

## ОБЕСПЕЧЕНИЕ НОРМАТИВНЫХ ТРЕБОВАНИЙ ПО БЕЗОПАСНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ТРУБОПРОВОДНОЙ СИСТЕМЫ КОНДЕНСАТА ГРЕЮЩЕГО ПАРА КС 1 АЭС

Кипоренко А.С., Полищук С.М., Чижикова В.М.

Украинская инженерно-педагогическая академия.

*В статье предложено осуществление снижения амплитуды вынужденных колебаний трубопроводных систем путем рациональной установки дополнительных опор. Определено напряженно-деформированное состояние для трубопроводной системы конденсата греющего пара КС 1-ой ступени СПП ТГ-3,4, (сепаратор пароперегреватель) и предложена установка резиновых плоских амортизационных прокладок в области максимальных напряжений.*

**Ключевые слова:** атомная электростанция, энергооборудование, трубопроводные системы, эксплуатационная безопасность, нормативные требования

**Постановка задачи:** Обеспечение безопасной эксплуатации энергооборудования атомных электростанций (АЭС) и максимальное сокращение его негативного воздействия на персонал, окружающую среду и население является важнейшей задачей в сфере ядерного регулирования. Энергооборудование АЭС на 70% состоит из трубопроводных систем различной конфигурации несущих теплоноситель (пар, вода, вода+пар) и обеспечение безопасности этих систем регламентируется Нормами и правилами ядерной и радиационной безопасности [1]. Однако, как показал опыт, при эксплуатации мощных турбоагрегатов ТЭС и АЭС, в трубопроводных системах возникают сильные вибрации, главным источником которого является пульсирующий поток транспортируемого по трубопроводу теплоносителя [2].

Вибрация трубопроводов приводит к увеличению напряженно-деформированного состояния, что может привести к разрушению теплоизоляции и опорно-подвесной системы, образованию свищей и трещин на самих трубопроводах, что приводит к созданию аварийных ситуаций и внеплановым остановкам оборудования, увеличению негативного влияния на персонал, окружающую среду и значительным материальным затратам.

Снизить напряженно-деформированное состояние трубопроводных систем возможно путем оптимальной установки дополнительных опор, но при этом необходимо обосновать рациональность их применения и создать нормативно-методическое обеспечение по безопасной эксплуатации трубопроводных систем с учетом рекомендаций по установке дополнительных опор.

**Основная часть:** В качестве объекта исследования была выбрана трубопроводная система конденсата греющего пара КС 1-ой ступени СПП ТГ-3,4, (сепаратор пароперегреватель), в связи с сложной конфигурацией и высокими вибрационными показателями, даже в тех случаях, когда режим по расходу теплоносителя остается практически постоянным.

Задача определения напряженно-деформированного состояния трубопроводной системы решалась на основе метода конечных элементов в форме перемещений [3]. Геометрия трубопровода позволила использовать элемент тонкой оболочки. Динамические нагрузки, действующие на трубопровод, вызваны пульсацией потока транспортируемой среды. Давление в системе изменяется по закону  $P t = P_0 + P_1 \sin \omega t$ , где статическая составляющая  $P_0 = 19,1 \text{ МПа}$ , амплитуда  $P_1 = 1,9 \text{ МПа}$ , частота пульсации составляет 0,5-6,4 Гц, температура  $t=164 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Рабочие параметры среды теплоносителя следующие:

- в конденсатосборнике: давление  $P=19,1 \text{ кгс/см}^2$ , температура  $t=209 \text{ }^\circ\text{C}$ ;
- в деаэратор Д-3,4: давление  $P=6, \text{ кгс/см}^2$ , температура  $t=164 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Первым этапом анализа напряженно-деформированного состояния было определение наиболее опасных, с точки зрения напряжений, участков. Данная задача решалась на основании статического анализа. Была построена конечно-элементная модель трубопровода, которая представлена на рис. 1. Заданы исходные геометрические параметры и получены перемещения точек трубопровода и поле напряжений.

