструктивные элементы подпорной металлической конструкции.

Выбор типа подпорной конструкции зависит от диаметра трубопровода, вида опоры, места расположения в здании, от пространственного расположения соседних трубопроводов, других подпорных конструкций и оборудования, находящегося в здании.

Для крепления к полу чаще всего подходят такие типы подпорных металлических конструкций как стойка, П-образная, Т-образная и Г-образная конструкции.

Для крепления к стенам используют консоли (кронштейны) и П-образные конструкции.

Для крепления к потолку подойдут П-образные и Г-образные конструкции.

Подпорные металлические конструкции могут также крепиться к балкам и стойкам металлических площадок обслуживания при наличии запаса прочности и устойчивости. Если требуется пересечь подпорной конструкцией настил, то необходимо вырезать отверстие по месту с запасом для монтажных сварочных работ.

При необходимости проектирования высоких металлических подпорных конструкций более 2 метров целесообразно делать их пространственными с продольными и поперечными связями.

По возможности избегать крепления к посторонним металлическим конструкциям, во избежание перегруза конструкции.

Стены, потолок и пол могут иметь защитное облицовочное металлическое покрытие, к которому нельзя крепиться болтовым соединением. В таких случаях необходимо запроектировать или обнаружить существующие закладные детали. Они представляют собой металлический лист, вмонтированный в бетон под облицовочным покрытием, в котором заранее делается допустимое отверстие. При монтаже подпорных металлических конструкций крепиться к закладным пластинам.

Катет шва устанавливается не менее толщины стенки свариваемого элемента.

При сложных монтажных условиях допускается сваривать элементы подпорной конструкции через пластины из металлического листа, которые привариваются одним концом к основному элементу, а другим к вспомогательному.

Подпорные металлические конструкции могут находиться не только внутри помещения, но и снаружи. В этом случае необходимо учесть снеговую и ветровую нагрузки. А также предусмотреть антикоррозионное покрытие для тех климатических условий, в которых находится конструкция.

Способов крепления металлических подпорных конструкций к элементам сооружений два:

- на болтах через накладную деталь;
- посредством монтажной сварки к закладной детали.

Материал подпорных конструкций:

- углеродистая сталь;
- нержавеющая сталь.

Для конструкции из углеродистой стали требуется дополнительная антикоррозионная защита в виде лакокрасочных покрытий.

В процессе проектирования подпорной металлической конструкции можно выделить следующие этапы:

1. Определение материала (углеродистая или нержавеющая сталь).
2. Определение типа конструкции в зависимости от пространственного расположения и мест крепления.
3. Определение способа крепления (болтовое соединение через накладной элемент или сварное соединение к закладной детали).
4. Проектирование эскиза конструкции с обозначением геометрических размеров элементов.
5. Создание расчетной схемы конструкции.

6. Расчет конструкции по двум предельным состояниям (на прочность и устойчивость). Выбор оптимального сечения и формы профиля.
7. Выполнение чертежа конструкции на основании эскиза и произведенного расчета.

Расчет подпорных конструкций по предельным состояниям.

Подпорные конструкции согласно СНиП рассчитывают на силовые и другие воздействия по предельным состояниям.

Предельными являются такие состояния, при которых конструкции перестают удовлетворять предъявляемым к ним в процессе эксплуатации или при возведении требованиям, заданным в соответствии с назначением и ответственностью сооружения.

Нормами проектирования установлены две группы предельных состояний: первая группа – по потере несущей способности или непригодности к эксплуатации, вторая группа – по непригодности к нормальной эксплуатации.

Предельное состояние первой группы: потеря устойчивости положения, потеря устойчивости формы, вязкое, хрупкое, усталостное или иного характера разрушение, разрушение под совместным воздействием силовых факторов и неблагоприятного влияния внешней среды, резонансные колебания, качественное изменение конфигурации, приводящие к нарушению эксплуатации (в результате текучести материала, ползучести, сдвигов в соединениях или чрезмерного развития трещин). [10-15]

Предельные состояния второй группы включают состояния, затрудняющие нормальную эксплуатацию конструкций или снижающие долговечность их из-за появления недопустимых перемещений (прогибов, углов поворота, осадок), трещин колебаний, и т. п. Нормальной считается эксплуатация, которая осуществляется (без ограничений и без внеочередного ремонта) в соответствии с предусмотренными в нормах или заданиях на проектирование технологическими или бытовыми условиями.

Расчет конструкции по предельным состояниям проводится для предотвращения наступления любого из предельных состояний при возведении сооружения и в течение всего срока его службы.

В процессе эксплуатации конструкция подвергается воздействию различных нагрузок: собственная масса, технологические нагрузки, а также атмосферным воздействиям. [16]

В зависимости от продолжительности действия на конструкцию нагрузки делят на постоянные и временные. Временные нагрузки подразделяют на длительные, кратковременные и особые.

Постоянными нагрузками называют такие, которые действуют на конструкцию постоянно: собственная масса строительных конструкций, воздействие предварительного напряжения конструкций, давление грунта и т.п.

Длительными нагрузками называют такие, которые воздействуют на конструкцию продолжительное время (но могут и отсутствовать): масса технологического оборудования, масса складированных грузов, давление жидкостей и газов в резервуарах и трубопроводах и т. д. [17]

Расчетные модели (расчетные схемы) строительных объектов должны отражать действительные условия их работы и соответствовать рассматриваемой расчетной ситуации. При этом должны быть учтены конструктивные особенности строительных объектов, особенности их поведения до достижения рассматриваемого предельного состояния, а также действующие нагрузки и воздействия, в том числе влияние на строительный объект внешней среды, а также возможные геометрические и физические несовершенства. [18]

Расчетная схема включает в себя:

- расчетные модели нагрузок и воздействий;
- расчетные модели, описывающие напряженно-деформированное состояние элементов конструкций и оснований;
- расчетные модели сопротивления.

2.5. Способы повышения надежности подопорных металлических конструкций.

Часто простые типы подопорных металлических конструкций в условиях несимметричной нагруженности, пространственной стесненности и удаленных мест крепления необходимо конструктивно дополнять и изменять. Такие мероприятия относятся к способам повышения надежности подопорных металлических конструкций.

Способы повышения надежности подопорных металлических конструкций:

Добавление подкоса к консоли или стойке представлено на рисунке 2.7 и 2.8.

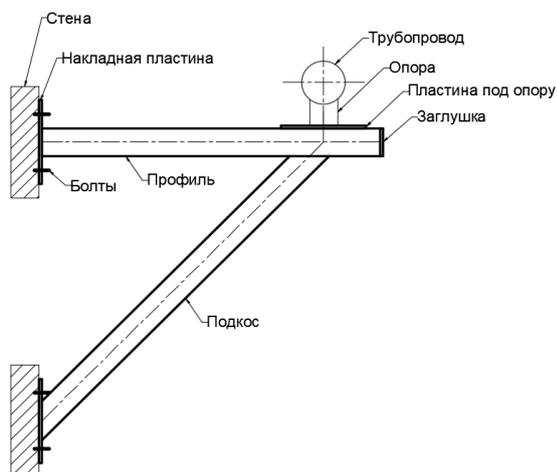


Рис. 2.7. Подопорная металлическая конструкция - консоль с подкосом.

