

УДК 658.562

А.С.КИПОРЕНКО,
Р.М. ТРИЩ, докт. техн. наук,
С.М.ПОЛИЩУК, канд. техн. наук; *УИПА; Харьков.*

НОРМАТИВНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ТРУБОПРОВОДОВ СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ АКТИВНОЙ ЗОНЫ АЭС

Усовершенствовано нормативное обеспечение безопасной эксплуатации трубопроводных систем АЭС, подверженных вибрационному нагружению. Рассмотрена задача определения собственных и вынужденных колебаний трубопроводных систем, проведена отстройка от резонанса, вызываемого пульсациями давления, что позволило снизить усталостное напряжение.

Вдосконалене нормативне забезпечення безпечної експлуатації трубопровідних систем АЕС, схильних до вібраційного навантаження. Розглянута задача визначення власних і вимушених коливань трубопровідних систем, проведена відбудова від резонансу, що викликається пульсаціями тиску, що дозволило знизити втомну напругу.

The normative providing of safe exploitation of the pipeline systems of AES subject to the vibration loading are improved. The task of determination of own and forced vibrations of the pipeline systems is considered, rebuilding from the resonance caused by the pulsations of pressure is conducted, that allowed to reduce tireless tension.

Основополагающим при безопасной эксплуатации атомных электрических станций, является соответствие нормам, правилам и стандартам в области ядерной энергетики [1]. "Общие положения безопасности атомных станций" (ОПБ АС – 2007) устанавливают критерии, которыми обеспечивается безопасность АС:

- наличие автоматически действующих защит и блокировок, предотвращающих перерастание нарушений условий нормальной эксплуатации в аварии;

- наличие в инструкциях по эксплуатации разделов по действиям персонала в случаях нарушений режимов нормальной эксплуатации, постоянное совершенствование инструкций с учетом накапливаемого опыта и новых научно-технических данных.

Нормативные документы должны аккумулировать накопленный опыт и результаты научных и инженерных исследований. Они должны совершенствоваться с учетом новых данных, включая подтвержденные на международном уровне тенденции и рекомендации [2].

Основные требования к устройству и безопасной эксплуатации трубопроводов и арматуры установлены в ПТЕ п.8.9.2.18 [3], согласно которого должны быть приняты срочные меры по отключению аварийного участка посредством дистанционных приводов при обнаружении:

- трещин, свищей в основном металле трубопроводов питательной воды, свежего пара и промежуточного перегрева и других трубопроводов, в их сварных соединениях и арматуре;

- повышения давления в трубопроводе на 15 % сверх предельно-допустимого и невозможности немедленного его снижения;

- разрушения опор или обрыва подвесок;

- появления шумов, вибрации, ударов в трубопроводах.

При выявлении вибрации трубопровода в стационарном режиме работы необходимо определить зоны трубопровода с максимальной вибрацией и величину вибрации в этих зонах. Максимальная виброскорость трубопровода не должна превышать 15 мм/с [3].

Такие вибрации были выявлены на трубопроводах системы охлаждения активной зоны (САОЗ) 1,2,3 систем безопасности блоков №1,2 Ровенской АЭС.

Надежная работа системы, которая подвержена действию динамических нагрузок, во многом определяет безопасность работы АЭС.

Актуальность данной работы связана с тем, что в процессе длительной эксплуатации при воздействии динамических нагрузок стали одной из причин усталостного разрушения некоторых элементов трубопроводов.

Эксплуатация этих трубопроводов требует решения задач о напряженном состоянии рекомендаций по снижению амплитуд колебаний и отстройки от резонанса. Для этого было проведено обследование вибрационного состояния трубопровода САОЗ.

На рис.1 представлена аксонометрическая схема исходного состояния трубопровода САОЗ 1 системы безопасности для которого был проведен гармонический анализ собственных частот и вынужденных колебаний, проведены измерения вынужденных колебаний с указанием сечений измерений и расчетных сечений.

В качестве контрольных точек измерений были выбраны: зоны соединений различных конструктивных элементов; зоны гибов трубопроводов; места крепления (заделок) элементов конструкций; сечения с возможными максимальными прогибами при колебаниях по низшим формам.

