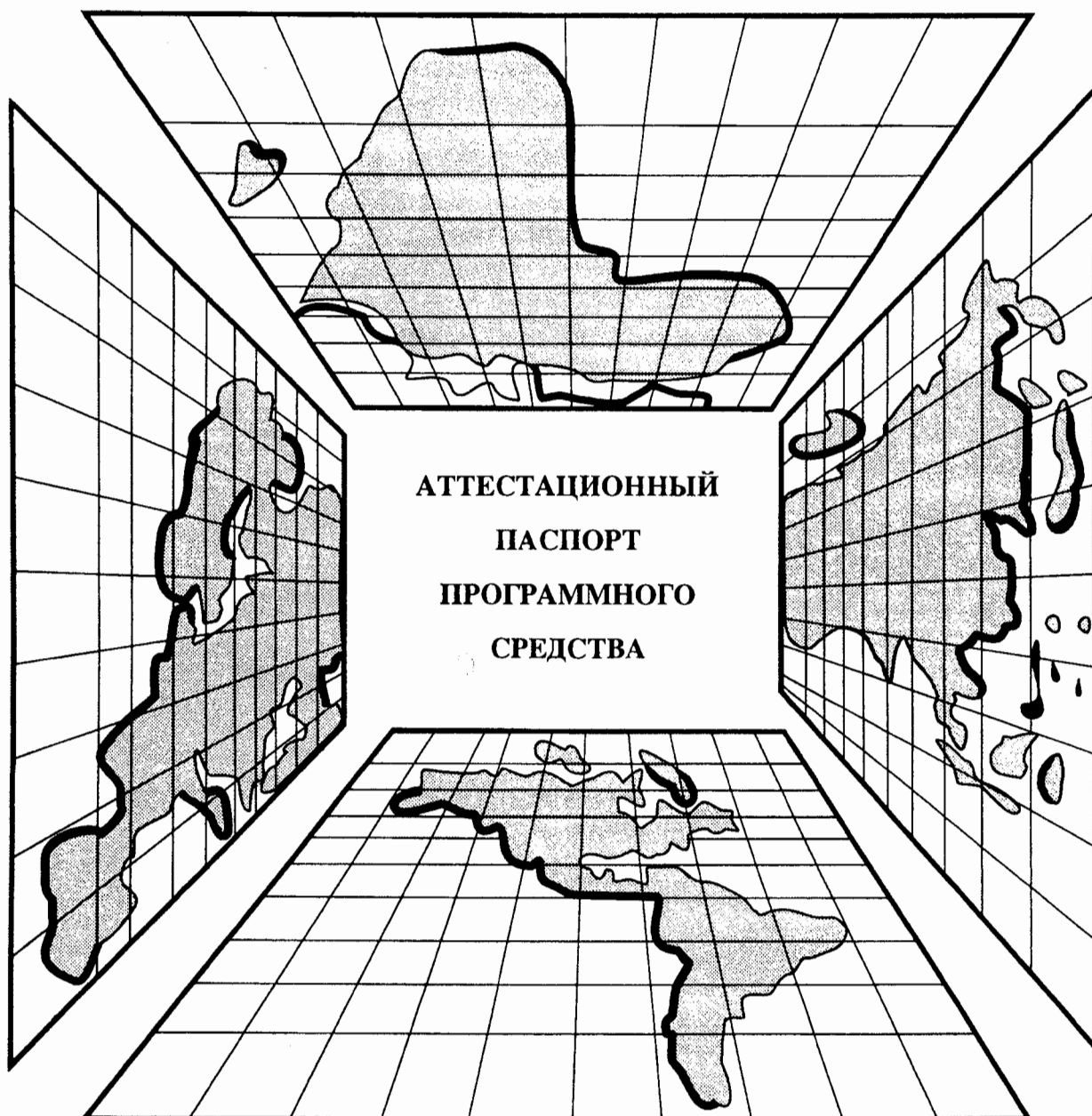


**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА ПО ЭКОЛОГИЧЕСКОМУ,  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМУ И АТОМНОМУ НАДЗОРУ**



**НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЦЕНТР  
ПО ЯДЕРНОЙ И РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ**



**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА ПО ЭКОЛОГИЧЕСКОМУ,  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМУ И АТОМНОМУ НАДЗОРУ**

**Федеральное государственное учреждение  
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЦЕНТР ПО ЯДЕРНОЙ И РАДИАЦИОННОЙ  
БЕЗОПАСНОСТИ**

**АТТЕСТАЦИОННЫЙ ПАСПОРТ ПРОГРАММНОГО СРЕДСТВА**

Регистрационный номер депонированного ПС      638	Регистрационный номер аттестационного паспорта ПС      265
Дата регистрации      25.12.2008	Дата выдачи      23.09.2009

**Название ПС, версия ПС:** Программный комплекс dPIPE 5

**Операционная система:** WINDOWS 2000/XP

**Язык (языки) программирования:** FORTRAN, C++

**Имя автора (авторов):** А.М. Берковский, П.С. Васильев, О.Б. Киреев,  
И.В. Попович, Г.И. Юдин

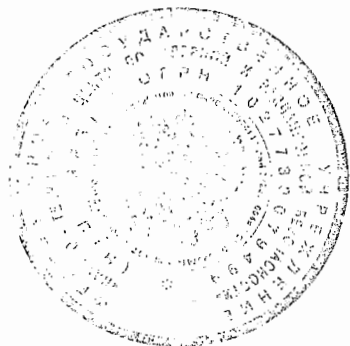
**Разработчик:** ООО «ЦКТИ-ВИБРОСЕЙСМ»

**Заявитель:** ООО «ЦКТИ-ВИБРОСЕЙСМ»

**Решение Экспертного Совета:** Аттестовать программный комплекс dPIPE 5  
на срок 10 лет

**Приложение:** на 5 стр.

**Председатель Экспертного Совета  
по аттестации ПС  
при Ростехнадзоре**



*Уголева*

И.Р. Уголева

# ПРИЛОЖЕНИЕ К АТТЕСТАЦИОННОМУ ПАСПОРТУ № 265

## Программный комплекс dPIPE 5

### 1. Перечень регистрируемых программных модулей, их регистрационные номера

Отдельно регистрируемых модулей комплекс dPIPE 5 не содержит.

### 2. Назначение и область применения ПС

#### 2.1. Назначение

Программный комплекс (ПК) dPIPE 5 предназначен 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;
- сейсмических нагрузки, заданные в виде акселерограмм;
- динамические нагрузки, заданные в виде сосредоточенных в узлах расчетной модели сил, переменных по времени и произвольных по направлению.

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

При расчете высокотемпературных трубопроводов ПК 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. Тип объекта использования атомной энергии

Трубопроводы АС, попадающие под область распространения Норм ПНАЭ Г-7-002-86 (раздел 1)



### 2.3. Моделируемые режимы

Статические воздействия (вес, давление, температура, заданные смещения опорных узлов) при нормальных условиях эксплуатации (НУЭ) и при нарушении нормальных условиях эксплуатации (ННУЭ).

Динамические воздействия при нарушениях нормальной эксплуатации, землетрясении, падении самолета, промышленных взрывах.

### 2.4. Ограничения на применение

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 Норм ПНАЭ Г-7-002-86. Уточненные методики п.п. 2.8 и 2.9 того же документа в ПК не реализованы.

Минимальные требования к ЭВМ:

- операционная система WINDOWS 2000/XP
- свободное дисковое пространство - не менее 64 Мб
- оперативная память - не менее 128 Мб

Ограничения по размерности решаемых задач определяются размерами доступной оперативной памяти и дискового пространства. Опыт эксплуатации ПК продемонстрировал успешное решение 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

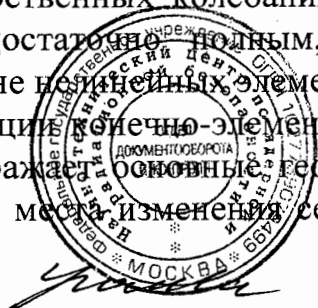
ПК не предназначен для моделирования волновых явлений при ударных процессах.