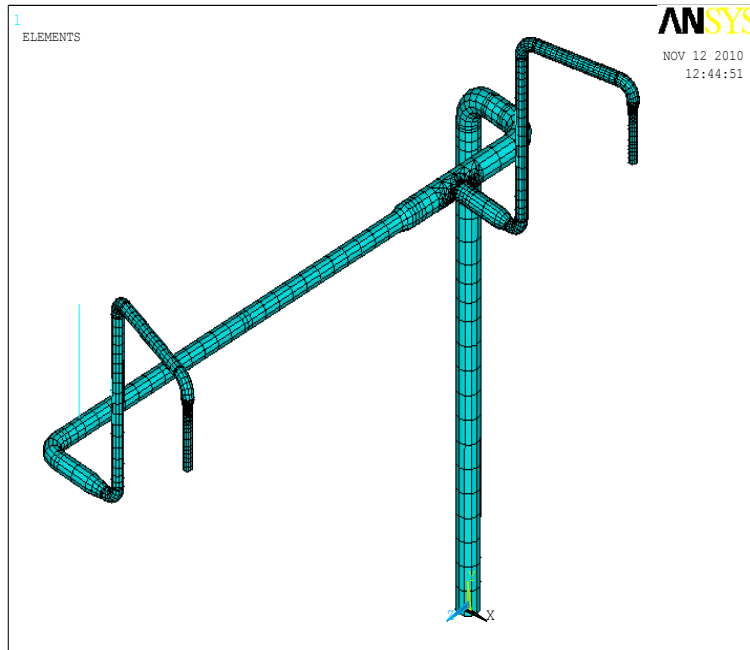


Рис. 1. Конечно-элементная модель трубопровода

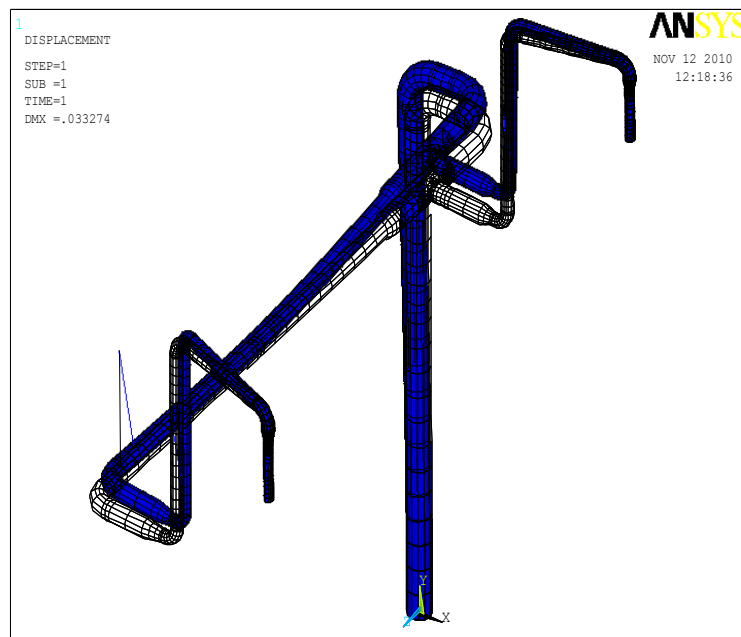


Рис. 2. Деформированное состояние трубопровода

Вторым этапом было определено деформированное состояние трубопровода относительно положения равновесия, которое показано на рис. 2. На рис. 3 представлены суммарные перемещения точек трубопровода.

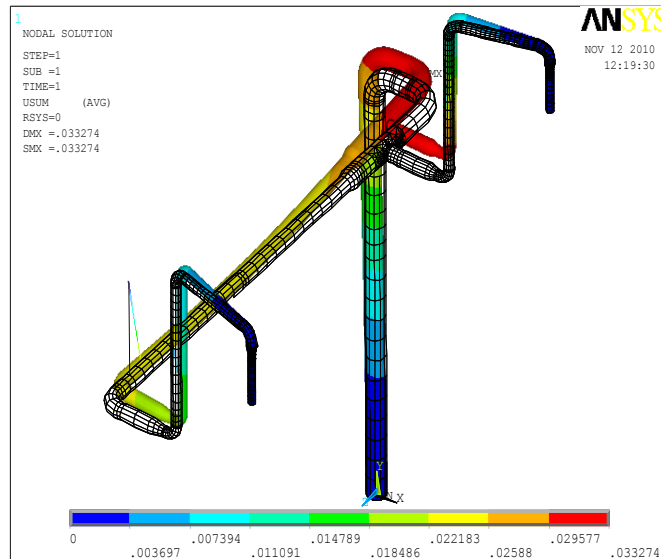


Рис. 3. Распределение перемещений в трубопроводе.