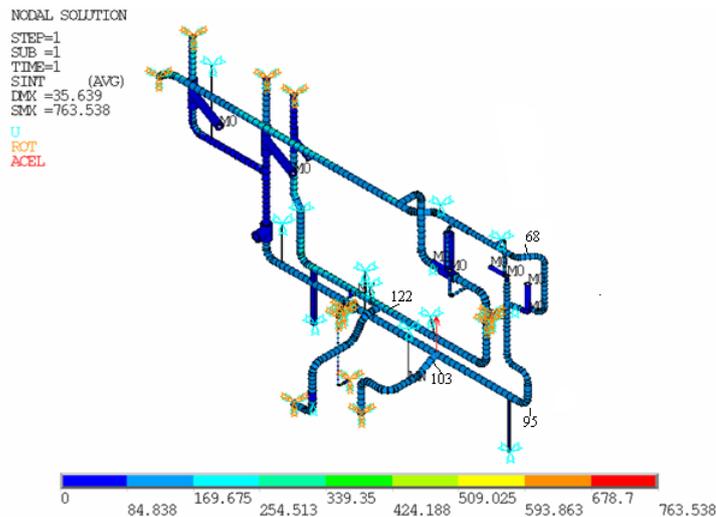


Рис.1. Аксонометрическая схема трубопровода САОЗ 1 системы безопасности (исходный вариант).

На рис.2-5 представлены экспериментальные АЧХ с максимальными амплитудами.

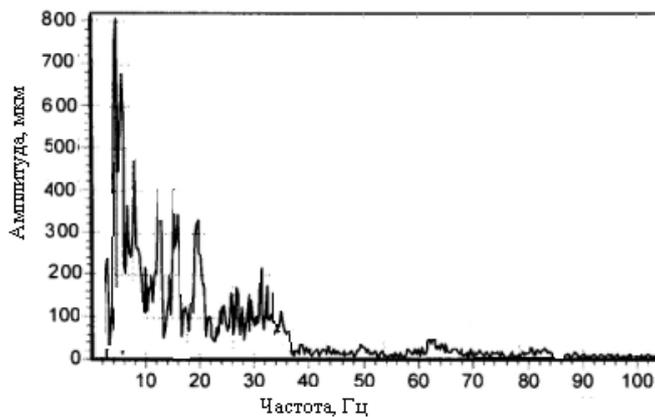


Рис. 2. Экспериментальная АЧХ виброперемещений в сечении 68.

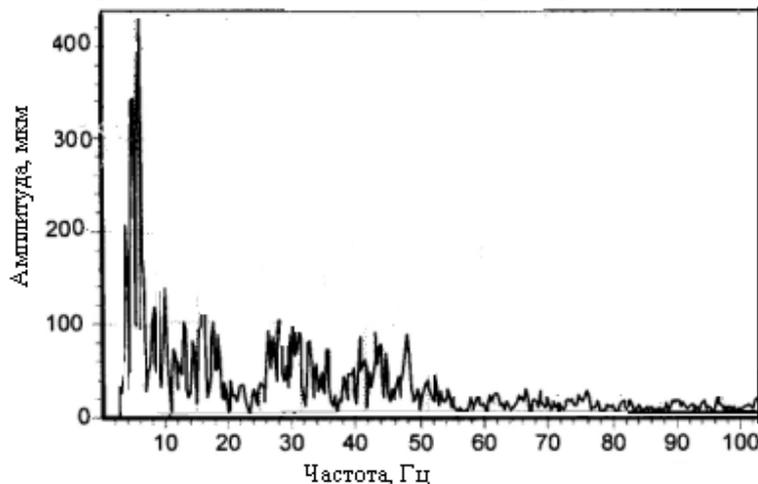


Рис. 3. Экспериментальная АЧХ виброперемещений в сечении 95.