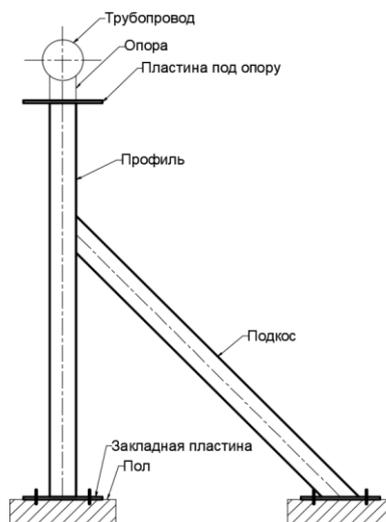


Рис. 2.8. Подопорная металлическая конструкция - стойка с подкосом.

Увеличение площади сварного шва, посредством добавления пластин и ребер жесткости представлено на рисунке 2.9.

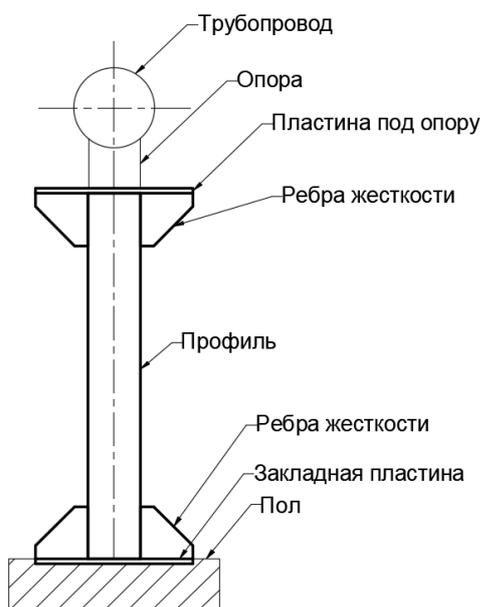


Рис. 2.9. Подопорная металлическая конструкция - стойка с ребрами жесткости.

Увеличение сечения элементов или замена профиля также являются мероприятиями, повышающими надежность подпорной конструкции.

Основным условием надежности строительных объектов являются выполнения требований (критериев) для всех учитываемых предельных состояний при действии наиболее неблагоприятных сочетаний расчетных нагрузок в течение расчетного срока службы. Надежность строительных конструкций и оснований следует обеспечивать на стадии разработки общей концепции сооружения, при его проектировании, изготовлении его конструктивных элементов, строительстве и эксплуатации.

Принятые проектные и конструктивные решения должны быть обоснованы результатами расчета по предельным состояниям сооружений в целом, их конструктивных элементов и соединений, а также, при необходимости, данными экспериментальных исследований, в результате которых устанавливают основные параметры строительных объектов, их несущую способность и воспринимаемые ими воздействия.

3. Повышение надежности подопорной металлической конструкции типа «консоль».

3.1. Проектирование подкоса для конструкции типа «консоль».

Для повышения надежности подопорной металлической конструкции типа «консоль» в первую очередь следует рассмотреть добавление элемента – подкоса. Такой способ не позволит прогнуться консоли, а также предотвратит отрыв в районе сварного шва крепления к накладной или закладной пластине.

Консоль с подкосом представлена на рисунке 3.1.

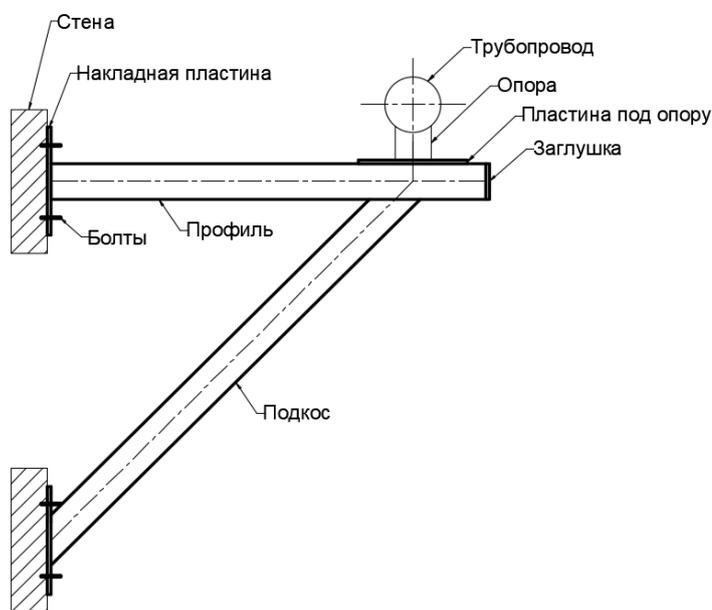


Рис. 3.1. Консоль с подкосом.

3.2. Исследование оптимального угла подкоса для конструкции типа «консоль».

При конструировании подопорной металлической конструкции консоли с подкосом возникает вопрос, под каким углом проектировать данный элемент.

Проведено исследование оптимального угла подкоса. Произведен расчет нескольких случаев с разными углами в программном комплексе SCAD.

Прикладывались единичные усилия в т по осям x, y и z к профилю квадратной трубы 100x5.

Зависимость усилий, возникающих в консоли от угла подкоса, представлена на рисунке 3.2.

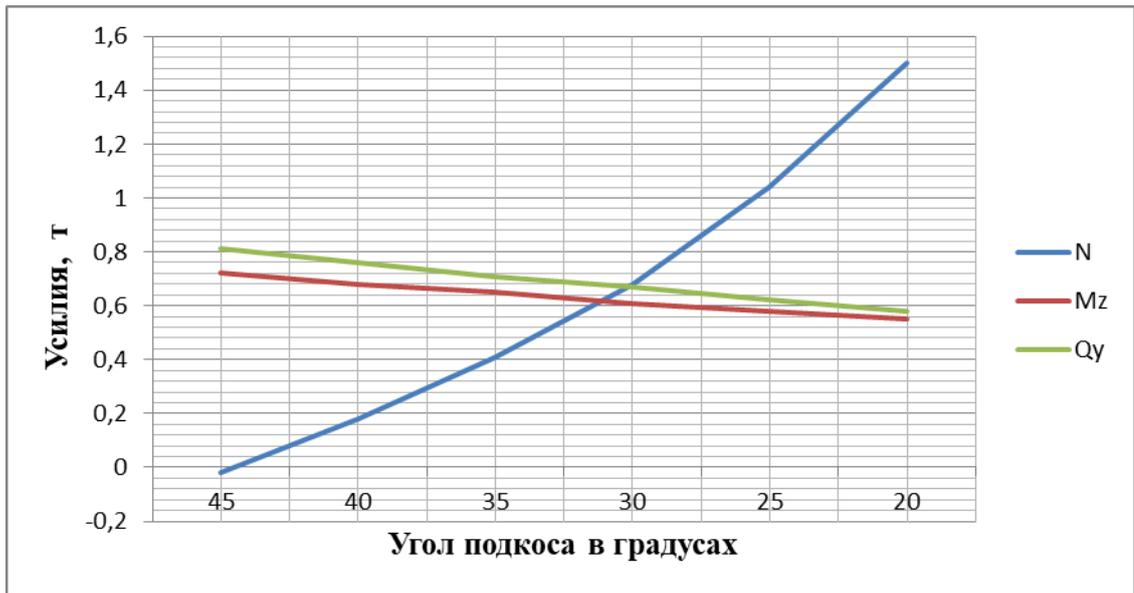


Рис. 3.2. Зависимость усилий, возникающих в консоли от угла подкоса.

