



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

«APM Structure3D – базовый расчетный модуль программ  
для ЭВМ компании НТЦ «АПМ», версия 16»  
(APM Structure3d 16)

регистрационный № 488 от 19.12.2019 г.

выдан

Обществу с ограниченной ответственностью Научно-технический центр «АПМ» (ООО НТЦ «АПМ»)

Юридический адрес: Россия, 141070, г. Королев,  
Московская обл., Октябрьский бульвар, д. 14, офис 6

срок действия

до 19.12.2029 г.

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



С.Н. Богдан

М.П. (подпись)

**ETSON**

EUROPEAN  
TECHNICAL SAFETY  
ORGANISATIONS  
NETWORK



Система  
менеджмента  
ISO 9001:2015



www.tuv.com  
ID 9105068067

## 1. Общие сведения

### 1.1. Правообладатель программы для ЭВМ

Общество с ограниченной ответственностью Научно-технический центр «АПМ». Свидетельство о государственной регистрации № 2019615215 от 22.04.2019 г.

### 1.2. Авторы программы для ЭВМ

Шелофаст Владимир В., Шелофаст Вадим В., Стайнова Е. Г., Сидоренко В. Ю., Прокопов В. С., Григорьев С. Г., Бутин О. В., Майоров С.В., Ростовцев М.Ю.

### 1.3. Сведения о регистрации и тестировании программы для ЭВМ и её компонентов

Программа для ЭВМ прошла тестирование в ФБУ «НТЦ ЯРБ», акт о результатах тестирования № 17 от 16.07.2019 г.

### 1.4. Сведения о ранее выданных аттестационных паспортах программы для ЭВМ

Аттестационный паспорт рег. № 330 от 18.04.2013 программы для ЭВМ «АРМ Structure3D» (версия 10.2). Эксперты, проводившие экспертизу программы для ЭВМ в 2013 году: Рубцов В.С., канд. техн. наук, ФБУ «НТЦ ЯРБ»; Киселев А.С., канд. техн. наук, НИЦ «Курчатовский институт»; Курков С.В., канд. техн. наук, НТП «Динамика и прочность»; Семишкин В.П., д-р техн. наук, АО ОКБ «ГИДРОПРЕСС».

### 1.5. Специалисты, проводившие анализ и оценку программы для ЭВМ:

Рубцов В.С., канд. техн. наук, ФБУ «НТЦ ЯРБ» (руководитель группы экспертов);

Антонов А.Ю., ФБУ «НТЦ ЯРБ»;

Киселев А.С., д-р техн. наук, НИЦ «Курчатовский институт».

## 2. Назначение и область применения программы для ЭВМ

### 2.1. Назначение программы для ЭВМ

Программа для ЭВМ предназначена для расчёта напряженно-деформированного состояния при статическом и динамическом нагружении, статической устойчивости, частот и форм собственных колебаний оборудования и трубопроводов ОИАЭ. Расчётными параметрами являются:

перемещения (линейные/угловые);

деформации (линейные/угловые);

внутренние усилия (силы/моменты);

напряжения;

реактивные силы/моменты в закреплённых узлах;

напряжения и перемещения от сейсмического воздействия;

напряжения в зоне контакта двух тел, перемещения в зоне контакта;

частоты и формы собственных колебаний;

коэффициент запаса по статической устойчивости и форма потери устойчивости;

динамический отклик от переменной во времени нагрузки.

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

Не зависит от типа ОИАЭ.

2.3. Режимы эксплуатации объекта использования атомной энергии

Режимы нормальной эксплуатации, нарушения нормальной эксплуатации, включая проектные аварии.

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

Программа для ЭВМ аттестована для следующих типов конечных элементов (КЭ):

прямолинейные балочные элементы, имеющие постоянное сечение по длине, работающие на растяжение-сжатие, изгиб и кручение;

прямолинейные ферменные стержневые элементы, имеющие постоянное сечение по длине, работающие на растяжение-сжатие;

прямолинейные и изогнутые трубчатые элементы, заполненные средой, имеющие постоянное сечение по длине, работающие на растяжение-сжатие, изгиб, температура и кручение, а также внутреннее и внешнее давление;

плоские оболочечные элементы (четырёхузловые и трёхузловые элементы без учёта деформации поперечного сдвига);

объемные конечные элементы: изопараметрические - линейные четырехузловые (тетраэдрические), пятиузловые (четырёхугольная пирамида), шестиузловые (треугольная призма) и восьмиузловые (гексаэдры); элементы второго порядка - десятиузловые (тетраэдрические), тринадцатиузловые (четырёхугольная пирамида), пятнадцатиузловые (треугольная призма), двадцатиузловые (гексаэдры). Элементы второго порядка имеют дополнительные узлы в середине каждого из ребер;

произвольные комбинации балочных, твердотельных и оболочечных типов конечных элементов.