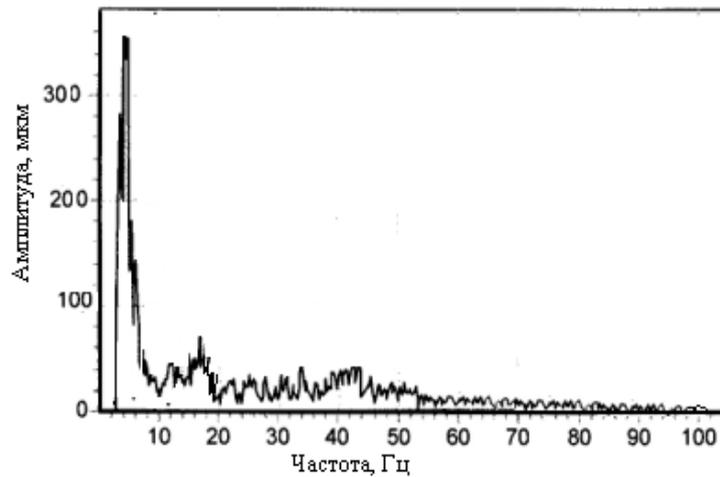


Рис.4. Экспериментальная АЧХ виброперемещений в сечении 103.

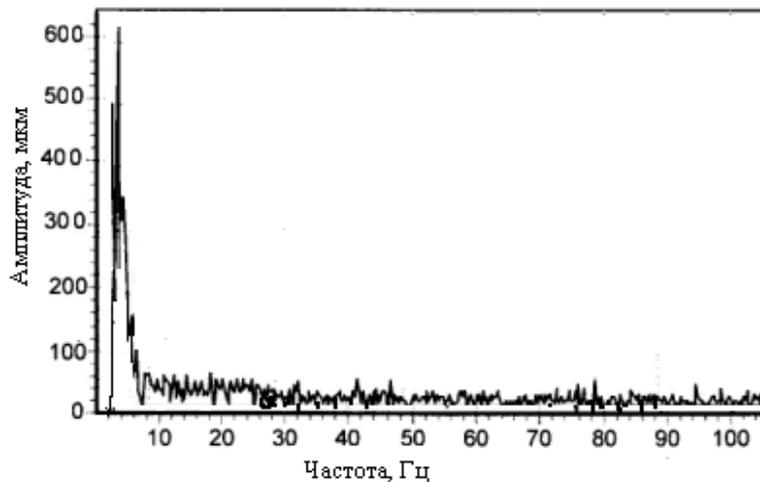


Рис.5. Экспериментальная АЧХ виброперемещений сечения 122.

После проведения гармонического анализа и определения максимальных перемещений проведено ряд расчетов по отстройке собственных частот колебаний элементов конструкций от дискретных частот детерминированного возбуждения[3].

В качестве детерминированной частоты возбуждения принята основная частота вращения вала насоса

$$\omega = 2\pi n / 60,$$

где n - число оборотов вала, мин-1;

Условие отстройки собственных частот для первых трех форм колебаний элементов конструкций в каждой плоскости записывается в виде

$$\Omega_i / \omega \geq 1,3 \text{ или } \Omega_i / \omega \leq 0,7,$$

где Ω_i - низшая собственная частота колебаний ($i=1, 2, 3$); ω - частота возбуждения.

Для более высоких форм колебаний при наличии высокочастотных возбудителей вибраций условие отстройки имеет следующий вид:

$$\Omega_i / \omega \geq 1,1 \text{ или } \Omega_i / \omega \leq 0,9 \text{ (} i = 4, 5, \dots \text{)}.$$

В таблице 1 приведен спектр собственных частот, в котором частота №9 близка к частоте пульсации потока[5]. На рисунках 6-8 представлены формы собственных колебаний конструкции. Результаты расчета вынужденных колебаний приведены на рисунках 9-12.

Частоты собственных колебаний трубопровода (Гц).

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2.04	2.11	2.49	2.88	3.53	4.28	4.47	5.02	6.13	6.82

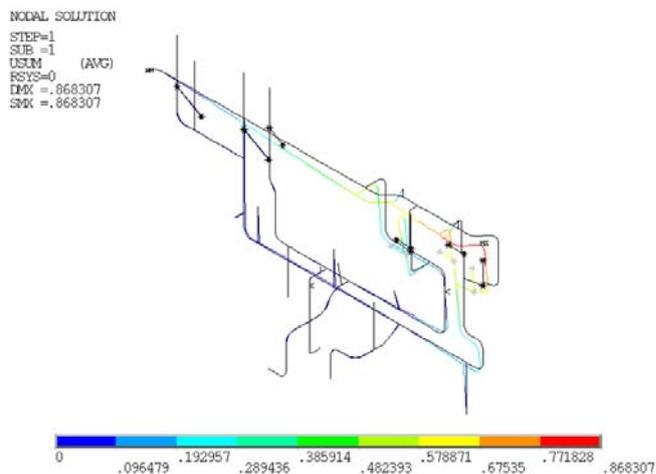


Рис. 6. Первая форма колебаний трубопровода (исходного вариант).