По графику можно сказать, что с уменьшением угла подкоса растягивающее усилие в консоли увеличивается.

Зависимость усилий, возникающих в подкосе от его угла представлена на рисунке 3.3.

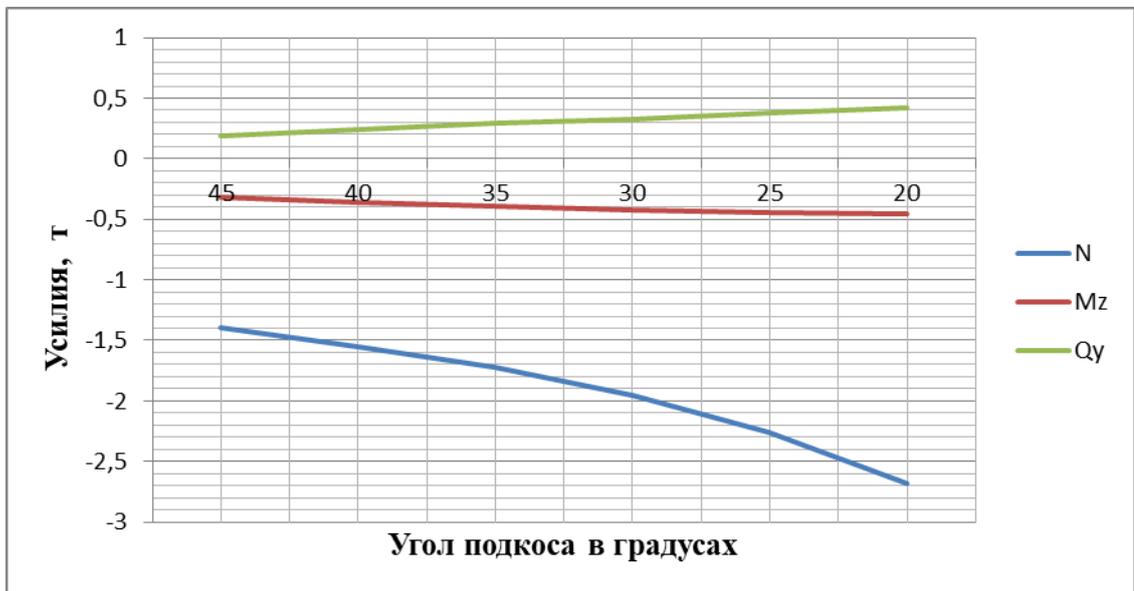


Рис. 3.3. Зависимость усилий, возникающих в подкосе от его угла.

По графику можно сказать, что с уменьшением угла подкоса сжимающее усилие в подкосе увеличивается.

Зависимость коэффициентов использования прочности и устойчивости консоли от угла подкоса представлена на рисунке 3.4.

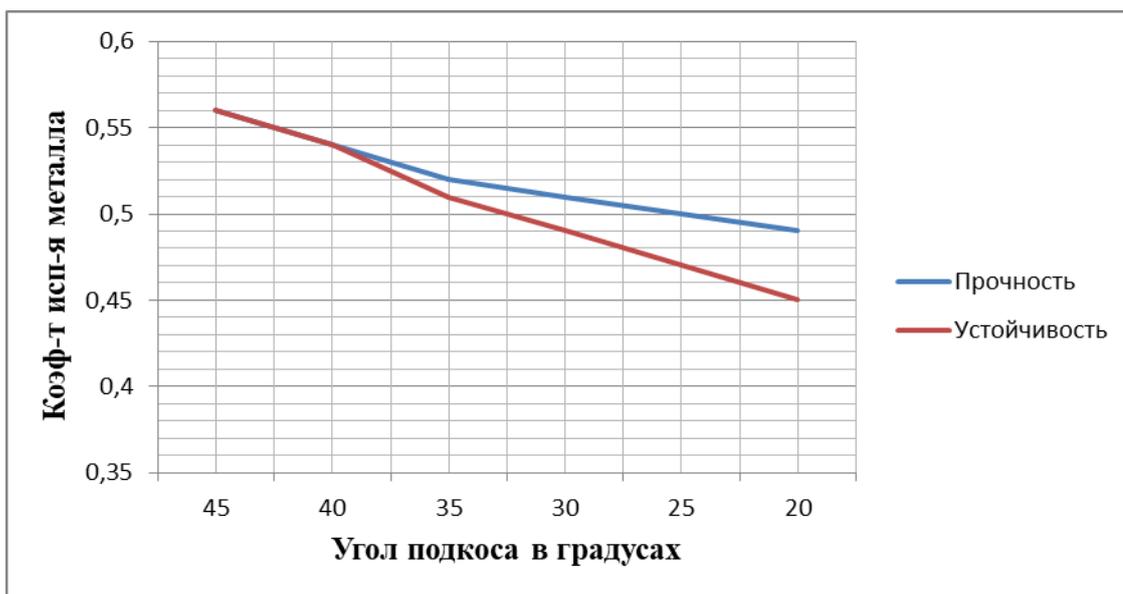


Рис. 3.4. Зависимость коэффициентов использования прочности и устойчивости консоли от угла подкоса.

Коэффициенты использования прочности и устойчивости консоли с уменьшением угла подкоса уменьшаются.

Зависимость коэффициентов использования прочности и устойчивости подкоса от его угла представлена на рисунке 3.5.

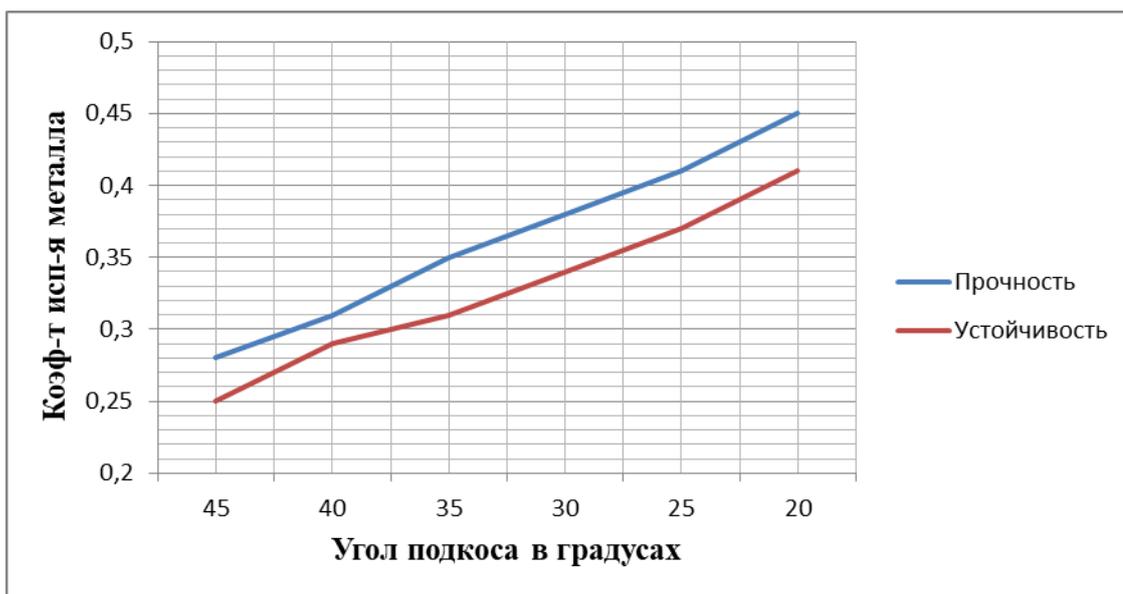


Рис. 3.5. Зависимость коэффициентов использования прочности и устойчивости подкоса от его угла.

