ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р 71134— 2023

Системы автоматизированного проектирования электроники

ПОДСИСТЕМА ВИРТУАЛЬНЫХ ИСПЫТАНИЙ ЭЛЕКТРОННОЙ КОМПОНЕНТНОЙ БАЗЫ НА ВОЗДЕЙСТВИЕ СЛУЧАЙНОЙ ВИБРАЦИИ

Издание официальное

Москва
Российский институт стандартизации
2023

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

1 РАЗРАБОТАН Обществом с ограниченной ответственностью «Научно-исследовательский институт «АСОНИКА» (ООО «НИИ «АСОНИКА») и Федеральным государственным бюджетным учреждением «Российский институт стандартизации» (ФГБУ «Институт стандартизации»)

2 ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации ТК 165 «Системы автоматизированного проектирования электроники»

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 30 ноября 2023 г. № 1508-ст

4 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

*Правила применения настоящего стандарта установлены в статье 26 Федерального закона от 29 июня 2015 г. № 162-ФЗ «О стандартизации в Российской Федерации». Информация об изменениях к настоящему стандарту публикуется в ежегодном (по состоянию на 1 января текущего года) информационном указателе «Национальные стандарты», а официальный текст изменений и поправок — в ежемесячном информационном указателе «Национальные стандарты». В случае пересмотра (замены) или отмены настоящего стандарта соответствующее уведомление будет опубликовано в ближайшем выпуске ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты». Соответствующая информация, уведомление и тексты размещаются также в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет (*gost.e-ecolog.ru

© Оформление. ФГБУ «Институт стандартизации», 2023

Настоящий стандарт не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии

Введение

Разработка настоящего стандарта вызвана необходимостью автоматизированного анализа стойкости электронной компонентной базы (ЭКБ) к воздействию случайной вибрации на ранних этапах проектирования ЭКБ на основе математического моделирования и виртуальных испытаний ЭКБ на воздействие случайной вибрации для снижения затрат на разработку, производство и обслуживание за счет повышения качества разработок.

Настоящий стандарт распространяется на показатели стойкости ЭКБ к воздействию случайной вибрации. Целью стандарта является автоматизация анализа показателей стойкости ЭКБ к воздействию случайной вибрации с применением математического моделирования и виртуальных испытаний ЭКБ на воздействие случайной вибрации, снижение затрат на разработку, производство и обслуживание за счет повышения качества разработок.

Применение математического моделирования и виртуальных испытаний ЭКБ на воздействие случайной вибрации на ранних этапах проектирования до изготовления опытного образца позволит избежать отказов ЭКБ или значительно сократить их на этапе испытаний опытного образца, сокращая тем самым количество испытаний опытного образца, возможные итерации по доработке схем и конструкций, затраты на разработку ЭКБ при одновременном повышении качества и надежности, в том числе в критических режимах работы, делая ЭКБ конкурентоспособной на отечественном и международном рынках [1]—[4].

Использование при анализе стойкости ЭКБ к воздействию случайной вибрации натурных испытаний ЭКБ на воздействие случайной вибрации невозможно, так как анализ проводится еще до изготовления опытного образца. Виртуализация испытаний ЭКБ на воздействие случайной вибрации при анализе стойкости ЭКБ к воздействию случайной вибрации является безальтернативной. Без применения математического моделирования нельзя определить показатели стойкости ЭКБ к воздействию случайной вибрации. Такой подход является информативным, так как благодаря ему на этапе проектирования отслеживается большинство возможных отказов ЭКБ по механическим характеристикам, и эффективным, так как из-за недоработок проектирования ЭКБ, вскрытых уже путем натурных испытаний, возможно множество итераций: доработка проекта — испытания опытного образца — доработка проекта и т. д., что значительно увеличивает сроки и стоимость разработки.

Настоящий стандарт определяет требования к подсистеме виртуальных испытаний электронной компонентной базы на воздействие случайной вибрации.

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Системы автоматизированного проектирования электроники

ПОДСИСТЕМА ВИРТУАЛЬНЫХ ИСПЫТАНИЙ ЭЛЕКТРОННОЙ КОМПОНЕНТНОЙ БАЗЫ НА ВОЗДЕЙСТВИЕ СЛУЧАЙНОЙ ВИБРАЦИИ

Electronics automated design systems.
Subsystem of virtual testing of electronic component base for the effect of random vibration

Дата введения — 2023—12—10

1 Область применения

1.1 Настоящий стандарт предназначен для применения предприятиями промышленности и организациями при использовании цифровых двойников электроники и CALS-технологий на ранних этапах проектирования, изготовления и испытаний электронной компонентной базы (ЭКБ), а также на всех последующих этапах жизненного цикла ЭКБ.

1.1.1 Подсистема виртуальных испытаний электронной компонентной базы на воздействие случайной вибрации применяется на ранних этапах проектирования ЭКБ следующего назначения: промышленная, для энергетики, оборонно-промышленного комплекса, аэрокосмической отрасли, судостроения, медицинская, автомобильная, для навигации и радиолокации, потребительская, для фискального и торгового оборудования, связи (телекоммуникации), вычислительной техники, для автоматизации и интеллектуального управления, систем безопасности, светотехники, автоматизированного транспорта и движущейся робототехники.

1.1.2 ЭКБ включает в себя микросхемы, транзисторы, диоды, резисторы, конденсаторы и т. д.

