



Федеральная служба
по экологическому, технологическому и атомному надзору
(Ростехнадзор)



Федеральное бюджетное учреждение
«Научно-технический центр по ядерной и радиационной безопасности»
(ФБУ «НТЦ ЯРБ»)

Экспертный совет по аттестации программ для ЭВМ при Ростехнадзоре



АТТЕСТАЦИОННЫЙ ПАСПОРТ ПРОГРАММЫ ДЛЯ ЭЛЕКТРОННЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МАШИН

«Программный комплекс «dPIPE 5»

регистрационный № 265 от 20.10.2019

выдан Обществу с ограниченной ответственностью «ЦКТИ-Вибросейсм» (ООО «ЦВС»).

Юридический адрес: 195220, г. Санкт-Петербург,
ул. Гжатская, д.9, лит. А

срок действия 23.09.2029 (при соблюдении условий, установленных
в пункте 5 настоящего аттестационного паспорта)

Заместитель директора ФБУ «НТЦ ЯРБ»,
Председатель Экспертного совета
по аттестации программ для ЭВМ
при Ростехнадзоре, канд. техн. наук



С.Н. Богдан

ETSON

EUROPEAN
TECHNICAL SAFETY
ORGANISATIONS
NETWORK



Система
менеджмента
ISO 9001:2015



www.tuv.com
ID 910568067

1. Общие сведения

1.1. Правообладатель программы для ЭВМ

Правообладатель - Общество с ограниченной ответственностью «ЦКТИ-Вибросейсм» (свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2010611497).

1.2. Авторы программы для ЭВМ

Берковский Алексей Маратович, Васильев Петр Станиславович, Киреев Олег Борисович, Попович Игорь Васильевич, Юдин Григорий Израилевич.

1.3. Сведения о регистрации и тестировании программы для ЭВМ и ее компонентов

Программа для ЭВМ «dPIPE 5» прошла тестирование и зарегистрирована в ОФАП-ЯР рег. № 638 от 25.12.2008.

1.4. Сведения о ранее выданных аттестационных паспортах ПС

Настоящий аттестационный паспорт выдан взамен аттестационного паспорта программы для ЭВМ «dPIPE 5» рег. № 265 от 23.09.2009 по истечении срока его действия. Эксперты, проводившие экспертизу программы для ЭВМ в 2009 году: В.С. Рубцов, канд. техн. наук, ФБУ «НТЦ ЯРБ»; В.В. Ткачев, канд. техн. наук, НИЦ «Курчатовский институт»; Белостоцкий А.М., ЗАО НИЦ СтаДиО, д-р техн. наук.

1.5. Специалисты, проводившие анализ и оценку программы для ЭВМ

Рубцов В.С., канд. техн. наук, ФБУ «НТЦ ЯРБ».

2. Назначение и область применения программы для ЭВМ

2.1. Назначение программы для ЭВМ

Программа для ЭВМ предназначена для расчета напряженно-деформированного состояния (НДС) трубопроводов атомных станций (АС) под действием следующих нагрузок и их сочетаний:

внутреннее давление;

сосредоточенная и распределенная весовая нагрузка;

усилия компенсации (нагрузки, вызываемые температурными расширениями трубопровода и присоединяемого оборудования);

сейсмические нагрузки, заданные в виде спектров ответа в терминах ускорений;

сейсмические нагрузки, заданные в виде акселерограмм;

динамические нагрузки, заданные в виде сосредоточенных в узлах расчетной модели сил, переменных по времени и произвольных по направлению.

Программа для ЭВМ позволяет проводить расчет трубопроводов (вычисление расчетных напряжений категорий $((\sigma)_2, (\sigma)_{RK}, (\sigma_{aF})_K)$) на статические нагрузки и сейсмические воздействия в соответствии с Приложением 5 ПНАЭ Г-7-002-86.

Сравнение расчетных напряжений с допускаемыми (оценка прочности) производится в соответствии с разделами 5.4 (расчет на статическую прочность), 5.9 (расчет на длительную статическую прочность), 5.6 (расчет на циклическую прочность), 5.11 (расчет на сейсмические воздействия) ПНАЭ Г-7-002-86.

При расчете высокотемпературных трубопроводов программа позволяет осуществлять процедуру учета релаксации усилий компенсации температурных расширений в соответствии с подходами, принятыми в РД 10-249-98 "Нормы расчета на прочность стационарных котлов и трубопроводов пара и горячей воды".