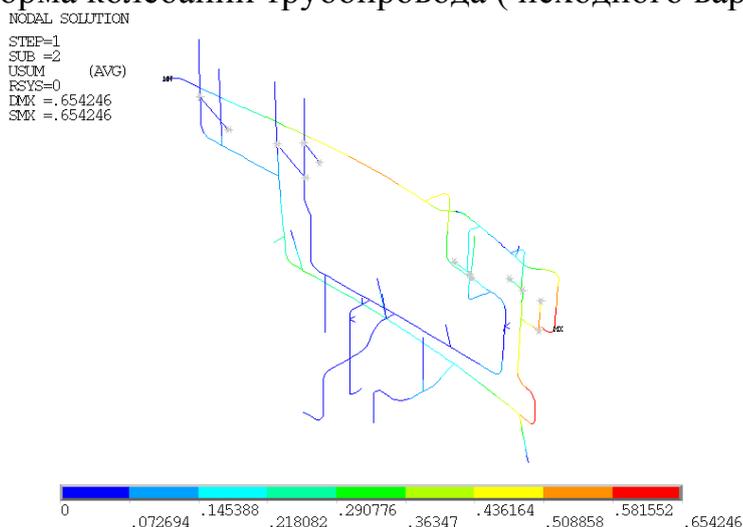


Рис. 7. Вторая форма колебаний трубопровода (исходного вариант).



Рис. 8. Четвертая форма колебаний трубопровода (исходного вариант).

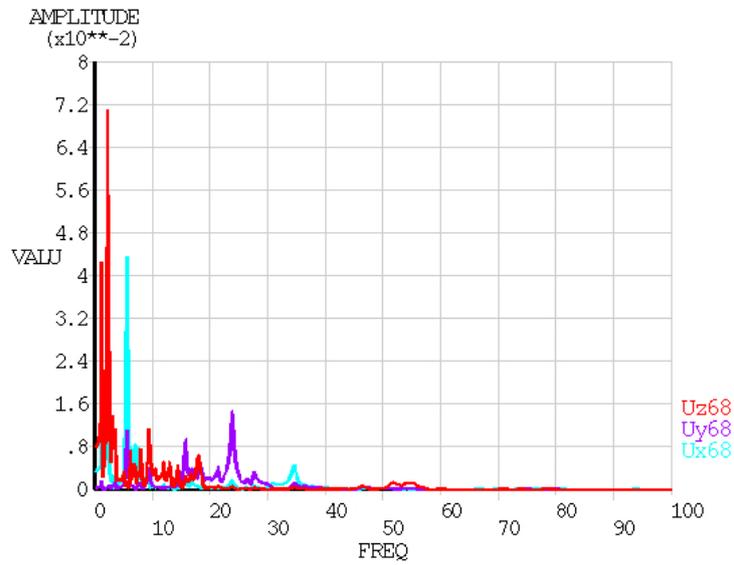


Рис. 9. Расчетная АЧХ спектра виброперемещений в сечении 68.

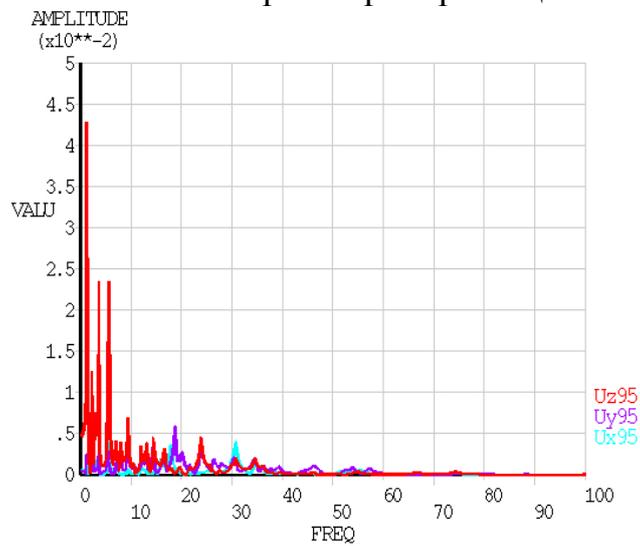


Рис. 10. Расчетная АЧХ спектра виброперемещений в сечении 95.