Коэффициенты использования прочности и устойчивости подкоса с уменьшением угла подкоса растут.

Зависимость реакций опоры консоли от угла подкоса представлена на рисунке 3.6.

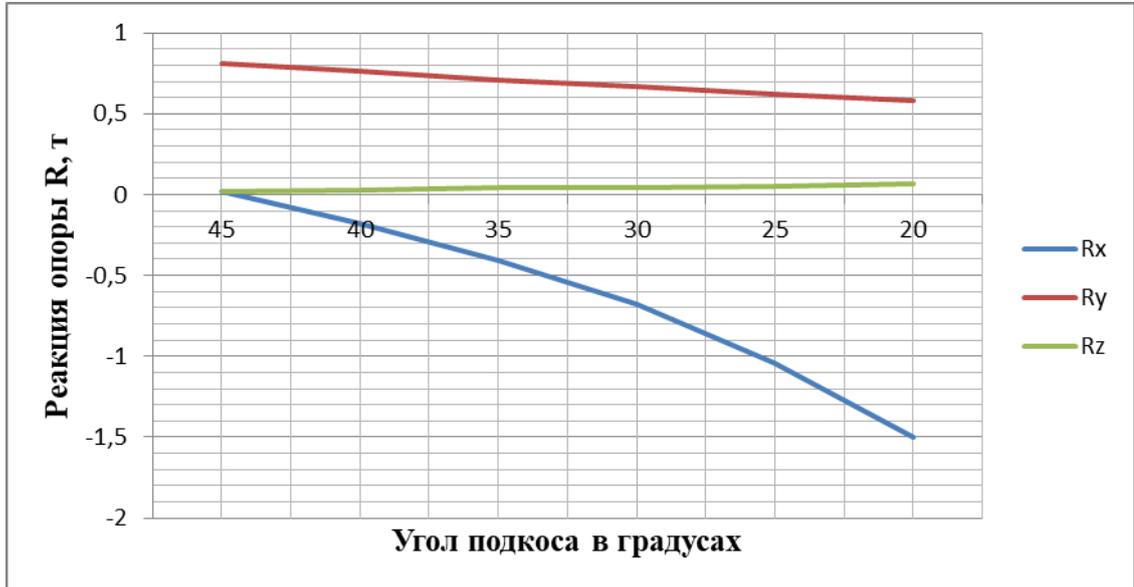


Рис. 3.6. Зависимость реакций опоры консоли от угла подкоса.

С уменьшением угла подкоса реакции опоры консоли в заделке по модулю возрастают.

Зависимость реакций опоры подкоса от его угла представлена на рисунке 3.7.

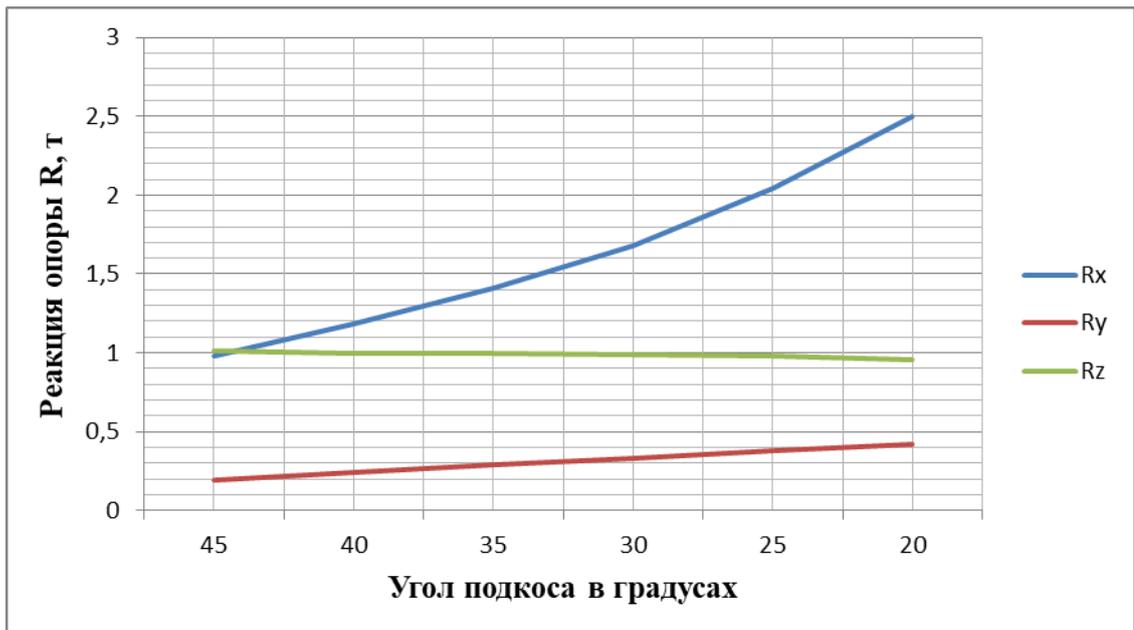


Рис. 3.7. Зависимость реакций опоры подкоса от его угла.

С уменьшением угла подкоса реакции опоры подкоса в заделке по модулю возрастают.

Зависимость перемещения конца консоли от угла подкоса представлена на рисунке 3.8.

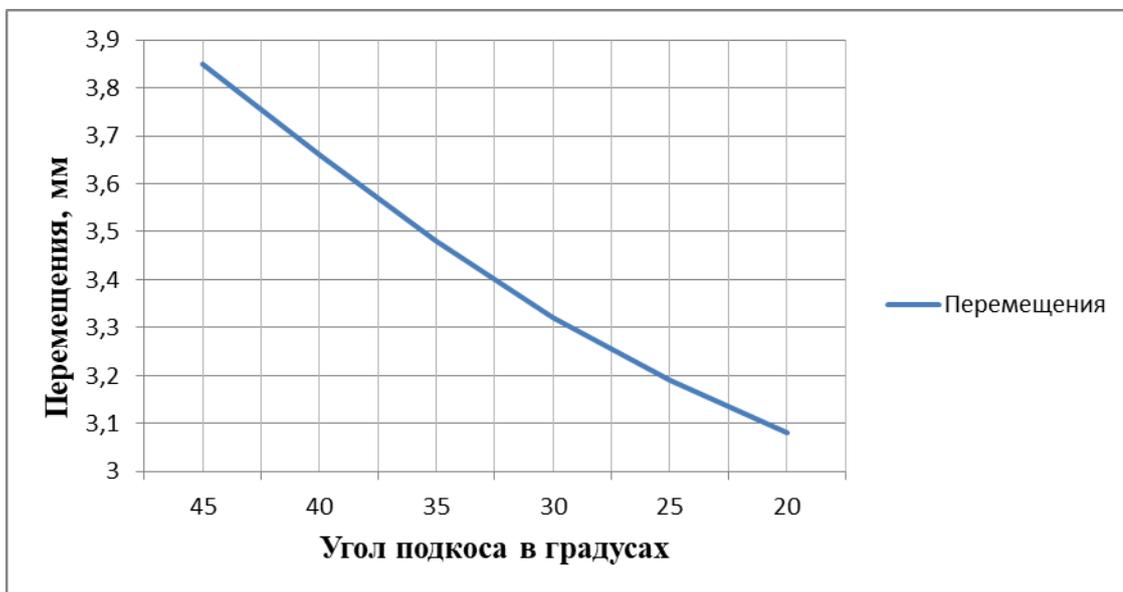


Рис. 3.8. Зависимость перемещения конца консоли от угла подкоса.

