

УДК 624.04: 621.039.58:519.686

DOI [10.37153/2618-9283-2023-1-44-53](https://doi.org/10.37153/2618-9283-2023-1-44-53)

Техническое регулирование и развитие норм проектирования

Аттестация программ для расчёта строительных конструкций объектов использования атомной энергии в Ростехнадзоре

Нефёдов Сергей Сергеевич¹, Шевченко Сергей Александрович²

¹ Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору
«Ростехнадзор». Москва, Российская Федерация

² ФБУ «Научно-технический центр по ядерной и радиационной безопасности».
Москва, Российская Федерация

Аннотация: Приводятся сведения о системе аттестации программ для ЭВМ (далее - программы), которая функционирует в системе Ростехнадзора более 30 лет. Для проведения аттестации создан мультидисциплинарный Экспертный совет, в состав которого входят тематические секции по видам расчётов. Программы для расчёта строительных конструкций рассматриваются на секции «Прочность и надёжность строительных конструкций зданий и сооружений». Задачей секций является экспертиза программ, в ходе которой оценивается правильность и точность работы программы. На основе результатов экспертизы секцией готовится проект аттестационного паспорта программы. Окончательное решение по аттестации программы принимается на Президиуме Экспертного совета с учётом результатов её экспертизы на секции.

Ключевые слова: объекты использования атомной энергии, строительные конструкции, напряжённо-деформированное состояние, прочность, надёжность, программы для ЭВМ, экспертиза, аттестация

Для цитирования: Нефёдов С.С., Шевченко С.А. Аттестация программ для расчёта строительных конструкций объектов использования атомной энергии в Ростехнадзоре // *Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений*. 2023. №1. С. 44–53.
DOI: [10.37153/2618-9283-2023-1-44-53](https://doi.org/10.37153/2618-9283-2023-1-44-53)

Technical regulation and design standards development

Certification of programs for the analysis of building constructions of nuclear energy facilities at Rostekhnadzor

Sergey S. Nefedov¹, Sergey A. Shevchenko²

¹ Federal Environmental, Industrial and Nuclear Supervision Service.
Moscow, Russian Federation

² Scientific and Engineering Centre for Nuclear and Radiation Safety.
Moscow, Russian Federation

@ Нефёдов С.С., Шевченко С.А., 2023

Abstract: In this article information is presented about system of certification of computer programs organized at Federal supervision body for nuclear and radiation safety “Rostechнадзор”. Special multidisciplinary Expert council is organized to provide this certification. This Expert council includes thematic sections for different types of analysis. Programs for analysis of civil constructions are considered in section “Strength and reliability of constructions of buildings and structures”. Section provides expertise of programs including analysis of adequacy and accuracy of program in the claimed field of analysis. On the base of results of expertise the draft of certification passport of the program is prepared for the final analysis at Presidium of Expert council.

Keywords: nuclear energy facilities, civil constructions, stress-deformation state, strength, reliability, computer programs, expertise, certification

For citation: Nefedov S.S., Shevchenko S.A. Certification of programs for the analysis of building constructions of nuclear energy facilities at Rostechнадзор. *Earthquake engineering. Constructions safety*. 2023, no. 1, pp. 44–53 (In Russian)
DOI: [10.37153/2618-9283-2023-1-44-53](https://doi.org/10.37153/2618-9283-2023-1-44-53)

Безопасность сооружений в значительной степени определяется правильностью расчёта напряжённо-деформированного состояния, прочности и устойчивости строительных конструкций. Основные расчёты строительных конструкций зданий и сооружений в настоящее время выполняются на ЭВМ. Правильность расчётов определяется адекватностью используемых программ для ЭВМ (*далее* - программы). Особое значение имеет качество программ, используемых в расчётах строительных конструкций объектов использования атомной энергии (ОИАЭ), в первую очередь тех конструкций, надёжность которых определяет ядерную и радиационную безопасность этих объектов.

В соответствии с ныне действующей редакцией Федерального закона «Об использовании атомной энергии» [1] программы, используемые для обоснований безопасности ОИАЭ, подлежат экспертизе и аттестации. Использование неаттестованных программ в расчётах по обоснованию безопасности может стать причиной замечаний при экспертизе обоснований ядерной и радиационной безопасности ОИАЭ, а также причиной отказа в выдаче лицензии Ростехнадзора на осуществление деятельности в области использования атомной энергии.