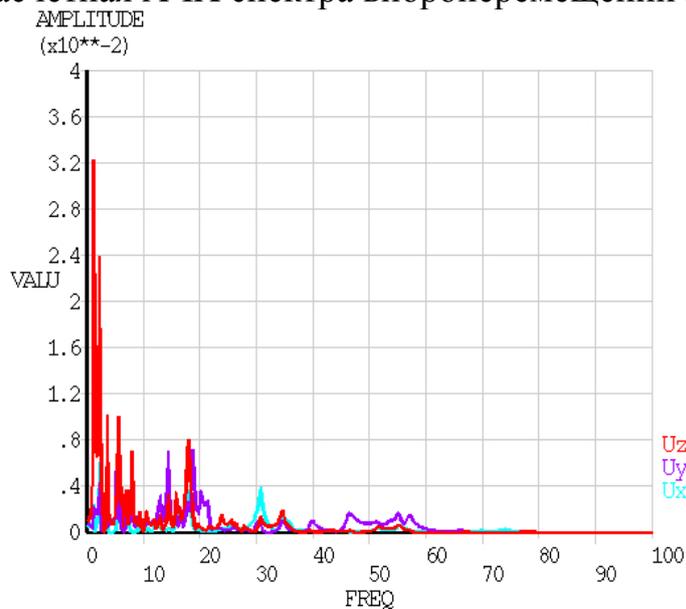


Рис. 11. Расчетная АЧХ спектра виброперемещений в сечении 103.

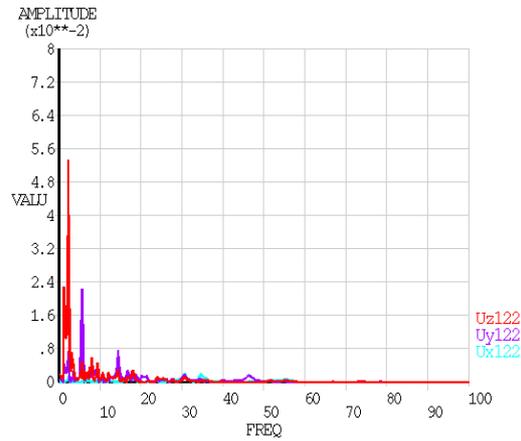


Рис. 12. Расчетная АЧХ спектра виброперемещений в сечении 122.

На рис.13 представлена аксонометрическая схема рационального размещения дополнительных опор, позволяющих снизить амплитуды колебаний до безопасного уровня. Дополнительные жесткости позволили провести отстройку от резонанса. На рисунках 14-16 представлены формы собственных колебаний конструкции после установки дополнительных опор. Как видно из расчетных АЧХ трубопровода САОЗ представленных на рис.17-20 амплитуды виброперемещений снизились на порядок, а частоты возбуждения вне собственных частот системы.

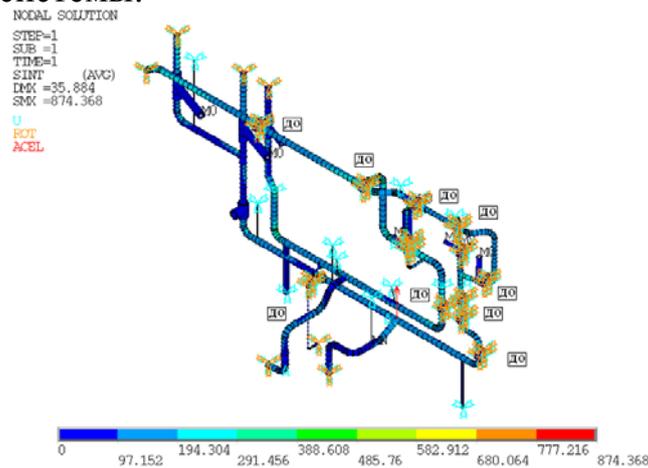


Рис.13. Аксонометрическая схема трубопровода САОЗ 1 системы безопасности (установка дополнительных антивибрационных опор).