Перемещения с уменьшением угла подкоса тоже уменьшаются.

Сопоставив все результаты можно сделать вывод, что изменение угла подкоса с 45 градусов и меньше не всегда улучшает характеристики надежности конструкции. Несмотря на то, что перемещения и коэффициент использования металла по прочности и устойчивости уменьшаются в консоли, возникают значительные реакции опоры в местах крепления конструкции после 35 градусов. Это повлечет за собой выбор болтов большего диаметра и увеличение площади сварного шва, что не является положительным преимуществом.

Таким образом, оптимальным углом подкоса является угол 45-35 градусов.

4. Повышение надежности опорной металлической конструкции типа «стойка».

4.1. Проектирование подкоса для конструкции типа «стойка».

Для повышения надежности опорной металлической конструкции типа «стойка» в первую очередь следует рассмотреть добавление элемента – подкоса. Такой способ не позволит стойке значительно перемещаться в горизонтальном направлении.

Стойка с подкосом представлена на рисунке 4.1.

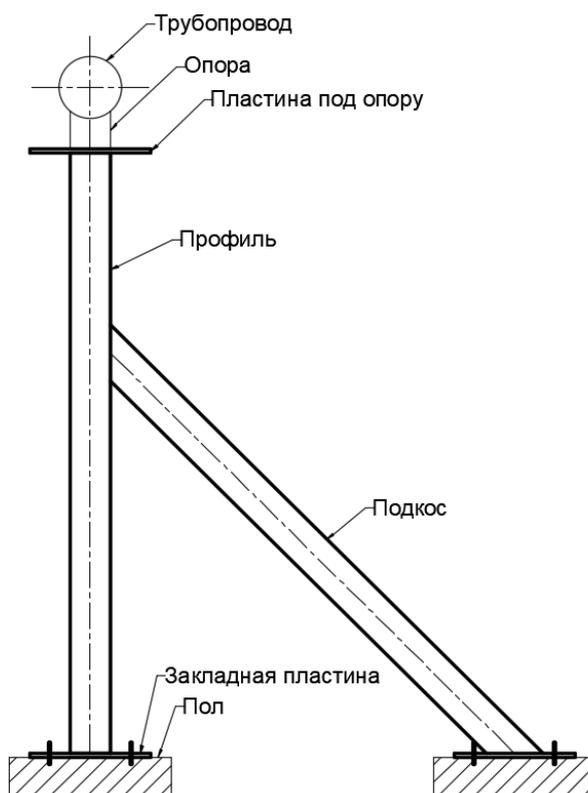


Рис. 4.1. Стойка с подкосом.

4.2. Исследование оптимального угла подкоса для конструкции типа «стойка».

При конструировании опорной металлической конструкции стойки с подкосом возникает вопрос, под каким углом проектировать данный элемент.

Проведено исследование оптимального угла подкоса. Произведен расчет нескольких случаев с разными углами в программном комплексе SCAD.

Прикладывались единичные усилия в т по осям x , y и z к профилю квадратной трубы 100x5.

Зависимость характеристик стойки от угла подкоса, представлена в таблице 4.1.

Табл. 4.1. Зависимость характеристик стойки от угла подкоса.

	45	40	35	30	25	20
R _x , т	-0,39	-0,37	-0,35	-0,33	-0,31	-0,29
R _y , т	0,77	0,72	0,67	0,62	0,57	0,52
R _z , т	2,74	3,05	3,42	3,85	4,35	4,9
Прочность, к-т	0,93	0,89	0,85	0,81	0,77	0,73
Устойчивость, к-т	0,83	0,79	0,76	0,73	0,7	0,67
N, т	-2,74	-3,05	-3,42	-3,85	-4,34	-4,89
M _z , т	-1,02	-0,97	-0,92	-0,87	-0,82	-0,77
Q _y , т	-0,77	-0,72	-0,67	-0,62	-0,57	-0,52
Перемещения, мм	9,82	9,26	8,17	7,1	5,9	4,8

В первой строке приведены углы в градусах, в первом столбце характеристики. С уменьшением угла подкоса усилия и реакции опоры увеличиваются, а коэффициент использования по прочности и устойчивости и перемещения конца стойки уменьшаются.

Зависимость характеристик подкоса от его угла, представлена в табл 4.2.

Табл. 4.2. Зависимость характеристик подкоса от его угла.

	45	40	35	30	25	20
R _x , т	1,39	1,37	1,35	1,33	1,31	1,29
R _y , т	0,23	0,28	0,33	0,38	0,43	0,48
R _z , т	-1,69	-2	-2,37	-1,75	-1,09	-0,39
Прочность, к-т	0,49	0,54	0,58	0,62	0,66	0,7
Устойчивость, к-т	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,1
N, т	2,2	2,43	2,74	3,13	3,6	4,15
M _z , т	-0,49	-0,55	-0,6	-0,64	-0,68	-0,72
Q _y , т	-0,23	-0,28	-0,33	-0,38	-0,43	-0,48

В первой строке приведены углы в градусах, в первом столбце характеристики. С уменьшением угла подкоса все характеристики ухудшаются.

Проанализировав эти таблицы, можно сделать вывод, что отклонения подкоса от 45 градусов в меньшую сторону крайне нежелательны. Меньше 40 градусов из-за дальнейшего возникновения больших усилий реакции опоры делать подкос не рекомендуется.

5. Повышение надежности подпорной металлической конструкции П-образного типа.

5.1. Проектирование стяжки

Для повышения надежности подпорной металлической конструкции П-образного типа в первую очередь следует рассмотреть добавление элемента – стяжка. Такой способ не позволит избежать потери устойчивости элементов и ограничить перемещения.

П-образная подпорная конструкция с дополнительным элементом – стяжкой представлена на рисунке 5.1.

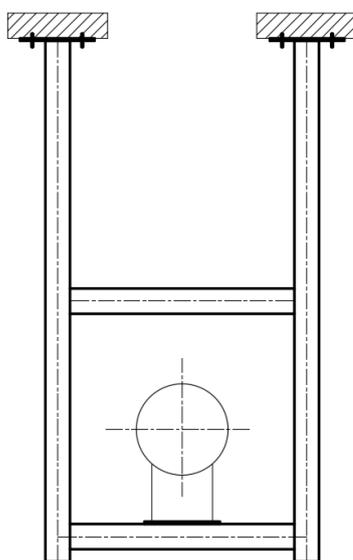


Рис. 5.1. П-образная подпорная конструкция с дополнительным элементом – стяжкой.