Для проведения аттестации программ при Ростехнадзоре создан Экспертный совет, который объединяет опытных программистов и специалистов, занимающихся расчетными обоснованиями безопасности, из ведущих научных, проектных и эксплуатирующих организаций атомной отрасли. Экспертный совет по аттестации программ для ЭВМ при Ростехнадзоре (*далее* – Экспертный совет) является общественным органом. Он функционирует на базе федерального бюджетного учреждения «Научно-технический центр по ядерной и радиационной безопасности» (ФБУ «НТЦ ЯРБ»), являющегося организацией научно-технической поддержки Ростехнадзора. Председателем Экспертного совета является заместитель директора ФБУ «НТЦ ЯРБ». Деятельность Экспертного совета осуществляется в соответствии с Положением об Экспертном совете по аттестации программ для электронных вычислительных машин при Федеральной службе по экологическому, технологическому и атомному надзору, утвержденным приказом Ростехнадзора от 27.12.2018 № 655.

Экспертный совет носит мультидисциплинарный характер. В его составе имеются тематические секции по различным видам расчётов – нейтронная физика,

теплогидравлика и др. Программы для расчёта строительных конструкций рассматриваются в секции № 6 «Прочность и надёжность строительных конструкций зданий и сооружений». Структура Экспертного совета показана на рис. 1.

В составе секции «Прочность и надёжность строительных конструкций зданий и сооружений» 29 специалистов из ведущих проектных и научных организаций Москвы, Санкт-Петербурга, Нижнего Новгорода и других регионов. В их числе 8 докторов наук и 12 кандидатов наук. Принцип работы секции – коллективное обсуждение и совместное принятие решений по вопросам экспертизы программ.

Инициатором или Заказчиком аттестации той или иной программы является организация, использующая данную программу при выполнении расчётов, обосновывающих безопасность ОИАЭ, либо организация-разработчик программы, желающая обеспечить условия для применения программы в таких расчётах. Для инициации процесса аттестации Заказчик обращается с соответствующим заявлением в ФБУ «НТЦ ЯРБ».

Для проведения аттестации Заказчик разрабатывает и представляет в Экспертный совет отчёт о верификации и валидации (ОВВ) программы, обосновывающий возможность применения программы в определённой области. ОВВ является основой для проведения экспертизы программы в соответствующей тематической секции. Структура ОВВ и основные требования к его содержанию регламентированы руководящим документом Ростехнадзора [2].

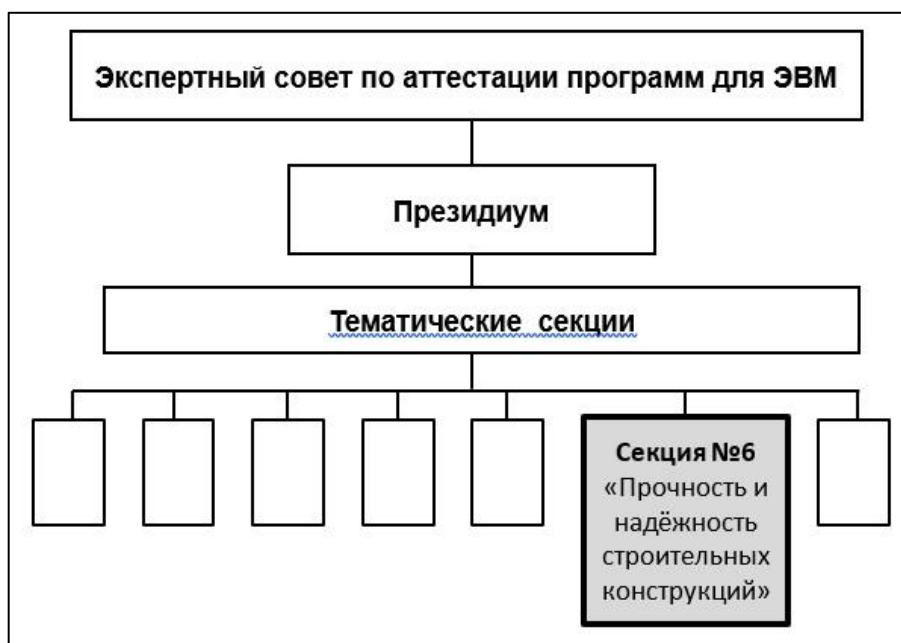


Рисунок 1 – Структура Экспертного совета по аттестации программ для ЭВМ при Ростехнадзоре

Figure 1 – Structure of the Expert council for the certification of Computer programs of Rostekhnadzor

В соответствии с [2], в ОВВ должны быть описаны назначение программы и область её применения, методика расчета и её обоснование, а также даны описания тестов, использованных для проверки работы программы и сведения о погрешностях результатов расчетов, выполняемых при обосновании безопасности ОИАЭ.