Рассчитываемая модель объекта в программе для ЭВМ:

геометрически неизменяема, т.е. изменение положения конечных элементов, с помощью которых моделируется объект, невозможно без их деформации;

закреплена таким образом, чтобы исключить ее перемещение и поворот в пространстве как жесткого целого.

Конструкционный материал:

изотропный с линейной зависимостью напряжений от деформаций;

принимается для диапазона значений температуры, в котором его параметры соответствуют линейно-упругой области;

Программа для ЭВМ не предназначена для расчета собственных частот и вынужденных колебаний в неупругих средах (жидкостях) и в нелинейных системах.

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

Значения погрешностей результатов расчётов по программе для ЭВМ зависят от:

типа применяемого конечного элемента;

ограничений, накладываемых теорией (сопротивления материалов и теорией упругости) на определенный тип конечного элемента;

неопределенности расчетной сетки конечных элементов;

неопределенности физико-механических свойств конструкционных материалов;

неопределённости геометрических размеров рассчитываемой модели объекта (отклонение от размеров реальной конструкции);

погрешностей математических методик решения систем линейных уравнений.

При учете требований по качеству расчетной сетки конечных элементов, при принятии точных геометрических размеров рассчитываемой модели объекта и механических свойств конструкционных материалов, погрешность расчётов следующих параметров по программе для ЭВМ не превышает:

Параметр	Значение погрешности, %
Перемещения и углы поворота (при статических расчетах)	$\pm 5,7$
Усилия (при статических расчетах)	$\pm 6,3$
Напряжения (при статических расчетах)	$\pm 6,9$
Напряжения и перемещения (при сейсмических воздействиях)	$\pm 16$
Собственные частоты колебаний	$\pm 10$
Коэффициент запаса по устойчивости	$\pm 8$
Перемещения (при геометрически нелинейном расчете)	$\pm 15$
Напряжения и перемещения в зоне контакта	$\pm 25$
Силовые факторы (при геометрически нелинейном расчете)	$\pm 12$

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

В программе для ЭВМ реализованы общие подходы и принципы метода конечных элементов в перемещениях.

Статические воздействия включают в себя: нагрузки от собственного веса (с учетом произвольного множителя), давления, ускорения; сосредоточенные в узлах силовые факторы в виде векторов сил и моментов; заданные кинематические условия в узлах – линейные перемещения и углы поворота.

Динамические воздействия включают в себя: переменные во времени сосредоточенные и распределенные силы и переменные во времени перемещения узлов конструкции. Реализовано задание сейсмических воздействий, которые являются особым видом нагрузки, результаты расчета которых пересчитываются в статическую нагрузку с использованием линейно-спектральной методики.

Расчёт напряженно-деформированного состояния выполняется в программе для ЭВМ как в геометрически линейной постановке, так и с учётом геометрической нелинейности.

Для решения контактных задач в программе для ЭВМ используются специальные контактные элементы, обеспечивающие передачу усилий в контакте. Данные контактные элементы не учитывают трение в контакте.

Решение системы линейных уравнений осуществляется в программе для ЭВМ методом исключения Гаусса и его модификациями, например, фронтальным методом, а также итерационными методами. Для решения проблемы собственных значений используются итерационные методы, такие как метод итерации в подпространстве и метод поиска корней детерминанта.

Для расчёта вынужденных колебаний, включая вибрацию основания, выполняется разложение уравнений движения по формам колебаний и вычисляется интеграл Дюамеля с автоматическим выбором шага, а также метод прямого интегрирования. При интегрировании уравнений движения учёт демпфирования в конструкции осуществляется в предположении частотно-независимого демпфирования. В геометрически нелинейном расчёте для поиска решения используется итерационная процедура Ньютона-Рафсона.

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

При проведении расчетов по программе для ЭВМ механические свойства материалов и стандартных сечений стержневых элементов задаются пользователем в качестве исходных данных.