5.2. Исследование оптимальной высоты стяжки для конструкции П-образного типа.

При конструировании подпорной металлической конструкции с дополнительным элементом – стяжкой возникает вопрос на какой высоте относительно конструкции проектировать данный элемент. Проведено исследование оптимальной высоты стяжки. Произведен расчет нескольких случаев с разными высотами в программном комплексе SCAD.

Прикладывались единичные усилия в т по осям x , y и z к профилю квадратной трубы 100x5.

Зависимость характеристик п-образной подпорной металлической конструкции от высоты крепления стяжки приведена в таблице 5.1.

Табл. 5.1. Зависимость характеристик верхнего бокового элемента п-образной подпорной металлической конструкции от высоты крепления стяжки.

	0,25	0,35	0,5	0,65	0,75
Прочность, к-т	0,83	0,855	0,88	0,915	0,95
Устойчивость, к-т	0,78	0,805	0,83	0,875	0,92
N, т	2,04	2,02	1,9	1,8	1,7
Mz, т	-0,75	-0,9	-1	-1	-1
Qy, т	-0,44	-0,46	-0,48	-0,48	-0,49

В первой строке приведены относительные расстояния от верха подпорной конструкции, в первом столбце характеристики. С увеличением высоты стяжки растягивающее усилие уменьшается, а коэффициенты использования металла увеличиваются.

Зависимость характеристик нижнего бокового элемента п-образной подпорной металлической конструкции от высоты крепления стяжки приведена в таблице 5.2.

Табл. 5.2. Зависимость характеристик нижнего бокового элемента п-образной подпорной металлической конструкции от высоты крепления стяжки.

	0,25	0,35	0,5	0,65	0,75
Прочность	0,74	0,58	0,42	0,25	0,08
Устойчивость	0,71	0,565	0,42	0,25	0,08
N	1,28	1,18	1,07	1,03	0,9
Mz	-1	-0,75	-0,5	-0,3	-0,25
Qy	-0,57	-0,59	-0,62	-0,67	-0,73

В первой строке приведены относительные расстояния от верха подпорной конструкции, в первом столбце характеристики. С увеличением высоты стяжки растягивающее усилие и коэффициенты использования металла уменьшаются.

Зависимость перемещения нижней балки п-образной подпорной металлической конструкции и возникающих реакций опоры в узлах крепления к потолку от высоты крепления стяжки приведена в таблице 5.3.

Табл. 5.3. Зависимость перемещения нижней балки п-образной подпорной металлической конструкции и возникающих реакций опоры в узлах крепления к потолку от высоты крепления стяжки.

	0,25	0,35	0,5	0,65	0,75
Перемещения, мм	12,8	12,6	12	12,3	12,4
R_x , т	0,44	0,46	0,48	0,48	0,49
R_y , т	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
R_z , т	2,04	2,02	1,9	1,8	1,7

В первой строке приведены относительные расстояния от верха подпорной конструкции, в первом столбце характеристики. С увеличением высоты стяжки почти все реакции опоры уменьшаются. Однако перемещение самое маленькое при расположении стяжки по центру конструкции.

Проанализировав результаты, можно сделать вывод, что оптимальная высота стяжки – по центру подпорной конструкции.

6. Повышение надежности подпорных металлических конструкций в условиях несимметричной нагруженности, пространственной стесненности и удаленных мест крепления.

В процессе проектирования подпорных металлических конструкций часто встречаются такие условия, при которых сложно сразу сказать, как она будет выглядеть. Сложности возникают при несимметричной нагруженности, пространственной стесненности и удаленных местах крепления. Но даже в таких условиях необходимо запроектировать надежную конструкцию.

Одним из примеров, является п-образная конструкция с добавлением дополнительных элементов. Такую конструкцию необходимо было запроектировать на одной из атомных станций.

6.1. Создание расчетной схемы подпорной металлической конструкции

Прежде чем создать расчетную схему подпорной конструкции было рассмотрено множество вариантов, от самого простого п-образной конструкции, до п-образной подпорной конструкции с подкосами и стяжкой, представленной на рисунке 6.1.

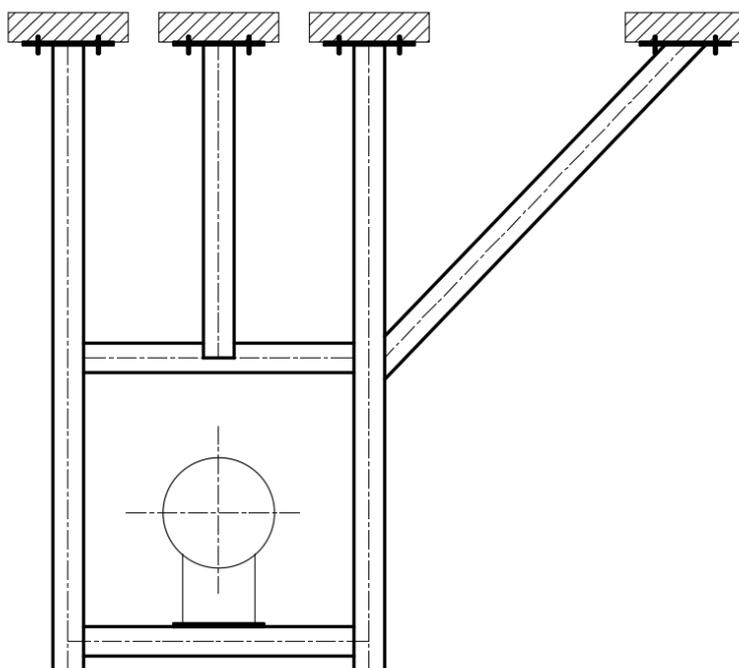


Рис. 6.1. Модель п-образной подпорной металлической конструкции с подкосами и стяжкой в программном комплексе AutoCAD.

На рисунке 6.2. представлена модель п-образной подпорной металлической конструкции с подкосами и стяжкой в программном комплексе SCAD в 2D и 3D.