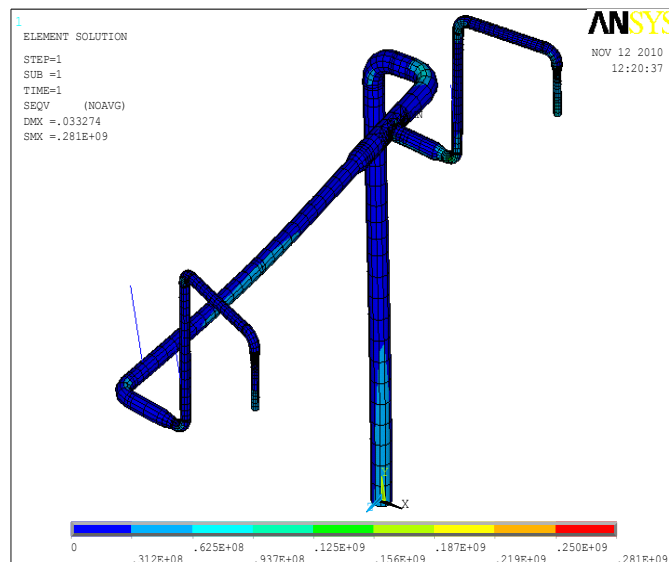


Рис.4. Напряжения в трубопроводе

Распределения напряжений в трубопроводе представлены на рис. 4.

На рис. 5 представлены напряжения для фрагмента трубопровода

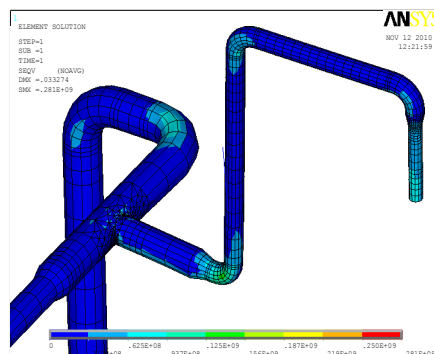


Рис. 5. Напряжения во фрагменте трубопровода.

Третьим этапом определены область максимальных напряжений, которая представлена на рис.6.

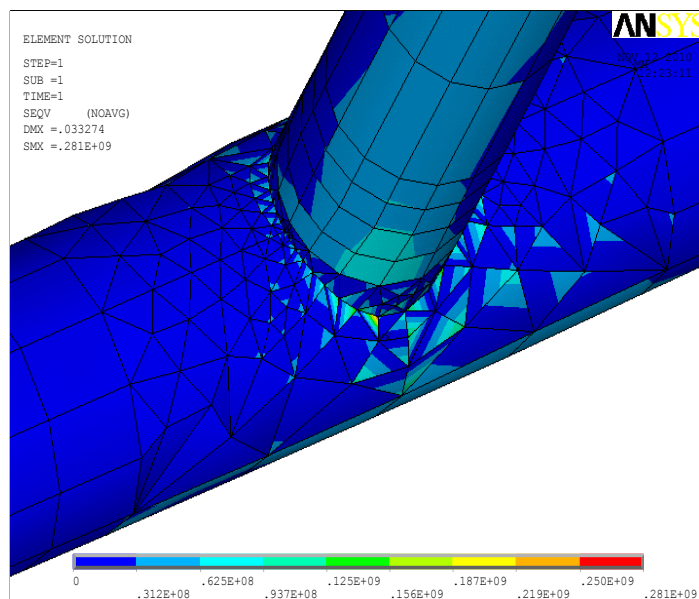


Рис.6. Область максимальных напряжений.

Как видно из эпюры, максимальные напряжения возникают в области тройникового соединения. Это можно объяснить концентрацией напряжений за счет погрешности моделирования.

Кроме того, произведен анализ собственных частот трубопроводной системы. Значения первых 10-ти частот приведены в таблице 1.

Таблица 1

Значения собственных частот трубопроводной системы конденсата греющего пара КС 1-ой ступени СПП ТГ-3,4,(сепаратор пароперегреватель)

Собственные частоты трубопроводной системы.	
№ частоты	Значение, Гц
1(а)	3.0055
2(б)	3.9728
3(в)	4.8661
4(г)	8.1547
5(д)	8.7157
6(е)	11.164
7(ж)	12.520
8(з)	13.227
9(и)	17.545
10(к)	22.012

При динамической нагрузке циклического (периодического) или импульсного (ударного) возбуждения возникает необходимость уменьшения действующей силы (статической и динамической), передаваемой от трубопровода на оборудование, или уменьшения амплитуды вынужденных колебаний от вибрирующих трубопроводов. В нашем случае необходимо использование резиновых плоских амортизационных прокладок, осуществляющих гашение колебаний (демпфирование) за счет свойств, присущих резине (гистерезисных потерь и жесткости). На рис.7 представлена зависимость коэффициента демпфирования.