2.2. Область применения программы для ЭВМ по типу объекта использования атомной энергии

Трубопроводы АС, попадающие под область действия ПНАЭ Г-7-002-86 (раздел 1.1).

2.3. Режимы эксплуатации объекта использования атомной энергии

Статические воздействия (вес, давление, температура, заданные смещения опорных узлов) при нормальных условиях эксплуатации (НУЭ) и при нарушении нормальных условий эксплуатации (ННУЭ). Динамические воздействия при нарушениях нормальной эксплуатации, землетрясении, падении самолета, промышленных взрывах.

2.4. Область применения программы для ЭВМ по условиям и параметрам расчета

Диапазон изменения параметров - малые перемещения в упругой области. Нелинейная работа элементов крепления трубопроводов рассматривается как при статическом воздействии (учет сил трения в опорах скольжения, односторонние связи, отклонение подвесок от вертикального положения), так и при динамическом воздействии в рамках расчета по МДА (включающиеся связи, механические и гидравлические амортизаторы). При динамических расчетах число форм собственных колебаний системы, включающихся в анализ, должно быть достаточно полным, чтобы корректно описать движение системы в районе нелинейных элементов крепления.

Степень дискретизации конечно-элементной модели при проведении статических расчетов отражает основные геометрические характеристики трубопроводной системы, места изменения сечений, расположения опор и сосредоточенных параметров. Для определения мест максимальных перемещений и напряжений расстояние между узлами расчетной модели рекомендуется принимать не менее пяти диаметров текущего сечения трубопровода.

При проведении динамических расчетов, к вышеуказанным рекомендациям добавляется критерий обеспечения минимальной парциальной частоты создаваемой модели для точного определения частот в диапазоне до максимальной частоты (FMAX), рассматриваемой в анализе. Рекомендуется, чтобы минимальная парциальная частота модели была в 2,5 – 3 раза выше

частоты FMAX. Для этого соответствующим образом подбирается максимальная длина пролета трубопровода.

Шаг интегрирования при динамическом расчете по МДА задается меньшим или равным одной двадцатой наименьшего периода собственных колебаний системы, что обеспечивает безусловную сходимость решения.

И статический, и динамический анализ предполагают работу трубопровода в упругой области. Расчет напряжений в отводах и тройниках производится в соответствии с п. 2.3.1 Приложения 5 ПНАЭ Г-7-002-86. Уточненные методики п.п. 2.8 и 2.9 в программе для ЭВМ не реализованы.

Ограничения по размерности решаемых задач определяется размерами доступной оперативной памяти и дискового пространства. Опыт эксплуатации программы для ЭВМ продемонстрировал возможность решения задач со следующими максимальными размерностями:

максимальное число элементов: 2000;

максимальное число упругих подвесок: 300;

максимальное число анкерных опор: 300;

максимальное число произвольных опор: 300;

максимальное число сосредоточенных весовых нагрузок: 300.

Программа для ЭВМ не предназначена для моделирования волновых явлений при ударных процессах.

2.5. Погрешность, обеспечиваемая программой для ЭВМ в области ее применения

Точность практических расчетов определяется:

точностью решения рассматриваемой задачи в области малых деформаций и перемещений;

неопределенностью физико-механических характеристик материалов;

неопределенностью геометрических размеров, весовых характеристик конструкции и параметров нагружения;

величиной шага интегрирования при расчетах методом динамического анализа;

числом форм собственных колебаний, учитываемых при расчетах линейно-спектральным методом или методом модального интегрирования.

Максимальная погрешность решения на основании сопоставления результатов расчета с теоретическими и экспериментальными данными по параметрам напряженно-деформированного состояния не превышает 15 %.

3. Сведения о методиках расчета, реализованных в программе для ЭВМ

В программе для ЭВМ используется метод конечных элементов (КЭ) в форме перемещений. За основные неизвестные приняты перемещения узловых точек конечно-элементной модели.

В программе для ЭВМ используются три основных типа конечных элементов: прямолинейная балка кольцевого и произвольного сечения, криволинейная балка кольцевого сечения и упругий элемент. Все перечисленные элементы являются двух узловыми и имеют по шесть степеней свободы в каждом узле.

Для моделирования и соответствующего отображения специфических узлов и деталей трубопроводов в программе для ЭВМ используется набор сервисных элементов, представление которых в рамках расчетной модели сводится к описанным выше трем основным КЭ. С помощью этих сервисных элементов моделируются: прямая труба, отвод, переход, жесткая связь, арматура (задвижка), компенсатор, упругий элемент, балка, монтажная растяжка.