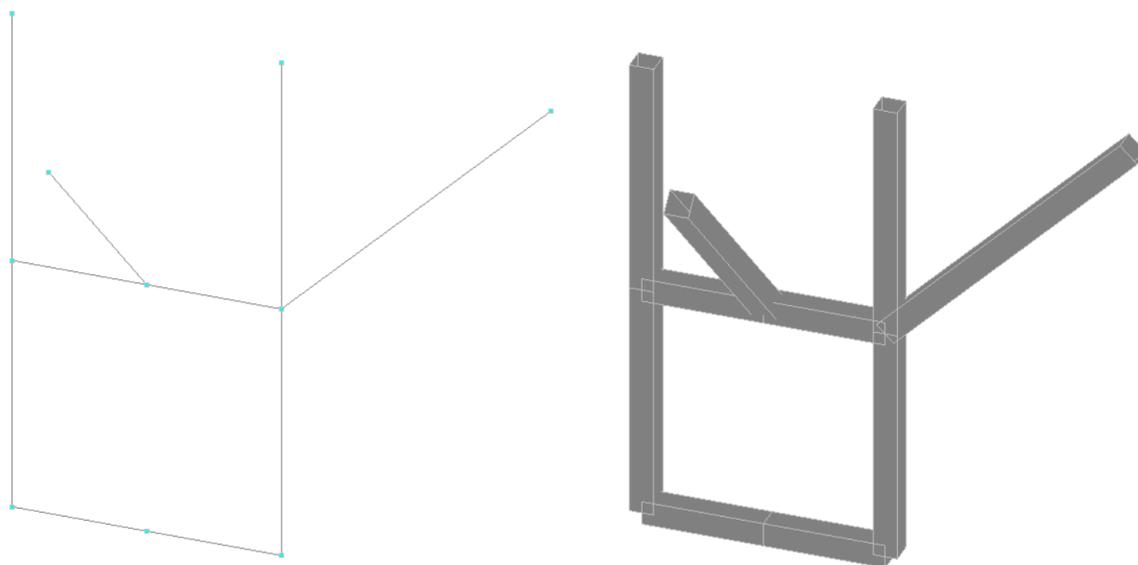


Рис. 6.2. Модель п-образной подпорной металлической конструкции с подкосами и стяжкой в программном комплексе SCAD в 2D и 3D.

6.2. Расчет подпорной металлической конструкции

Проведен расчет представленной подпорной конструкции. Узлы крепления элементов к потолку смоделированы жесткой заделкой. Крепление конструкции к потолку через накладные пластины болтами.

Расчет выполнялся на устойчивость и прочность. Прикладывались усилия в т по осям x , y и z , выданные в задании на проектирование, к профилю квадратной трубы 100x5. Проверялись возникающие опорные реакции в местах крепления к потолку. Ограничивались перемещения узла с приложенными нагрузками.

Было рассмотрено несколько расчетов, только с одним подкосом, с двумя и с дополнительным элементом – стяжкой. Выбран вариант с перемещениями, проходящими по нормативной документации, а так же из соображений возникновения допустимых напряжений в трубопроводе от возможных смещений подпорной металлической конструкции.

Результаты расчета приведены на рисунке 6.3.

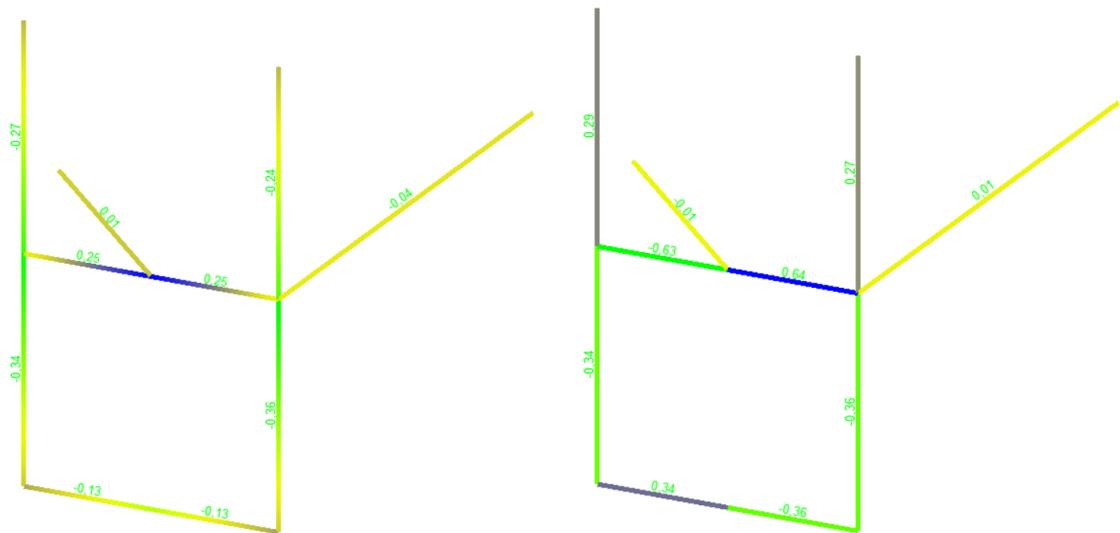


Рис. 6.3. Результаты расчета. Усилия N, T и Mz, T , возникающие в элементах.

6.3. Сравнение расчетов до и после повышения надежности подпорной металлической конструкции

Благодаря дополнительным элементам удалось уменьшить реакции опор в узлах крепления к потолку, ограничить перемещения нагруженного узла, снизить коэффициенты использования металла по прочности и устойчивости.

Результаты сравнения коэффициента использования металла по прочности в конструкции до повышения надежности и после приведены на рисунке 6.4.

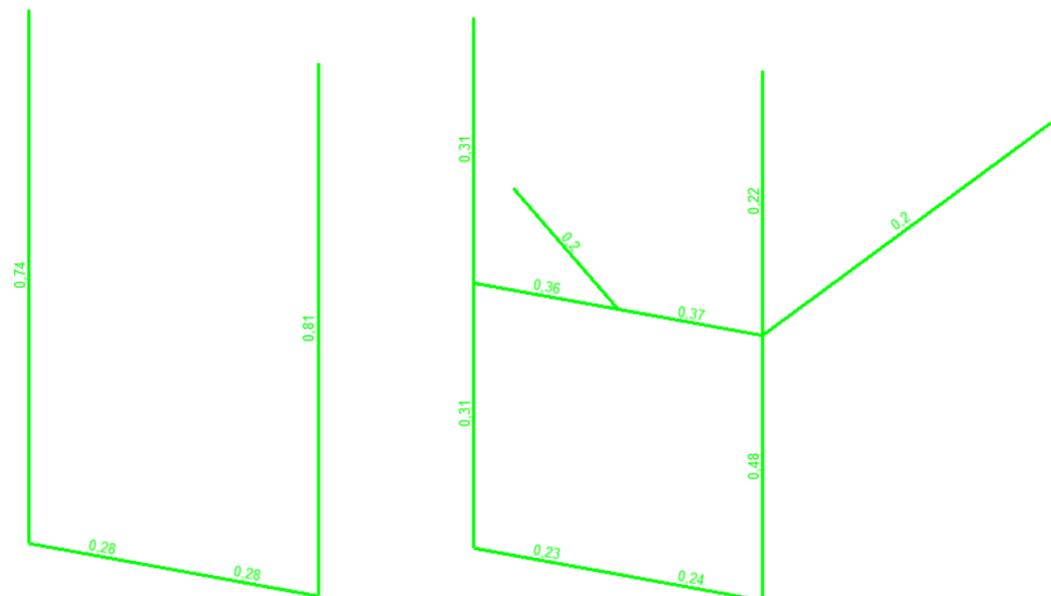


Рис. 6.4. Коэффициенты использования металла по прочности в конструкции до повышения надежности и после.

7. Внедрение подпорных металлических конструкций повышенной надежности в реальный объект атомной электростанции.

В инжиниринговом дивизионе Госкорпорации «Росатом» научно-исследовательском и проектно-конструкторском институте энергетических технологий «Атомпроект» в рамках выполнения задания на проектирование разработана рабочая документация с внедрением новой оптимизированной подпорной конструкции в реальный объект АЭС (Приложение 1).