### 2.5. Допустимые значения параметров

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 в рамках расчета методом динамического анализа (МДА) при динамическом воздействии (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 требованиям добавляется критерий обеспечения минимальной парциальной частоты создаваемой модели для точного определения частот в диапазоне до максимальной частоты ( $F_{MAX}$ ), рассматриваемой в анализе. Рекомендуется, чтобы минимальная парциальная частота модели была в 2,5 – 3 раза выше частоты  $F_{MAX}$ . 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.

## 2.6. Погрешность, обеспечиваемая в области допустимых значений параметров

Точность практических расчетов определяется:

- точностью решения рассматриваемой задачи в области малых деформаций и перемещений;
- точностью задания физико-механических характеристик материалов;
- точностью задания геометрических размеров, весовых характеристик конструкции и параметров нагружения;
- величиной шага интегрирования при расчетах методом динамического анализа;
- числом форм собственных колебаний, учитывающихся 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, используемых в ПС

При расчете используется метод конечных элементов (КЭ) в форме перемещений. За основные неизвестные приняты перемещения узловых точек конечно-элементной модели.

В ПК используются три основных типа конечных элементов: прямолинейная балка кольцевого и произвольного сечения, криволинейная балка кольцевого сечения и стержневой элемент. Все перечисленные элементы являются двухузловыми и имеют по шесть степеней свободы в каждом узле.



Для моделирования и соответствующего отображения специфических узлов и деталей трубопроводов ПК dPIPE 5 использует 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 SQC (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 МДА 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 ПС**

Программа не использует встроенные базы данных (библиотеки констант). Все исходные параметры, необходимые для расчета, задаются в процессе подготовки исходных данных.

#### **5. Перечень организаций, эксплуатирующих ПС**

- ООО «ЦКТИ- ВИБРОСЕЙСМ»
- ОАО «СПБАЭП»
- ОАО ОКБ «ГИДРОПРЕСС»



- ОАО «Атомэнергопроект»
- ОАО «Калужский турбинный завод»
- ОАО «Головной институт «ВНИПИЭТ»
- Калининский филиал «Калининатомтехэнерго» ОАО «Атомтехэнерго»
- ООО «Ресурс»
- ОАО «НПО ЦКТИ»
- ООО «ЭнергоНефтеХимПроект»
- ОАО «Нижегородская инжиниринговая компания «АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ»
- ООО "Научно-производственное предприятие "Подъемные сооружения"

## 6. Дополнительная информация

Нет.

## 7. Особые условия

Программное средство подлежит переаттестации в случае внесения изменений в разделы 5.4, 5.6, 5.9, 5.11 и Приложения 5 ПНАЭ Г-7-002-86. В случае отмены ПНАЭ Г-7-002-86 программное средство также подлежит переаттестации.

## 8. Официальные эксперты

- Рубцов В.С., к.т.н., начальник отдела НТЦ ЯРБ
- Ткачев В.В., к.т.н., ведущий научный сотрудник ИЯР РНЦ “Курчатовский институт”
- Белостоцкий А.М., д.т.н., генеральный директор ЗАО НИЦ СтаДиО

Председатель Экспертного Совета

*Уголева*

И. Р. Уголева

Председатель Секции № 4 Экспертного Совета



Ю.И. Лихачев

УТВЕРЖДАЮ  
Председатель экспертного Совета  
по аттестации программных средств  
при Ростехнадзоре



С.Н. Богдан

“ 18 ” сентября 2015 г.

**Дополнение № 1 к приложению аттестационного паспорта от 23.09.09 № 265  
программного средства «dPIPE 5»**

*Дата введения в действие:* с момента утверждения.