1.1.3 На ЭКБ оказывает влияние воздействие случайной вибрации. Случайная вибрация может приводить к несоответствиям ЭКБ требованиям к их стойкости (прочности и устойчивости) к воздействию случайной вибрации. Настоящий стандарт устанавливает основные положения технологии, позволяющей проводить анализ показателей стойкости ЭКБ к воздействию случайной вибрации с применением математического моделирования и виртуальных испытаний ЭКБ на воздействие случайной вибрации при проектировании.

1.2 Анализ показателей стойкости ЭКБ к воздействию случайной вибрации должен осуществляться на ранних этапах проектирования ЭКБ посредством проведения математического моделирования и виртуализации испытаний ЭКБ на воздействие случайной вибрации при проектировании.

1.3 Для анализа показателей стойкости ЭКБ к воздействию случайной вибрации методом математического моделирования (виртуализации испытаний ЭКБ на воздействие случайной вибрации) должны применяться аттестованные программные средства, а при необходимости — аттестованные программно-аппаратные средства. Требования к программно-аппаратным средствам устанавливаются по согласованию с заказчиками.

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ Р 70201 Системы автоматизированного проектирования электроники. Оптимальное сочетание натурных и виртуальных испытаний электроники на надежность и внешние воздействующие факторы. Требования и порядок проведения при выполнении технического задания на НИОКР

Издание официальное

ГОСТ Р 70608 Системы автоматизированного проектирования электроники. Состав и структура системы автоматизированного проектирования электронной компонентной базы

Примечание — При пользовании настоящим стандартом целесообразно проверить действие ссылочных стандартов в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет или по ежегодному информационному указателю «Национальные стандарты», который опубликован по состоянию на 1 января текущего года, и по выпускам ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты» за текущий год. Если заменен ссылочный стандарт, на который дана недатированная ссылка, то рекомендуется использовать действующую версию этого стандарта с учетом всех внесенных в данную версию изменений. Если заменен ссылочный стандарт, на который дана датированная ссылка, то рекомендуется использовать версию этого стандарта с указанным выше годом утверждения (принятия). Если после утверждения настоящего стандарта в ссылочный стандарт, на который дана датированная ссылка, внесено изменение, затрагивающее положение, на которое дана ссылка, то это положение рекомендуется применять без учета данного изменения. Если ссылочный стандарт отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, рекомендуется применять в части, не затрагивающей эту ссылку.

3 Общие положения

3.1 Настоящий стандарт устанавливает требования к автоматизированному анализу показателей стойкости ЭКБ к воздействию случайной вибрации на основе математического моделирования и виртуальных испытаний ЭКБ на воздействие случайной вибрации.

Для достижения поставленной цели в стандарте установлены следующие единые требования:

- к технологии автоматизированного анализа показателей стойкости ЭКБ к воздействию случайной вибрации;

- подсистеме виртуальных испытаний электронной компонентной базы на воздействие случайной вибрации.

3.2 Организация работ по применению технологии автоматизированного анализа показателей стойкости ЭКБ к воздействию случайной вибрации на основе математического моделирования и виртуализации испытаний ЭКБ на воздействие случайной вибрации при проектировании устроена следующим образом: испытанию ЭКБ подвергается в трех взаимно перпендикулярных направлениях.

3.2.1 Встречающиеся в реальных условиях эксплуатации вибрационные воздействия имеют случайный характер. Испытания на воздействия широкополосной случайной вибрации позволяют лучше, чем при синусоидальной вибрации, моделировать статистический характер воздействия и выявлять механизмы разрушения и повреждения различной ЭКБ.

4 Технология автоматизированного анализа показателей стойкости электронной компонентной базы к воздействию случайной вибрации

4.1 Конечной целью автоматизированного анализа является определение степени годности ЭКБ путем выявления возможных механических повреждений, позволяющих судить о конструктивной прочности ЭКБ, а также оценка ухудшения заданных значений параметров ЭКБ.

Также рассматривают математическое моделирование и виртуализацию испытаний ЭКБ на воздействие случайной вибрации с повышенной спектральной плотностью ускорения (в критических режимах, в том числе невоспроизводимых при натурных испытаниях).

Объектами виртуальных испытаний являются произвольные конструкции ЭКБ, 3D-модели которых созданы в CAD-системах в формате STEP.

4.2 Оцениваемыми характеристиками являются среднеквадратические ускорения, перемещения, механические напряжения в ЭКБ, время до усталостного разрушения.

4.3 Условия проведения виртуальных испытаний

4.3.1 Наличие российского программного обеспечения, предназначенного для моделирования ЭКБ на воздействие случайной вибрации, внедренного на ведущих предприятиях Российской Федерации, которое является составной частью системы автоматизированного проектирования (САПР) ЭКБ в соответствии с ГОСТ Р 70608.

4.3.2 Наличие корректной 3D-модели ЭКБ в формате STEP, отвечающей требованиям по устранению ошибок, упрощению и сохранению модели [5].

4.3.2.1 Требования по устранению ошибок:

- не должно быть пересечений деталей. Они должны касаться друг друга;
- одна деталь должна касаться другой по некой поверхности с какой-либо площадью. Не допускаются варианты, когда одна деталь касается другой по линии или в точке (поверхностью касания двух деталей является линия или точка);
- не должно быть свободно висящих деталей. Они должны иметь соединения с другими деталями.