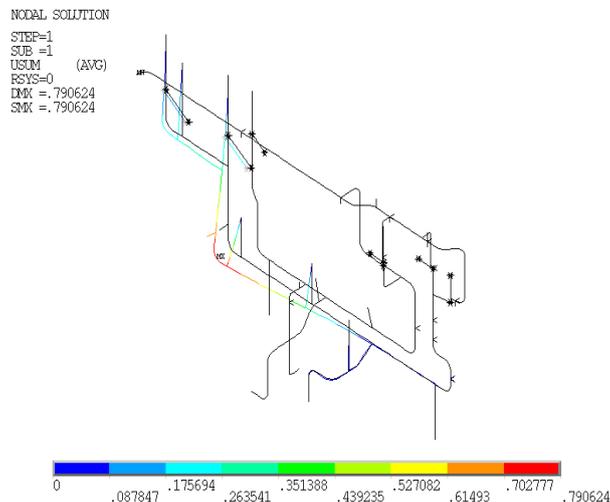


Рис.14. Первая форма колебаний трубопровода (дополнительные опоры).



Рис.15. Вторая форма колебаний трубопровода (дополнительные опоры).

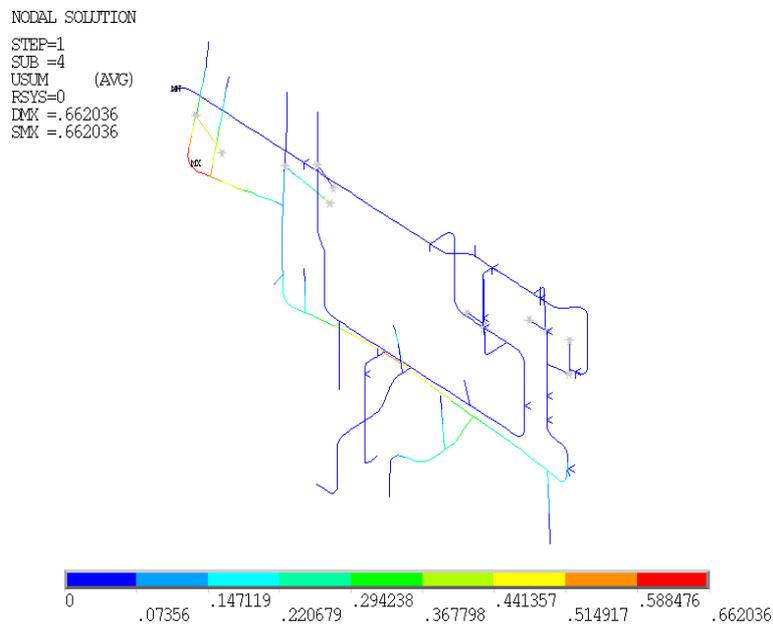


Рис.16. Четвертая форма колебаний трубопровода (дополнительные опоры).

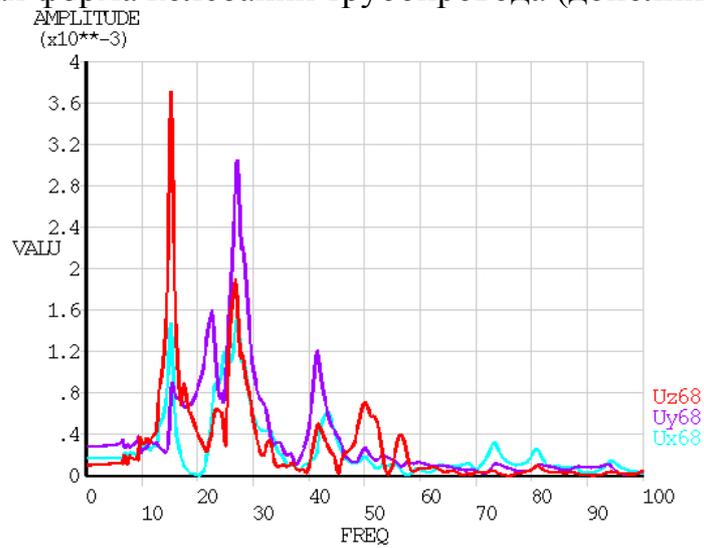


Рис. 17. Расчетная АЧХ спектра виброперемещений в сечении 68.