Рис. 7.1. Подпорные металлические конструкции на промышленном объекте.

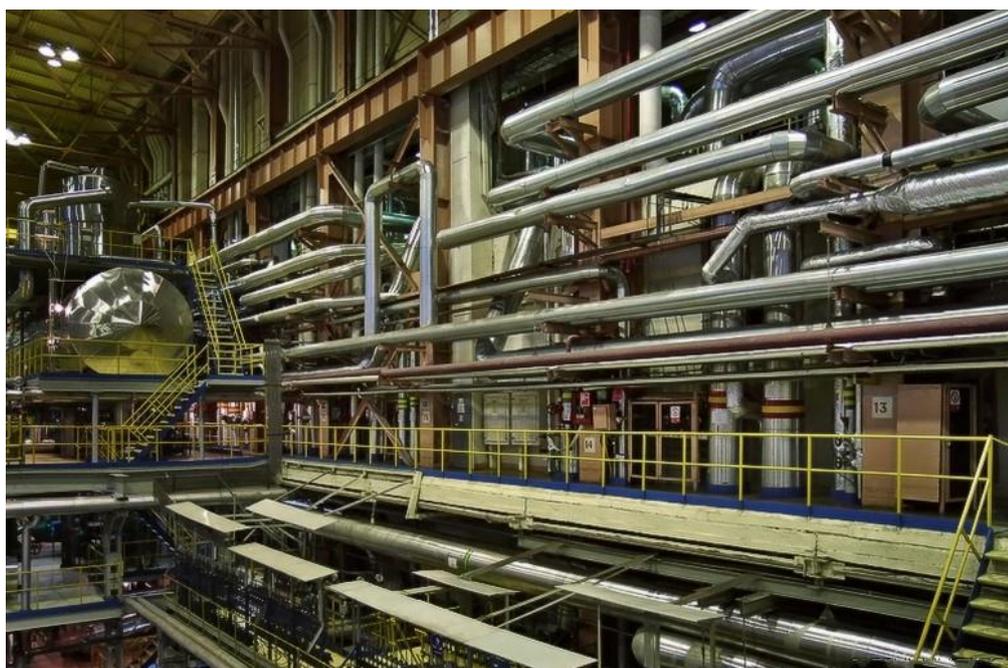


Рис. 7.2. Подпорные металлические конструкции на атомной электростанции.

Заключение

В работе впервые дано определение нового вида металлических конструкций – подпорных металлических конструкций.

Произведена классификация по типам подпорных металлических конструкций.

Также представлены результаты выполнения исследований по повышению надежности подпорных металлических конструкций:

- определен оптимальный угол подкоса к консоли, он составляет 45-35 градусов;

- определен оптимальный угол подкоса к стойке, он составляет 45-40 градусов;

- определена оптимальная высота стяжки в п-образной конструкции, её необходимо крепить по центру конструкции.

Рассмотрены и обоснованы конструктивные решения подпорной металлической конструкции, в условиях несимметричной нагруженности, пространственной стесненности и удаленных мест крепления, которая впоследствии внедрена в реальный объект атомной электростанции.

В будущем необходимо исследовать дополнительные подпорные металлические конструкции, не рассмотренные в данной работе.

Представленная классификация типов подпорных металлических конструкций, а также анализ способов повышения надежности позволят в будущем оптимизировать подход к проектированию и расчету большого количества подпорных металлических конструкций на атомной электростанции. Это в свою очередь, сократит время и ресурсы проекта и позволит нашей стране выйти на новые ведущие позиции в атомной энергетической промышленности.

Список используемой литературы

Нормативная литература

1. НП-001-15 Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии «Общие положения обеспечения безопасности атомных станций».
2. ПиН АЭ-5.6 Нормы строительного проектирования АС с реакторами различного типа.
3. НП 031-01 Нормы проектирования сейсмостойких атомных станций.
4. СП 16.13330.2017 Стальные конструкции (Актуализированная редакция СНиП II-23-81*).
5. СП 20.13330.2016 Нагрузки и воздействия (Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85*).
6. СП 70.13330.2012 Несущие и ограждающие конструкции (Актуализированная редакция СНиП 3.03.01-87).
7. ГОСТ 23118-2012 Конструкции стальные строительные. Общие технические условия.
8. ГОСТ 27751-2014 Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения.

Научно-техническая литература

9. Ахметов С. А. и др. //Технология и оборудование процессов переработки нефти и газа: Учебное пособие / С.А. Ахметов, Т.П. Сериков, И.Р. Кузеев, М.И. Баязитов; Под ред. С.А. Ахметова. — СПб.: Недра, 2006. — 868 с.;
10. Энергоснабжение цехов и агрегатов металлургических предприятий / Б. Н. Вишневский, В. А. Чувакин, Г. П. Войтковский, А. И. Мищенко // Металл и литье Украины. – № 11-12. – 2008. – С. 14-17.
11. Б. Н. Вишневский, В. А. Чувакин, Г. П. Войтковский, А. И. Мищенко //Внутренние коммуникации энергоснабжения цехов металлургических предприятий/ ГП «Укрگیпромез», Днепропетровск - № 11- 2008.-С.9-11

12. Опорные конструкции для прокладки трубопроводов / Хисматуллина И.З. //Нефтегазовый терминал.- 2017. – С. 219-221. ООО «Вектор Бук». Тюмень.

13. Перспективы использования проектно-конструкторских и технологических решений для опорных конструкций транспортных эстакад при прокладке надземных технологических трубопроводов / Недосеко И. В., Григорьева Ю. Б., Струговец М. И. / ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный нефтяной технический университет»/ ООО «Научно-исследовательский институт транспорта нефти и нефтепродуктов»-2014. С. 12-14.

14. Пути автоматизации проектирования опорных конструкций под оборудование при использовании технологий: Smart 3D – TEKLA Structures – SCAD Office / Кукушкин И. С., Любимов И.Ю./ Ивановский государственный политехнический университет/ ОАО «Зарубежэнергопроект»/ т.11- №3-2015. С 126-132.

15. Возможности использования метода численного моделирования для оценки напряженно-деформированного состояния опорных металлических конструкций /Мухаметзянов З.Р., Зарипов М.З., Мухаметзянов Н.З., Корнев Д.В./ Уфимский государственный нефтяной технический университет. Республика Башкортостан, г. Уфа-2014. С. 143-149.

16. Программа отрисовки чертежей простых опор и подопорных конструкций, из отчетов SP3D, по шаблонам, в AutoCAD / Беляев В. С., Некрасов А. В., Уткин П.Г./ свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ – патент. 2015.

17. Модуль ассистент для генерации и простановки кодов подопорных конструкций в SP3D/ Беляев В. С., Некрасов А. В., Уткин П.Г./ свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ – патент. 2016.

18. Исследование работы подвижных корпусных опор технологических трубопроводов. Прохоров Д.П. Ярославский государственный технический университет. 2017. С. 140-143.

Список работ, опубликованных автором по теме диссертации

Подготовлены статьи для публикации:

1. «Классификация подпорных металлических конструкций на энергетических объектах».
2. «Способы повышения надежности подпорных металлических конструкций на энергетических объектах».