4.3.2.2 Требования по упрощению модели:

- следует убрать все крепежные детали, все винты;
- следует убрать фаски, мелкие скругления (с радиусом ≤2 мм);
- поверхности сложной формы — мелкие оребрения крупных поверхностей необходимо сделать гладкими;
- если в модели есть шестигранники (в сечении детали шестигранник), следует скруглить грани шестигранника радиусом скругления 1 мм;
- следует удалить все отверстия всех деталей, кроме крепежных отверстий;
- следует выбрать «твердые тела» при сохранении в формате STEP модели в CAD-системе, в которой создавалась данная модель.

4.3.3 Необходимо наличие следующих физико-механических параметров материалов ЭКБ:

- плотность;
- модуль упругости;
- коэффициент Пуассона;
- коэффициент механических потерь (КМП) для начальной точки линейного участка зависимости КМП от механического напряжения изгиба, возникающего при воздействии синусоидальной вибрации;
- коэффициент зависимости КМП от механического напряжения изгиба, возникающего при воздействии синусоидальной вибрации.

Взаимосвязь тепловых и механических процессов в конструкциях ЭКБ обусловлена влиянием тепловых процессов на механические — температурными зависимостями физико-механических параметров — модуля упругости и КМП — для материалов конструкций ЭКБ. С ростом температуры модуль упругости уменьшается, а КМП увеличивается. Зависимости модуля упругости и КМП от температуры могут аппроксимироваться линейными полиномами [5].

Данные параметры могут быть получены путем идентификации [5].

4.4 Режимы виртуальных испытаний

Параметры широкополосной случайной вибрации (численные значения задают в техническом задании на разработку ЭКБ):

- спектральная плотность S, g^2/Гц;
- диапазон частот, Гц.

4.5 Порядок проведения испытаний

4.5.1 Проводят идентификацию физико-механических параметров материалов ЭКБ, указанных в 4.3.3, при их отсутствии [5]. При этом по результатам натурных испытаний определяют зависимость ускорения от частоты синусоидальной вибрации в контрольной точке, которую используют при идентификации. Предварительно разрабатывают программу натурных испытаний и изготавливают макеты пластин для натурных испытаний.

4.5.2 Идентифицированные параметры материалов ЭКБ заносят в базу данных для использования в процессе моделирования.

4.5.3 Проводят подготовку 3D-моделей в формате STEP конструкций ЭКБ в CAD-системах, отвечающих требованиям по устранению ошибок, упрощению и сохранению модели, приведенным в 4.3.2.

4.5.4 Проводят импорт моделей в формате STEP конструкций в подсистеме виртуальных испытаний электронной компонентной базы на воздействие случайной вибрации.

4.5.5 Проводят виртуальные испытания ЭКБ на воздействие случайной вибрации в заданном диапазоне частот с применением моделирования механических процессов в ЭКБ на воздействие случайной вибрации.

4.5.6 По результатам виртуальных испытаний составляют отчет, в котором приводят информацию об оцениваемых характеристиках.

4.5.7 Место проведения испытаний

Испытания могут проводить:

- сами предприятия при наличии подсистемы виртуальных испытаний электронной компонентной базы на воздействие случайной вибрации;
- Центр компетенций в области моделирования и виртуальных испытаний ЭКБ и ЭА на внешние воздействия по заказу предприятия при отсутствии у него подсистемы виртуальных испытаний электронной компонентной базы на воздействие случайной вибрации.

4.6 Обработка, анализ и оценка результатов испытаний

4.6.1 Используют малый объем выборки $n < 50$.

4.6.2 Используют методы статистической обработки результатов испытаний.

Вычисление выборочных числовых характеристик осуществляют при малом объеме выборки. Вычисляют:

- выборочное среднее значение характеристики механических свойств;
- выборочную дисперсию характеристики механических свойств;
- выборочное среднеквадратическое отклонение.

4.6.3 Идентифицированные параметры определяют с учетом их разброса: среднее значение и среднеквадратическое отклонение. Для получения разброса необходимо провести идентификационные испытания 10 макетов пластин одного типа.

4.6.4 Оцениваемые характеристики определяют с учетом разброса ускорений. Для каждой характеристики определяют среднее значение и среднеквадратическое отклонение.

4.7 Материально-техническое обеспечение испытаний

4.7.1 На рабочих станциях пользователей должно быть установлено следующее прикладное программное обеспечение, отвечающее требованиям 4.3.1:

- для виртуальных испытаний ЭКБ, 3D-модели которых созданы в CAD-системах в формате STEP, на воздействие случайной вибрации;
- для идентификации физико-механических параметров моделей ЭКБ.

4.7.2 Для испытаний используют 3D-модели конструкций ЭКБ в формате STEP.

4.7.3 Необходимо наличие руководств пользователей и обучающих звуковых видеороликов к прикладному программному обеспечению, указанному в 4.7.1.

4.7.4 Должна быть обеспечена необходимая квалификация персонала, специалистов и привлекаемых сил, проводящих испытания, подтвержденная аккредитацией пользователя прикладного программного обеспечения, указанного в 4.7.1, в Центре компетенций в области моделирования и виртуальных испытаний ЭКБ и ЭА на внешние воздействия.

4.7.5 Испытательное оборудование для проведения натурных испытаний, необходимых для решения задачи идентификации:

- задающий генератор синусоидальных колебаний;
- усилитель мощности;
- вибратор;
- виброизмерительный преобразователь (акселерометр);
- виброизмерительная аппаратура.

4.7.6 Для проведения натурных испытаний, необходимых для решения задачи идентификации, требуются прямоугольные пластины из материалов, для которых необходима идентификация параметров (их количество определяют количеством материалов, для которых неизвестны параметры).