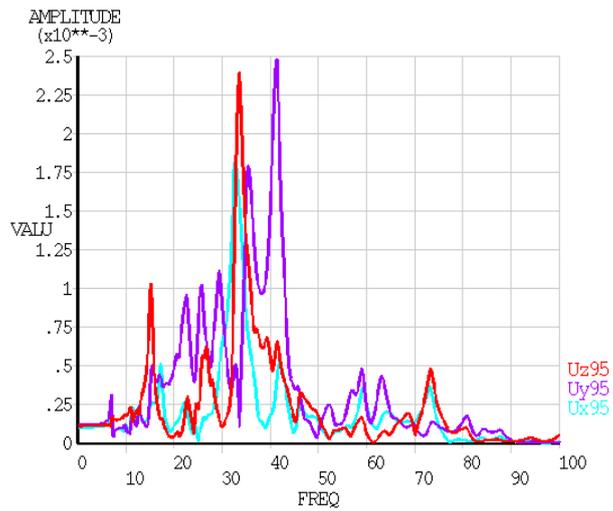


Рис. 18. Расчетная АЧХ спектра виброперемещений в сечении 95.

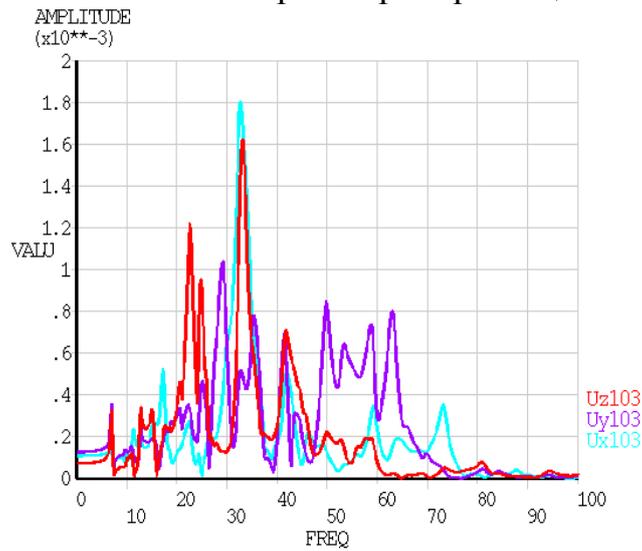


Рис. 19. Расчетная АЧХ спектра виброперемещений в сечении 103.

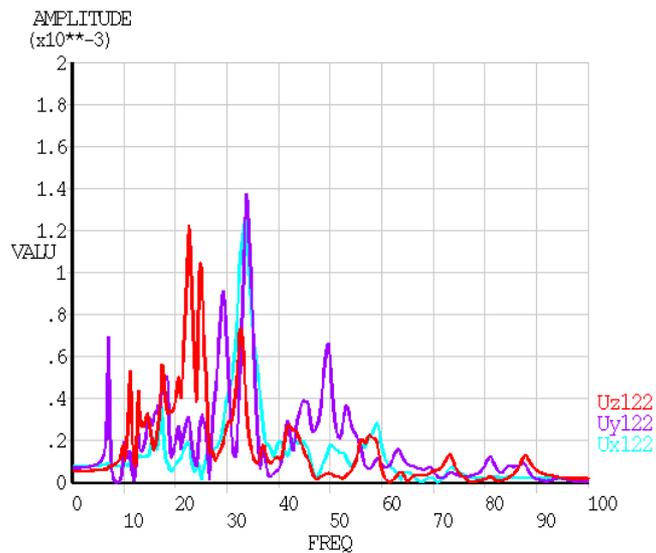


Рис. 20. Расчетная АЧХ спектра виброперемещений в сечении 122.

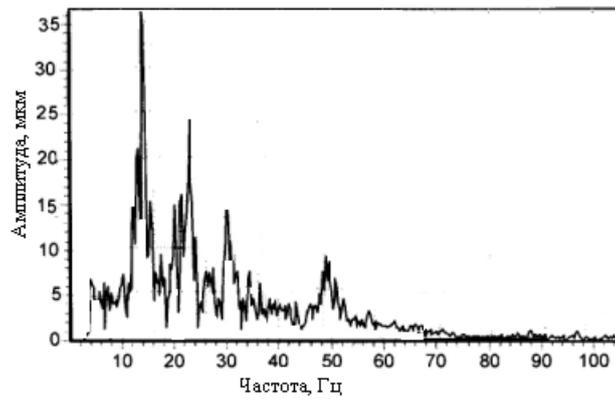


Рис.21. Экспериментальная АЧХ виброперемещений сечения 68.