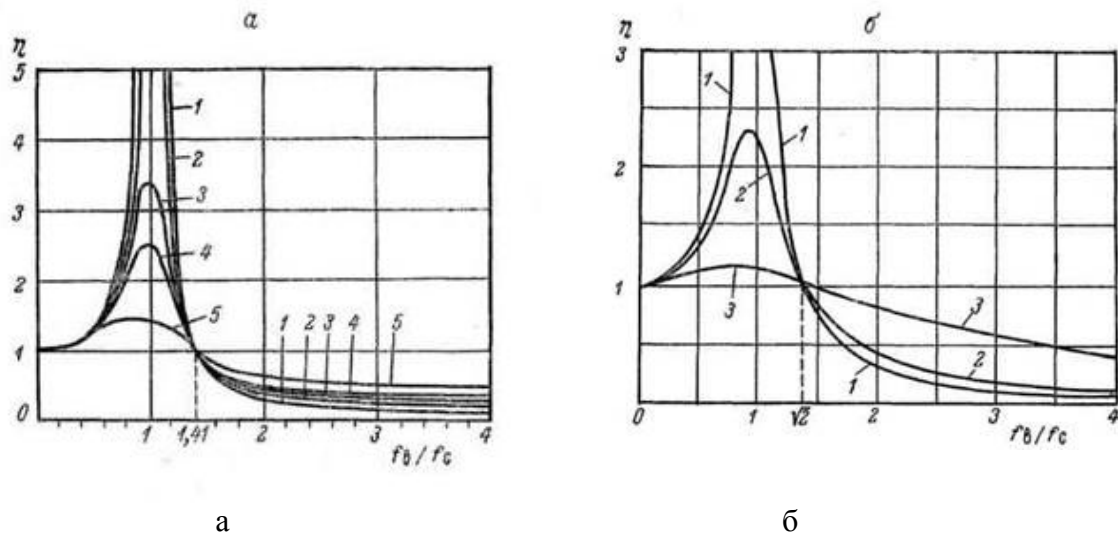


Рис. 7 Зависимость коэффициента демпфирования  $\eta$ .

а) от соотношения частот  $f_b/f_c$ ; б) от материала амортизатора: 1-пружинный  $\sin \varphi \approx 0$ , 2-резиновый  $\sin \varphi = 0,25$ , 3- резиновый  $\sin \varphi = 0,6$ .

Как видно из графиков (рис. 7), резиновые демпфирующие опоры обладают хорошими поглощающими свойствами.

**Вывод:** В результате проведенных расчетов определены собственные частоты, а также проведена рациональное размещению опор на трубопроводе и установлены дополнительные антивибрационные опоры, что позволило снизить опасные амплитуды колебаний и накопление усталостных напряжений.

#### Литература

1. НП 306.2.141-2008. Норми та правила ядерної та радіаційної безпеки.
2. Калинин Б.П., Полищук С.М., Канюк Г.И., Манузин А.А. К расчету параметров перегретого пара и вибрации трубопроводов крупных турбоагрегатов // Севастопольский национальный институт ядерной энергии и промышленности: Сбор. науч. трудов. - Севастополь, 2003. - С.83-90.
3. Зенкевич О.К. Метод конечных элементов в технике. М., "Высш. школа", 1975-342с.

Кіпоренко Г.С., Поліщук С.М., Чижикова В.М.

#### ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НОРМАТИВНИХ ВИМОГ ПО БЕЗПЕЧНІЙ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТРУБОПРОВІДНОЇ СИСТЕМИ КОНДЕНСАТУ ГРІЮЧОЇ ПАРИ КС 1 АЕС

У статті запропоновано здійснення зниження амплітуди вимушених коливань трубопровідних систем шляхом раціональної установки додаткових опор. Визначено напружено-деформований стан для трубопровідної системи конденсату гріючої пари КС 1-го ступеня СПП ТГ-3, 4, (сепараторпароперегрівач) та запропоновано установка гумових плоских амортизаційних прокладок в області максимальних напруг.

**Ключові слова:** атомна електростанція, енергоукомплектування, трубопровідні системи, експлуатаційна безпека, нормативні вимоги

Kiporenko A.S., Polishchuk S.M., Chizhikova V.M.

#### SECURITY REGULATION OF SAFE OPERATION PIPELINE SYSTEM HEATING STEAM CONDENSATE KS-1 NPS

The article suggested lower amplitude of forced vibrations of pipeline systems through rational installation of additional supports. Determined the stress-strain state for the condensate pipeline system heater pair KS-1st Class SPP TG-3, 4, (separator superheater) and the proposed installation of flat rubber gaskets depreciation in the maximum stress.

**Keywords:** nuclear power station, power equipment, piping systems, operational safety, regulatory requirements