4.7.7 Порядок подготовки и использования материально-технических средств в процессе испытаний:

- приобретение и настройка рабочих станций;
- приобретение и установка на рабочих станциях программного обеспечения, отвечающего требованиям 4.3.1 и описанного в 4.7.1;
- приобретение и установка испытательного оборудования для проведения натурных испытаний, описанного в 4.7.5;

- изготовление материалов согласно 4.7.6 для проведения натурных испытаний, необходимых для решения задачи идентификации.

4.8 Протокол испытаний должен содержать следующую информацию:

- описание макета;
- график входного воздействия синусоидальной вибрации на макет;
- график выходного воздействия синусоидальной вибрации в контрольной точке макета;
- идентифицированные параметры;
- график входного воздействия случайной вибрации на ЭКБ;
- график выходного воздействия случайной вибрации в контрольной точке ЭКБ;
- оцениваемые характеристики: спектральную плотность ускорения, среднеквадратические ускорения, перемещения, механические напряжения в ЭКБ, время до усталостного разрушения. Среднеквадратические ускорения, перемещения, механические напряжения в ЭКБ не должны превышать максимально допустимые значения, заданные в нормативных документах и технической документации. Время до усталостного разрушения должно быть больше, чем суммарное время эксплуатации ЭКБ при воздействии синусоидальной вибрации;
- выводы по результатам испытаний.

5 Требования к подсистеме виртуальных испытаний электронной компонентной базы на воздействие случайной вибрации

5.1 Подсистема виртуальных испытаний электронной компонентной базы на воздействие случайной вибрации должна отвечать требованиям 1.3 и ГОСТ Р 70201, является составной частью САПР ЭКБ в соответствии с ГОСТ Р 70608.

5.2 Необходимо наличие базы данных материалов по физико-механическим параметрам.

5.3 Порядок проведения виртуальных испытаний

5.3.1 Проводят идентификацию параметров материалов при их отсутствии в базе данных. Идентифицируют модуль упругости, коэффициента Пуассона, параметры зависимости КМП от механического напряжения для вибрации. Заносят идентифицированные значения параметров в базу данных.

5.3.2 Учитывая, что объектами виртуальных испытаний являются конструкции ЭКБ, 3D-модели которых созданы в CAD-системах в формате STEP, проверяют выполнение требований по устранению ошибок, упрощению и сохранению модели.

5.3.3 Проводят импорт 3D-модели.

5.3.4 Вводят материалы деталей из базы данных или физико-механические параметры материалов вручную в случае отсутствия материалов в базе данных.

5.3.5 Вводят крепления конструкции ЭКБ.

5.3.6 Проводят автоматическое разбиение 3D-модели конструкции на конечные элементы.

5.3.7 Вводят графики зависимости спектральной плотности ускорения случайной вибрации от частоты по осям *X*, *Y*, *Z*.

5.3.8 Проводят расчет конструкции ЭКБ на воздействие случайной вибрации.

5.3.9 В результате расчета получают следующие выходные характеристики:

- зависимости спектральной плотности ускорения случайной вибрации от частоты по осям *X*, *Y*, *Z* в контрольных точках;
- среднеквадратические перемещения во всех точках конструкции в диапазоне частот по осям *X*, *Y*, *Z* и суммарные;
- среднеквадратические ускорения во всех точках конструкции в диапазоне частот по осям *X*, *Y*, *Z* и суммарные;
- среднеквадратические эквивалентные механические напряжения во всех точках конструкции в диапазоне частот;
- время до усталостного разрушения во всех точках конструкции.

5.3.10 Для оценки показателей стойкости ЭКБ к воздействию случайной вибрации сравнивают рассчитанные выходные характеристики с допустимыми значениями, заданными в нормативных документах и технической документации:

- среднеквадратические перемещения во всех точках конструкции в диапазоне частот по осям *X*, *Y*, *Z* и суммарные перемещения не должны превышать максимально допустимых значений;

- среднеквадратические ускорения во всех точках конструкции в диапазоне частот по осям *X*, *Y*, *Z* и суммарные ускорения не должны превышать максимально допустимых значений;

- среднеквадратические эквивалентные механические напряжения во всех точках конструкции в диапазоне частот не должны превышать максимально допустимое значение;

- время до усталостного разрушения во всех точках конструкции должно быть больше, чем суммарное время эксплуатации ЭКБ при воздействии случайной вибрации.

В приложении А приведен пример подсистемы виртуальных испытаний электронной компонентной базы на воздействие случайной вибрации и результатов ее работы.

Приложение А
(справочное)

Пример подсистемы виртуальных испытаний электронной компонентной базы на воздействие случайной вибрации и результатов ее работы

Примером подсистемы виртуальных испытаний электронной компонентной базы на воздействие случайной вибрации является совокупность подсистем российской САПР электроники в части виртуальных испытаний — автоматизированной системы обеспечения надежности и качества аппаратуры (АСОНИКА) (gost.e-ecolog.ru), предназначенной для анализа и обеспечения стойкости ЭКБ к комплексным тепловым, механическим, электромагнитным воздействиям, усталостной прочности к тепломеханическим воздействиям, для создания карт рабочих режимов ЭКБ, анализа показателей надежности ЭКБ и создания цифровых двойников ЭКБ.