При описании назначения программы и области её применения указываются виды расчётов, выполняемых программой: расчёты напряжённно-деформированного состояния конструкций при статических или динамических воздействиях, расчёты осадок и кренов сооружений, подбор сечения и армирования конструкций и т.п. Также указываются виды рассчитываемых конструкций (балки, пластинки, массивные элементы и т.д.) и основные подходы к их моделированию: учёт геометрической и физической нелинейности, 2-D или 3-D постановка задачи.

При описании методики расчётов представляется математическая база алгоритмов, используемых программой. Для конечно-элементных программ приводятся основные зависимости для аттестуемых конечных элементов. В случае программ для физически нелинейных расчётов даётся также описание моделей материалов, заложенных в программу.

Важнейшим разделом ОВВ является описание тестов, использованных для проверки работы программы. В качестве тестов могут использоваться расчёты задач, по которым имеются аналитические решения, либо результаты экспериментов, специально поставленных или известных, открыто опубликованных в литературе данных. Также в качестве тестов могут использоваться задачи, по которым имеются решения, полученные с помощью ранее аттестованных программ (кросс-верификация).

Результаты тестирования обобщаются в форме матрицы верификации и валидации, которая представляет собой таблицу, составленную по видам расчётов. В таблице приводятся краткие описания выполненных тестов и полученные в них погрешности расчёта. На рис. 2 представлен примерный вид матрицы верификации для конечно-элементного программного пакета, предназначенного для выполнения широкого спектра расчётов строительных конструкций.

Вид расчёта	№ теста	Наименование теста	Проверяемый параметр	Погрешность %
1. Линейная статика	1.1	Консольная балка под действием распределённой нагрузки	Угол поворота	4%
	1.2	Пластина под действием собственного веса	Прогиб	5%
	1.3	Оболочка градирни под действием ветровой нагрузки	Напряжения	7%
2. Линейная динамика	2.1	Собственные колебания рамы	Частота первой формы	2%
	2.2	Расчёт плиты на удар	Напряжения	6%
	2.3	Колебания рамы при воздействии в форме спектра	Максимальное ускорение	12%
...				
...				

Рисунок 2 – Матрица верификации для конечно-элементного программного пакета по расчёту строительных конструкций

Figure 2 – Verification matrix for finite element software package for analysis of building structures

При экспертизе программ различают верификационные и валидационные контрольные тесты.

В терминологии Системы менеджмента качества [3]:

верификация – это подтверждение на основе представления объективных свидетельств того, что установленные требования были выполнены;

валидация – это подтверждение на основе представления объективных свидетельств того, что требования, предназначенные для конкретного использования или применения, выполнены.

В процессе аттестации программ в Ростехнадзоре используется подход, соответствующий определениям Международного агентства по атомной энергии (МАГАТЭ) [4], в соответствии с которым:

верификация – это процесс, имеющий целью определить, правильно ли отображает данная вычислительная модель искомую концептуальную модель или математическую модель, т.е. были ли управляющие физические уравнения и данные правильно преобразованы в компьютерные;

валидация – это процесс определения адекватности самой математической модели с точки зрения ее соответствия реальной системе, которая моделируется путем сверки основанных на данной модели прогнозов с данными наблюдений, полученными на реальной системе, или с экспериментальными данными.

Другими словами валидация – это оценка точности значений, прогнозируемых программой, в сравнении с соответствующими экспериментальными данными. В процессе валидации выявляются и оцениваются все неопределенности, аппроксимации, принятые в расчётных моделях, а также недостатки в базовой основе расчётных алгоритмов.

При аттестации верификационные тесты рассматриваются как тесты, подтверждающие, что результаты, полученные с помощью программы, соответствуют законам механики, а валидационные тесты – как тесты, подтверждающие возможность применения программы для расчетов строительных конструкций в определенной области и с оцененной погрешностью получаемых результатов.

На рис. 3 представлены примеры верификационного и валидационного тестов для некоторой конечно-элементной программы, претендующей на выполнение динамического расчёта строительных конструкций. В тесте по рис. 3а результат расчёта сравнивается с известными аналитическими решениями. Конкретного объекта в данном случае нет. Это верификационный тест. В тесте по рис. 3б результат расчёта сравнивается с результатами эксперимента, выполненного на конкретном объекте – турбогенераторе АЭС. Это валидационный тест.