### **5. Дополнительная информация**

С помощью программы для ЭВМ также имеется возможность проведения следующих типов расчетов (нижеупомянутые возможности программы для ЭВМ не верифицированы и не валидированы):

расчет нестационарной теплопроводности;

- расчет параметров механики разрушения (коэффициент концентраций, J-интеграл);
- расчет конструкций с учетом нелинейных свойств материала;
- расчет конструкций из анизотропных материалов, в том числе композитных;
- расчет конструкций на усталостную прочность при детерминированном и стохастическом характере нагружения;
- расчет железобетонных элементов;
- расчет оснований и фундаментов.

Предельные значения размерности решаемых по программе для ЭВМ задач определяются разрядностью операционной системы и объемом памяти персонального компьютера.

#### **6. Организации, специалисты которых прошли обучение по применению программы для ЭВМ**

АО «Ангарский электролизный химический комбинат»  
(АО «АЭХК»), г. Ангарск, Иркутская область;

АО «Завод энергетического оборудования Энергопоток»  
(АО «ЗЭО Энергопоток»), г. Саров, Нижегородская обл.;

АО «Уральский электрохимический комбинат»  
(АО «УЭХК»), г. Новоуральск, Свердловская обл.;

Димитровградский филиал АО «Федеральный центр ядерной и радиационной безопасности» (АО «ФЦЯРБ»), г. Димитровград, Ульяновская обл.;

ООО «Корпорация Акционерной Компании «Электросевкавмонтаж»  
(ООО «Корпорация АК «ЭСКМ»), г. Краснодар, Краснодарский край;

ООО «Ремонтно-механический завод Горно-химического комбината»  
(ООО «РМЗ ГХТ»), г. Железногорск, Красноярский край;

ООО «Современные технологии эволюционного проектирования»  
(ООО «СТЭП»), Калужская область, г. Обнинск;

ООО «Центр компьютерных технологий «Сигма»  
(ООО ЦКТ «Сигма»), г. Орел;

Федеральное государственное унитарное предприятие «Российский  
Федеральный Ядерный Центр – Всероссийский научно-исследовательский  
институт технической физики имени академика Е.И. Забабахина (ФГУП  
«РФЯЦ – ВНИИТФ им. академ. Е.И. Забабахина»), г. Снежинск, Челябинская  
обл.;

Федеральное государственное унитарное предприятие  
Российский Федеральный Ядерный Центр – Всероссийский научно-  
исследовательский институт экспериментальной физики (ФГУП «РФЯЦ –  
ВНИИЭФ»), г. Саров, Нижегородская обл.

## 7. Перечень документов, сопровождавших экспертизу программы для ЭВМ

Обращение ООО НТЦ «АПМ» о проведении экспертизы программы для ЭВМ (письмо ООО НТЦ «АПМ» № ФП-011/2019 от 15.01.2019 г.).

«Дополнения к верификационному отчету программа для ЭВМ APM Structure3D - базовый расчетный модуль программ для ЭВМ компании НТЦ «АПМ», версия 16 (APM Structure3D 16)». Отчет, ООО НТЦ «АПМ», г. Королев, М.О., 2019.

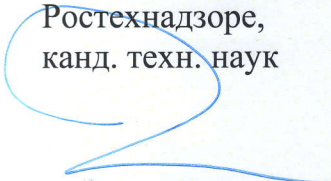
Заключение о результатах анализа обосновывающих материалов программы для ЭВМ «Экспертиза программы для ЭВМ «APM Structure3D – базовый расчетный модуль программ для ЭВМ компании НТЦ «АПМ», версия 16». Инв. № АО–203/2019. ФБУ «НТЦ ЯРБ». Москва, 2019.

«Дополнения к верификационному отчету программа для ЭВМ APM Structure3D - базовый расчетный модуль программ для ЭВМ компании НТЦ «АПМ», версия 16 (APM Structure3D 16)». Доработанный отчет, ООО НТЦ «АПМ», г. Королев, М.О., 2019.

Рекомендация секции № 4 «Прочность и ресурс элементов, оборудования, систем» Экспертного совета по аттестации программ для ЭВМ при Ростехнадзоре по составу группы экспертов и решение секции об утверждении результатов экспертизы (протокол заседания от 26.09.2019 № 6/с4-2019).

Решение Президиума Экспертного совета по аттестации программ для ЭВМ при Ростехнадзоре (протокол заседания от 19.12.2019 г. № 77).

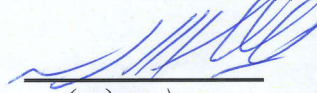
Ученый секретарь Экспертного совета  
по аттестации программ для ЭВМ при  
Ростехнадзоре,  
канд. техн. наук



(подпись)

С.А. Шевченко

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



(подпись)

В.С. Рубцов