АСОНИКА — это замена натурных испытаний опытных образцов ЭКБ и ЭКБ виртуальными испытаниями на внешние механические, тепловые, электромагнитные и другие воздействия еще до их изготовления. Это значительная экономия денежных средств и сокращение сроков создания ЭКБ при одновременном повышении качества и надежности за счет сокращения количества натурных испытаний.

Используют следующие подсистемы:

АСОНИКА-М-3D: подсистема анализа и обеспечения стойкости произвольных объемных конструкций ЭКБ к механическим и тепловым воздействиям с возможностью импорта геометрии из различных CAD-систем;

АСОНИКА-ИД: подсистема идентификации физико-механических и теплофизических параметров моделей ЭКБ;

АСОНИКА-БД: подсистема управления базами данных ЭКБ и материалов по геометрическим, физико-механическим, усталостным, теплофизическим, электрическим и надежностным параметрам.

Результаты работы подсистемы АСОНИКА-М-3D представлены на рисунках А.1—А.9.

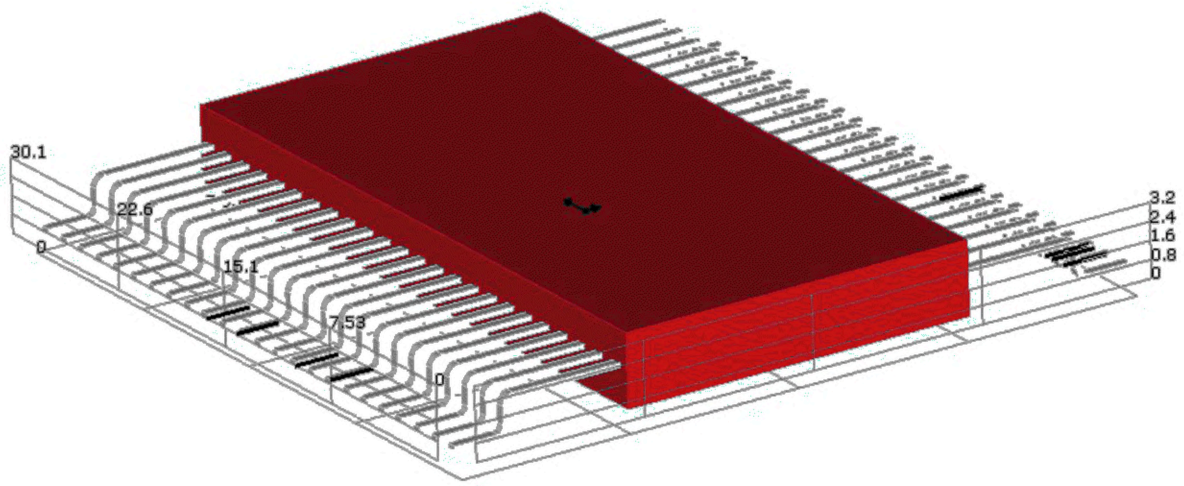

Рисунок А.1 — Конструкция ЭКБ, импортированная из CAD-системы в подсистему АСОНИКА-М-3D