*Основание:* предложение ООО «ЦКТИ-Вибросейсм» (письмо от 08.09.2015 № ВС-005/267).

**СОДЕРЖАНИЕ ДОПОЛНЕНИЯ**

*Раздел 5 «Перечень организаций, эксплуатирующих ПС» приложения к аттестационному паспорту дополнить следующей информацией:*

- ООО «Альстром Атомэнергомаш»
- ЗАО «Альянс-Гамма»
- АО «ВНИИАМ»
- АО «ВНИИАЭС»
- ОАО СПИИ «ВНИПИЭТ»
- ООО «Донэнергосервис»
- ПАО «НПП «Компенсатор»
- АО «ОКБМ Африкантов»
- ОАО «Силовые машины», Филиал «Ленинградский металлический завод»
- ООО «СТИКО»
- ПАО «Турбоатом»
- SALKO Engineering Group s.r.o.

Ученый секретарь экспертного  
Совета по аттестации  
программных средств при  
Ростехнадзоре

С.А. Шевченко

Заместитель председателя секции № 4  
«Расчеты напряженно-  
деформированного состояния и  
анализ прочности элементов  
активных зон, оборудования и  
трубопроводов ОИАЭ» экспертного  
Совета по аттестации программных  
средств при Ростехнадзоре

В.С. Рубцов



УТВЕРЖДАЮ  
Председатель  
экспертного Совета по аттестации  
программных средств при Ростехнадзоре



С.Н. Богдан

2016 г.

**Дополнение № 2  
к приложению аттестационного паспорта программного средства № 265 от  
23.09.2009 «Программа dPIPE 5»**

*Дата введения в действие:* с момента утверждения.

*Основание:* предложение ООО «ЦКТИ-ВИБРОСЕЙСМ» (письмо от 24.10.2016 № ВС-005/337).

**СОДЕРЖАНИЕ ДОПОЛНЕНИЯ**

*Раздел 5 «Перечень организаций, эксплуатирующих ПС» приложения к аттестационному паспорту дополнить следующей информацией:*

АО «НИКИЭТ», г. Москва;

Ученый секретарь экспертного  
Совета по аттестации программных  
средств при Ростехнадзоре

С.А. Шевченко

(подпись)

Заместитель председателя секции  
№ 4 «Расчеты напряженно-  
деформированного состояния и  
анализ прочности элементов  
активных зон, оборудования и  
трубопроводов ОИАЭ»  
экспертного Совета по аттестации  
программных средств при  
Ростехнадзоре

В.С. Рубцов

(подпись)

УТВЕРЖДАЮ  
Председатель  
экспертного Совета по аттестации  
программных средств при Ростехнадзоре



С.Н. Богдан

(подпись)

« 9 » 06 2017 г.

**Дополнение № 3  
к приложению аттестационного паспорта программного средства № 265 от  
23.09.2009 «Программа dPIPE 5»**

*Дата введения в действие: с момента утверждения.*

*Основание: предложение ООО «ЦКТИ-ВИБРОСЕЙСМ» (письмо от 21.05.2017 № ВС-005/172).*

**СОДЕРЖАНИЕ ДОПОЛНЕНИЯ**

*Раздел 5 «Перечень организаций, эксплуатирующих ПС» приложения к аттестационному паспорту дополнить следующей информацией:*

ЗАО «ИНЭСС», Саратовская обл., г. Балаково;

Ученый секретарь экспертного  
Совета по аттестации программных  
средств при Ростехнадзоре

(подпись)

С.А. Шевченко

Заместитель председателя секции  
№ 4 «Расчеты напряженно-  
деформированного состояния и  
анализ прочности элементов  
активных зон, оборудования и  
трубопроводов ОИАЭ»  
экспертного Совета по аттестации  
программных средств при  
Ростехнадзоре

(подпись)

В.С. Рубцов