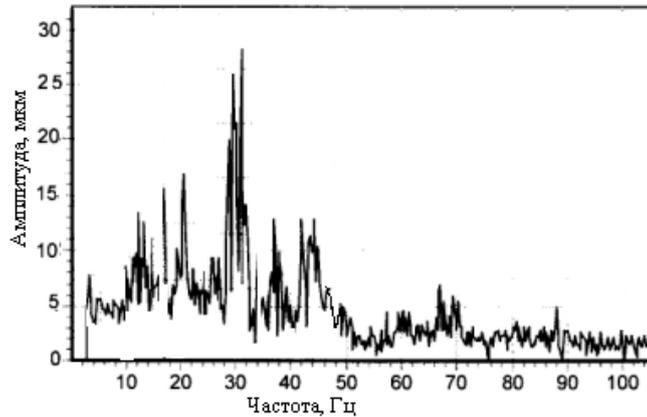


Рис.22. Экспериментальная АЧХ виброперемещений сечения 95.

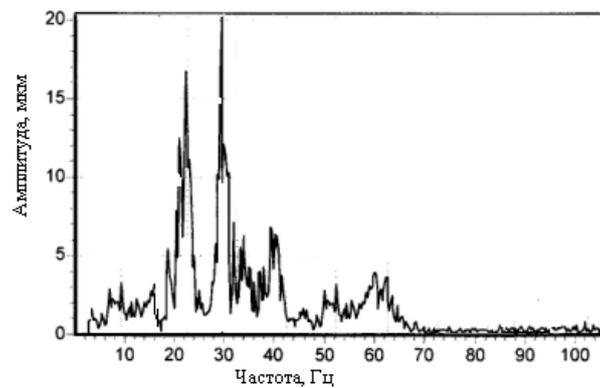


Рис.23. Экспериментальная АЧХ виброперемещений сечения 103.

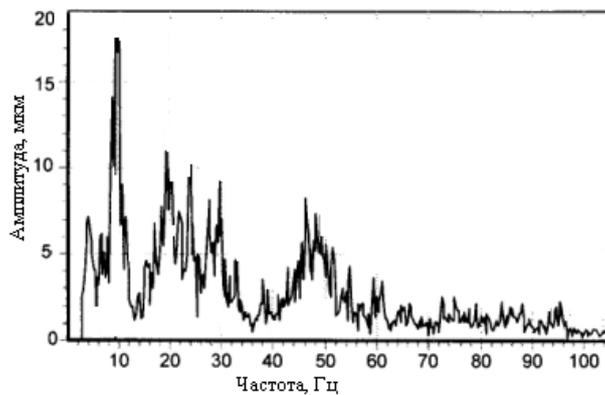


Рис.24. Экспериментальная АЧХ виброперемещений сечения 122.

На рис. 21-24 после представлены экспериментальные АЧХ трубопровода САОЗ после установки дополнительных опор. Расчетные АЧХ и данные

измерения говорят о большой сходимости результатов который не превышает 10%.

Выводы.

Решена задача о собственных и вынужденных колебаниях трубопровода, определены его максимальные перемещения трубопровода, проведена отстройка от резонанса, вызываемого пульсациями давления, что позволило снизить усталостные напряжения, путем рационального размещения опор и введения дополнительного трения на трубопроводе.

Проведенная работа позволяет усовершенствовать нормативное обеспечение, определяющие амплитудно-частотные зависимости, подверженных колебаниям трубопроводных систем атомных станций.

Список литературы: 1. Загальні положення забезпечення безпеки атомних станцій. НД 306.2.141-2008. 2. ОП 0.00-1.11 "Правила будови і безпечної експлуатації трубопроводів пари та гарячої води". 3. Техническая эксплуатация электрических станций и сетей. Правила. ГКД 34.20.507-2003. 4. Правила устройства и безопасной эксплуатации оборудования трубопроводов атомных энергетических установок. ПН АЭ Г-7-008-89. 5. Лещинский Г.А., Полищук С.М. Измерение переменного давления двухфазного потока в дренажных трубопроводах турбоустановок // Энергетика и электрификация. – 1982. - №2. – С. 12-14.