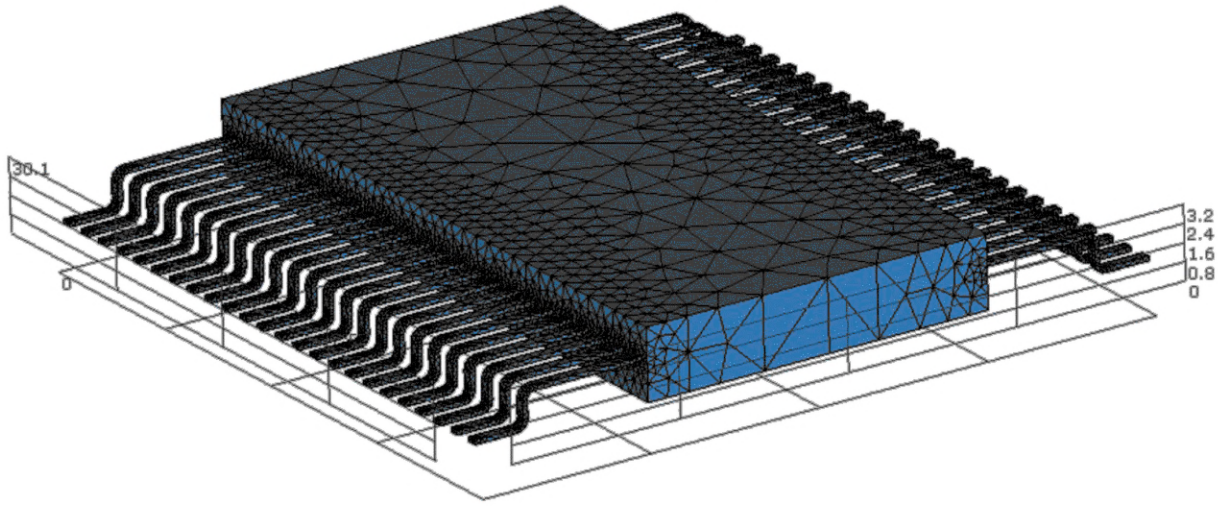

Рисунок А.2 — Автоматическое разбиение на конечные элементы

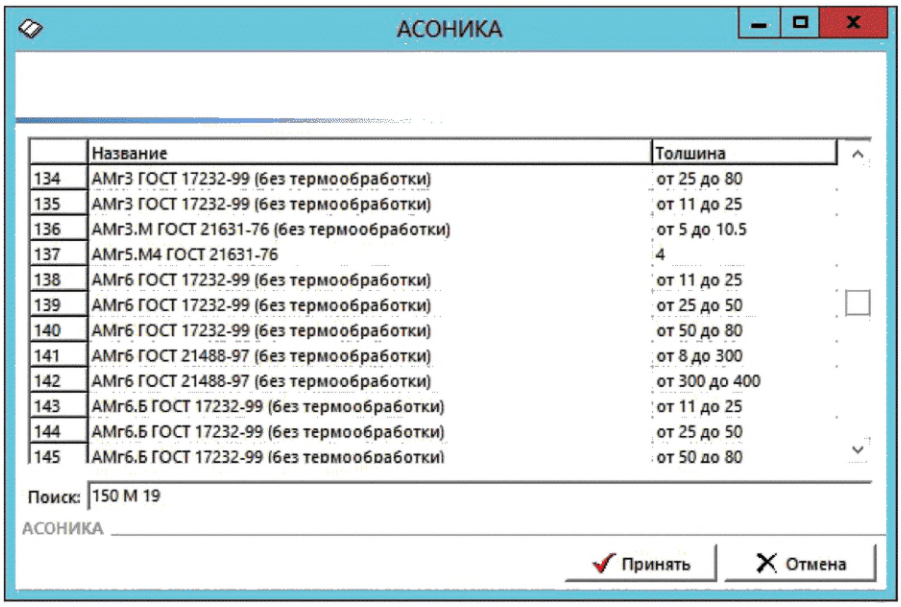

Рисунок А.3 — Диалоговое окно для выбора материала из базы данных

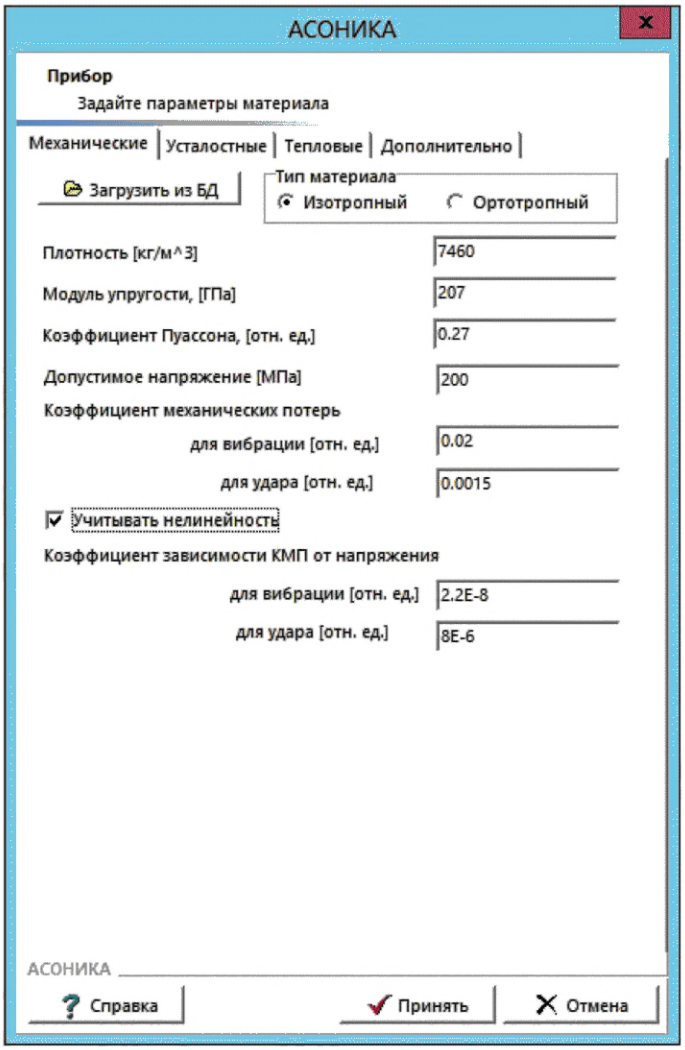

Рисунок А.4 — Диалоговое окно для задания параметров материала