Учет нелинейных опорных связей при статическом расчете осуществляется с использованием итерационной процедуры.

Для определения собственных частот и форм колебаний трубопровода используется метод Ланцоша.

Расчет на сейсмическое воздействие выполняется методом динамического анализа или линейно-спектральным методом.

При выполнении расчетов линейно-спектральным методом суммирование ответных модальных параметров по одному пространственному направлению сейсмического воздействия возможно по следующим правилам: среднеквадратичное суммирование, десятипроцентное суммирование, суммирование по правилу СQC (метод полных квадратов). В случае многоопорного воздействия комбинация откликов по группам опор производится либо по среднеквадратичному правилу, либо путем абсолютного суммирования. Суммирование ответных параметров по пространственным направлениям сейсмического воздействия осуществляется по среднеквадратичному правилу. Учет высших форм колебаний осуществляется методом статической коррекции.

В рамках метода динамического анализа реализована процедура модального интегрирования уравнений движения трубопроводной системы с учетом демпферных опор (в том числе с учетом непропорционального демпфирования), механических и гидравлических амортизаторов, а также опор с включающимися связями (упоры с зазорами). Общее демпфирование в системе рассматривается как модальное демпфирование, общее для всех форм колебаний. Учет нелинейных свойств опорных связей для несвязанной системы модальных уравнений осуществляется через вектор нелинейных модальных сил.

4. Сведения о базах данных (библиотеках констант), используемых в программе для ЭВМ

Все исходные данные, необходимые для проведения расчета, задаются пользователем программы для ЭВМ (встроенные базы данных или библиотеки констант в программе для ЭВМ отсутствуют).

5. Особые условия

Настоящий аттестационный паспорт программы для ЭВМ действует до даты выхода приказа Ростехнадзора об отмене действия документа ПНАЭ Г-7-002-86.

6. Дополнительная информация

Минимальные системные требования к ЭВМ для проведения расчетов по программе для ЭВМ:

операционная система WINDOWS 2000/XP и выше;

свободное дисковое пространство – не менее 64 Мб;

оперативная память – не менее 128 Мб.

7. Организации, специалисты которых прошли обучение по применению программы для ЭВМ

АО «АТОМПРОЕКТ»;

АО «Атомэнергопроект»;

АО «Зарубежэнергопроект»;

АО «ОКБМ Африкантов»;

АО «Северное ПКБ»;

АО ИК «АСЭ»;

АО ОКБ «ГИДРОПРЕСС»;

ОАО «Калужский турбинный завод»;

ООО «ААЭМ»;

ООО «Петро-Металл»;

ООО «Ресурс»;

ООО «СТИКО»;

ООО «ЦВС»;

ПАО «НПП «Компенсатор»;

ПАО «Силовые машины»;

ПАО «Турбоатом».

8. Перечень документов, сопровождавших экспертизу программы для ЭВМ

Обращение ООО «ЦКТИ-Вибросейсм» о переоформлении аттестационного паспорта рег. № 265 от 23.09.2009 по истечении срока его действия (письмо от 03.04.2019 № ВС-005/93).

Программный Комплекс для прочностных расчетов трубопроводов при действии эксплуатационных и сейсмических нагрузок dPIPE 5. Отчет о верификации, редакция 4, ООО «ЦКТИ-Вибросейсм», арх. № VR01-07/A, Санкт-Петербург, 2017.

Решение секции № 4 «Прочность и ресурс элементов, оборудования, систем» Экспертного совета по аттестации программ для ЭВМ при Ростехнадзоре по составу группы экспертов (протокол заседания от 26.09.2019 № 6/с4-2019) о переоформлении аттестационного паспорта программы для ЭВМ «dPIPE 5» рег. № 265 от 23.09.2009 по истечении срока его действия.

Решение Президиума Экспертного совета по аттестации программ для ЭВМ при Ростехнадзоре (протокол заседания от 20.11.2019 г. № 76).

Ученый секретарь Экспертного
совета по аттестации программ
для ЭВМ при Ростехнадзоре,
канд. техн. наук

С.А. Шевченко

Председатель секции № 4 «Прочность и
ресурс элементов, оборудования, систем»
Экспертного совета по аттестации
программ для ЭВМ при Ростехнадзоре,
канд. техн. наук

В.С. Рубцов