Практически при экспертизе программ тесты, в которых результаты счёта сопоставляются с аналитическими решениями, рассматриваются как верификационные тесты, а тесты, в которых результаты счёта сопоставляются с результатами эксперимента, – как валидационные тесты. Наличие валидационных тестов в ОВВ весьма желательно, т.к. это повышает надёжность обоснования правильности и точности работы программы. В случае программ для физически нелинейных расчётов наличие валидационных тестов следует рассматривать как обязательное.

Оценка приемлемости погрешностей, полученных в верификационных тестах и в валидационных тестах, различна. Если погрешность в 10%, полученная в верификационном тесте типа показанного на рис. 3а, неприемлема, то такая же

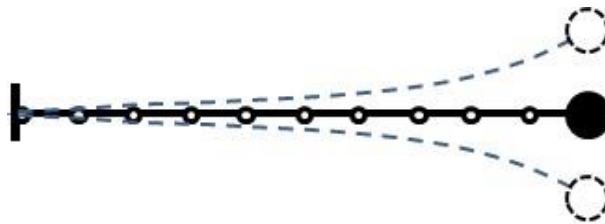
погрешность, полученная в валидационном тесте типа показанного на рис. 3б, может оцениваться как вполне приемлемая.

Помимо тестов, представленных разработчиком ОВВ, при экспертизе программы могут потребоваться дополнительные тесты. Дополнительные тесты предлагаются экспертами либо секцией в целом в результате обсуждения сложных вопросов экспертизы программы на заседаниях секции.

Для проведения экспертизы программы создаётся рабочая группа экспертов из числа членов секции и привлечённых лиц. Количество экспертов определяется сложностью программы и количеством видов расчётов, для выполнения которых предназначена программа. В рабочую группу включаются эксперты, научный опыт и опыт практических расчётов которых соответствует специфике рассматриваемой программы.

Система аттестации программ для ЭВМ функционирует в Ростехнадзоре более 30 лет. На основе накопленного опыта подготовлены руководящие документы, которые устанавливают единообразные требования к подготовке экспертных заключений и исключают возможность субъективных оценок. Положения руководящих документов учитывают также международный опыт аттестации программ и рекомендации МАГАТЭ [4].

а) Определение частоты собственных колебаний консольной балки



б) построение амплитудно-частотной характеристики фундамента турбогенератора АЭС

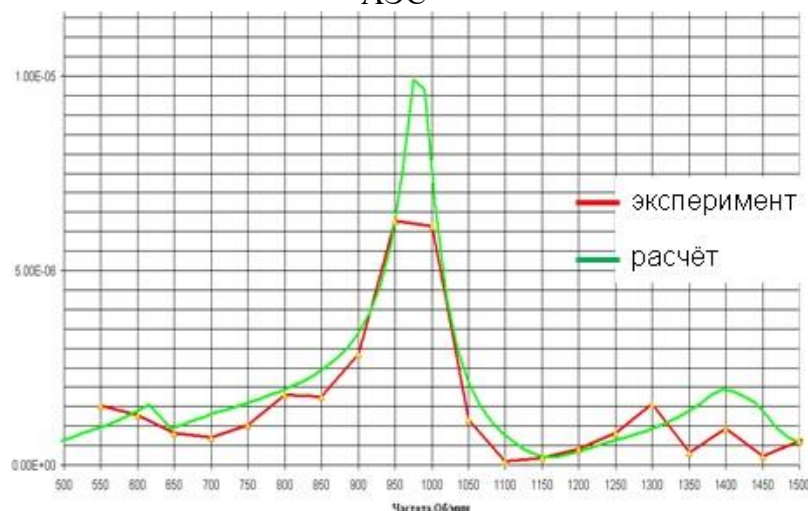


Рисунок 3 – Типы контрольных тестов
а – верификационный тест, б – валидационный тест

Figure 3 – Types of control tests

a – verification test, b – validation test

Основные этапы рассмотрения программы на секции «Прочность и надёжность строительных конструкций зданий и сооружений» иллюстрирует схема рис. 4.

Из этой схемы видно, что заключения экспертов проходят обсуждение на заседании секции (этап 3). Это обсуждение носит открытый коллективный характер, что способствует объективности результатов экспертизы программы.

Обсуждение особенностей работы программ на заседаниях секции способствует ознакомлению специалистов из различных регионов, участвующих в заседании очно или по электронной связи, с возможностями новых программных продуктов, что является важным дополнительным эффектом экспертизы программы.