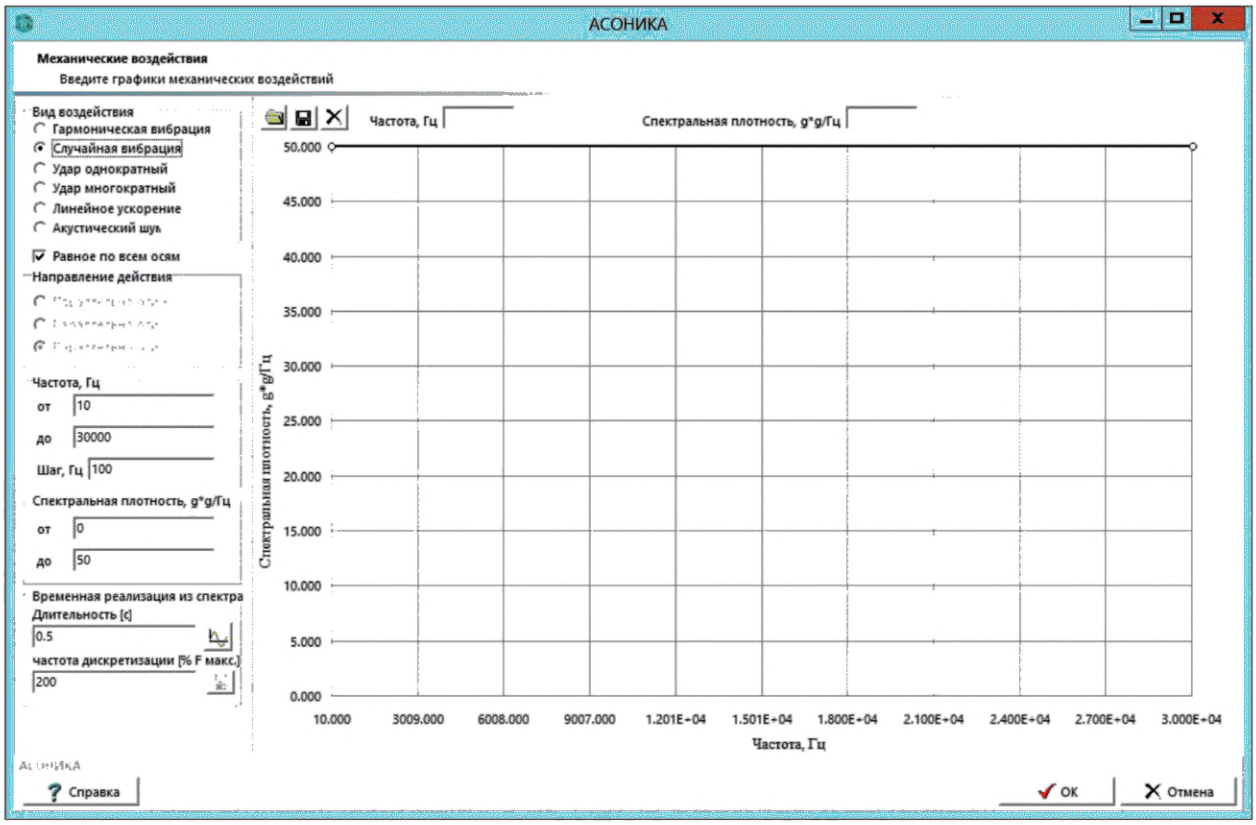

Рисунок А.5 — График зависимости входной спектральной плотности ускорения случайной вибрации от частоты

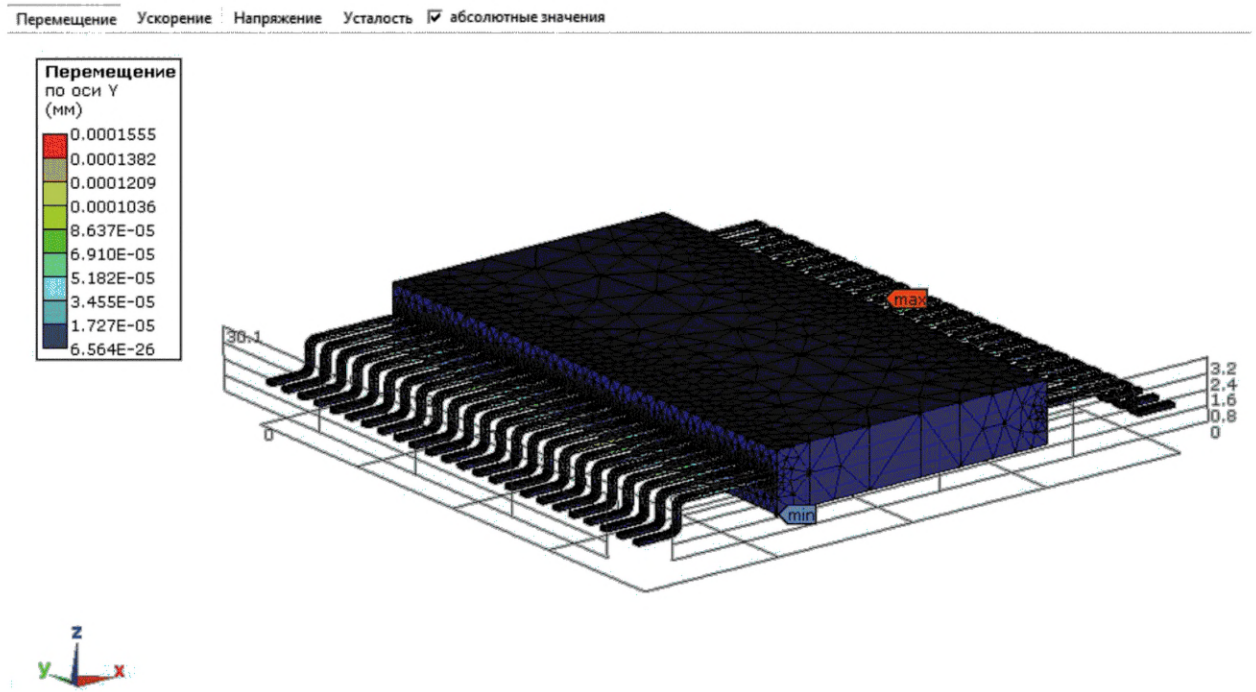

Рисунок А.6 — Среднеквадратические перемещения по оси *Y* во всех точках конструкции ЭКБ