На основе открытого коллективного обсуждения проходит также принятие решения о возможности рекомендовать программу к аттестации (этап 5) и об основных положениях проекта аттестационного паспорта. В ходе обсуждения этих формулировок уточняется объём аттестации с учётом результатов экспертизы программы.

В ходе обсуждения программ на заседаниях секции специалисты из различных регионов страны могут узнать о возможностях новых программных продуктов, что является важным дополнительным эффектом работы секции.



Рис.4. Основные этапы экспертизы программы

Figure 4 – The main stages of the examination of the program

Рекомендации секции направляются в Президиум Экспертного совета, который принимает окончательное решение по аттестации программы, а также по формулировкам аттестационного паспорта.

ВЫВОДЫ

1. В соответствии с Федеральным законом «Об использовании атомной энергии» программы для ЭВМ, используемые для выполнения расчётных обоснований ядерной и радиационной безопасности, должны быть аттестованы в установленном порядке. Это требование распространяется, в том числе, на программы для расчёта строительных конструкций, важных для обеспечения ядерной и радиационной безопасности объектов использования атомной энергии.

2. Для проведения аттестации в системе Ростехнадзора действует мультидисциплинарный Экспертный совет, обладающий более чем 30-летним опытом аттестации программ для ЭВМ. В составе Экспертного совета имеется секция «Прочность и надёжность строительных конструкций зданий и сооружений», которая предназначена для проведения экспертизы программ для расчёта строительных конструкций.

3. За период существования системы аттестации программ для ЭВМ в Ростехнадзоре наработаны необходимые руководящие документы, которые устанавливают единообразные требования как к документам, обосновывающим применение программ, так и к подготовке и проведению экспертизы программ, что исключает возможность субъективных экспертных оценок.

4. Принятие решений по вопросам экспертизы программ основано на принципе открытого коллективного обсуждения, что способствует объективности результатов экспертизы программы для ЭВМ.

5. Обсуждение особенностей работы программ для ЭВМ на заседаниях секции способствует ознакомлению специалистов из различных регионов с возможностями новых программных продуктов, что является важным дополнительным эффектом экспертизы программ для ЭВМ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федеральный закон от 21 ноября 1995 г. N 170-ФЗ «Об использовании атомной энергии».
2. РД–03–34–2000 «Требования к составу и содержанию отчета о верификации и обосновании программных средств, применяемых для обоснования безопасности объектов использования атомной энергии».
3. ГОСТ Р ИСО 9000-2008. Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь.
4. МАГАТЭ. Серия норм безопасности, GSR Part 4 (Rev.1) «Оценка безопасности установок и деятельности». 2016.

REFERENCES

1. Federal'nyj zakon ot 21 noyabrya 1995 g. N 170-FZ «Ob ispol'zovanii atomnoj ehnergii». (In Russian)
2. RD–03–34–2000 «Trebovaniya k sostavu i sodержaniyu otcheta o verifikacii i obosnovanii programmnykh sredstv, primenyaemykh dlya obosnovaniya bezopasnosti ob"ektov ispol'zovaniya atomnoj ehnergii». (In Russian)
3. GOST R ISO 9000-2008. Sistemy menedzhmenta kachestva. Osnovnyye polozheniya i slovar'. (In Russian)
4. Safety Assessment for Facilities and Activities: IAEA Safety Standards Series No. GSR Part 4 (Rev.1). 2016.

Данные об авторах / Information about authors

Нефёдов Сергей Сергеевич, кандидат технических наук, председатель секции «Прочность и надёжность строительных конструкций зданий и сооружений» Экспертного совета по аттестации программ для ЭВМ при Федеральной службе по экологическому, технологическому и атомному надзору «Ростехнадзор».

Москва, Российская Федерация

Sergey S. Nefedov, Cand. Sci. (Engineering), Chairman of the section “Strength and reliability of civil constructions of buildings and structures” of Expert council for certification of computer programs in Federal environmental, industrial and nuclear supervision service “Rostekhnadzor”.

Moscow, Russian Federation

Шевченко Сергей Александрович, кандидат технических наук, начальник отдела ФБУ «Научно-технический центр по ядерной и радиационной безопасности», ученый секретарь Экспертного совета по аттестации программ для ЭВМ при Федеральной службе по экологическому, технологическому и атомному надзору «Ростехнадзор».

Москва, Российская Федерация

Sergey A. Shevchenko, Cand. Sci. (Engineering), chief of division of Scientific and engineering center for nuclear and radiation safety, scientific secretary of Expert council for certification of computer programs in Federal environmental, industrial and nuclear supervision service “Rostekhnadzor”.

Moscow, Russian Federation