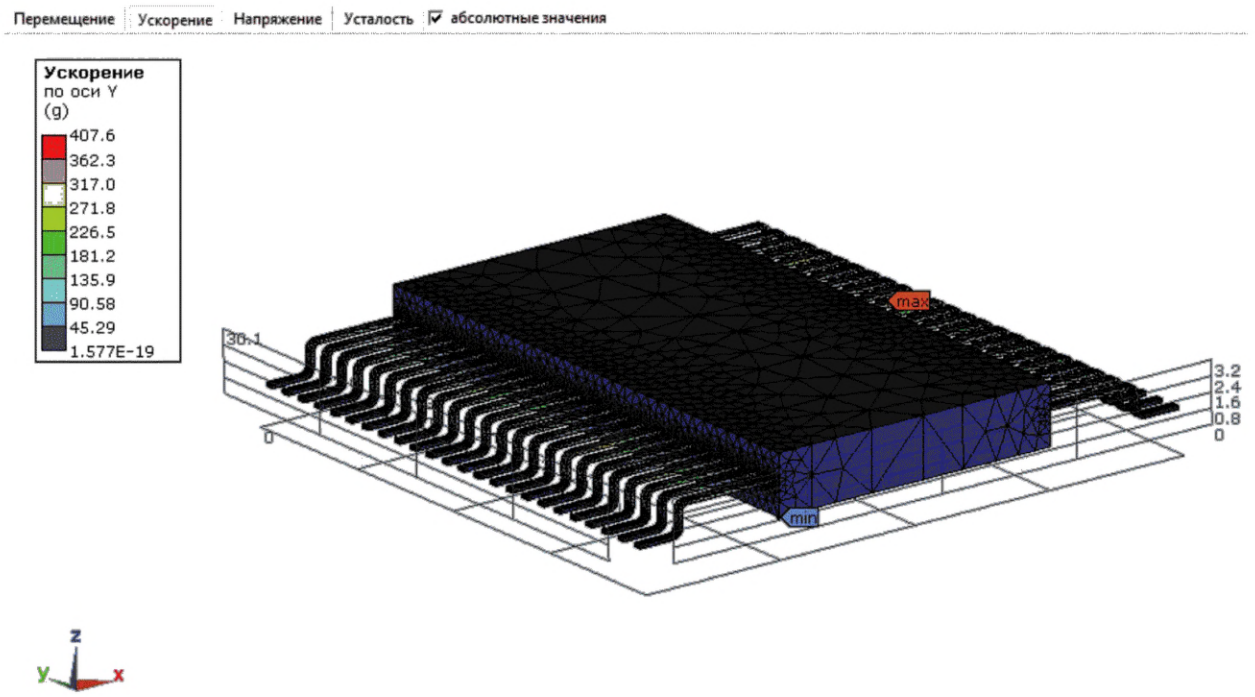

Рисунок А.7 — Среднеквадратические ускорения по оси *Y* во всех точках конструкции ЭКБ

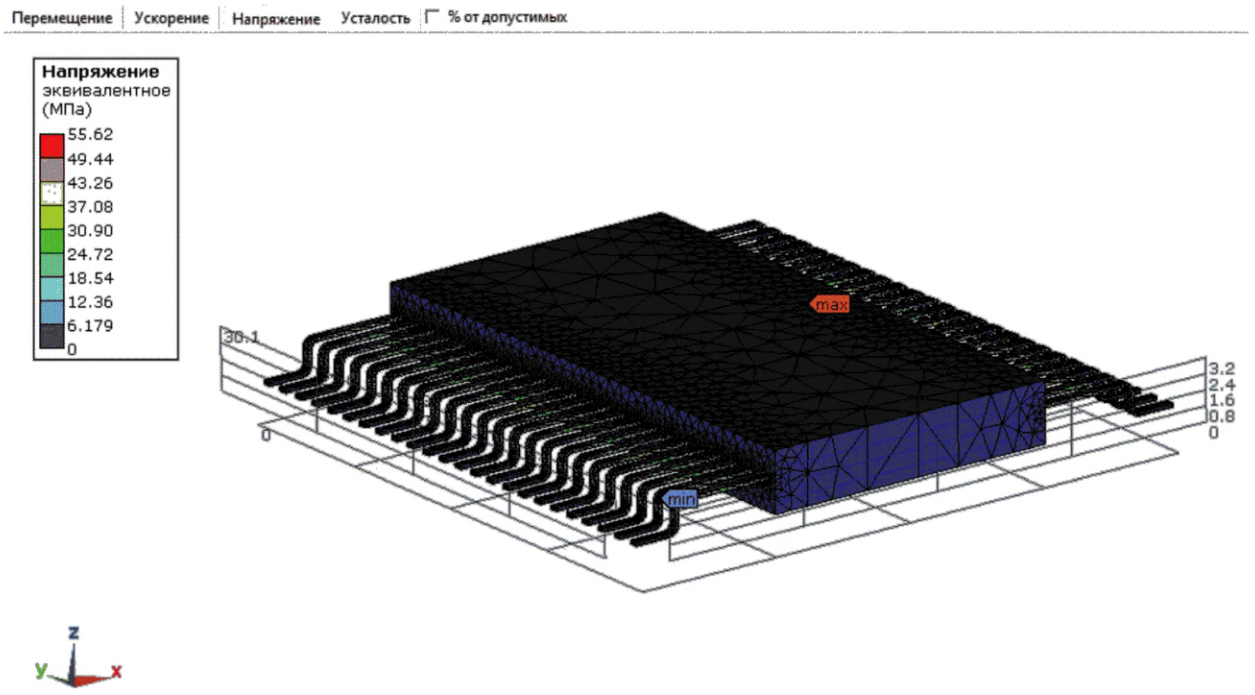

Рисунок А.8 — Среднеквадратические эквивалентные механические напряжения во всех точках конструкции ЭКБ

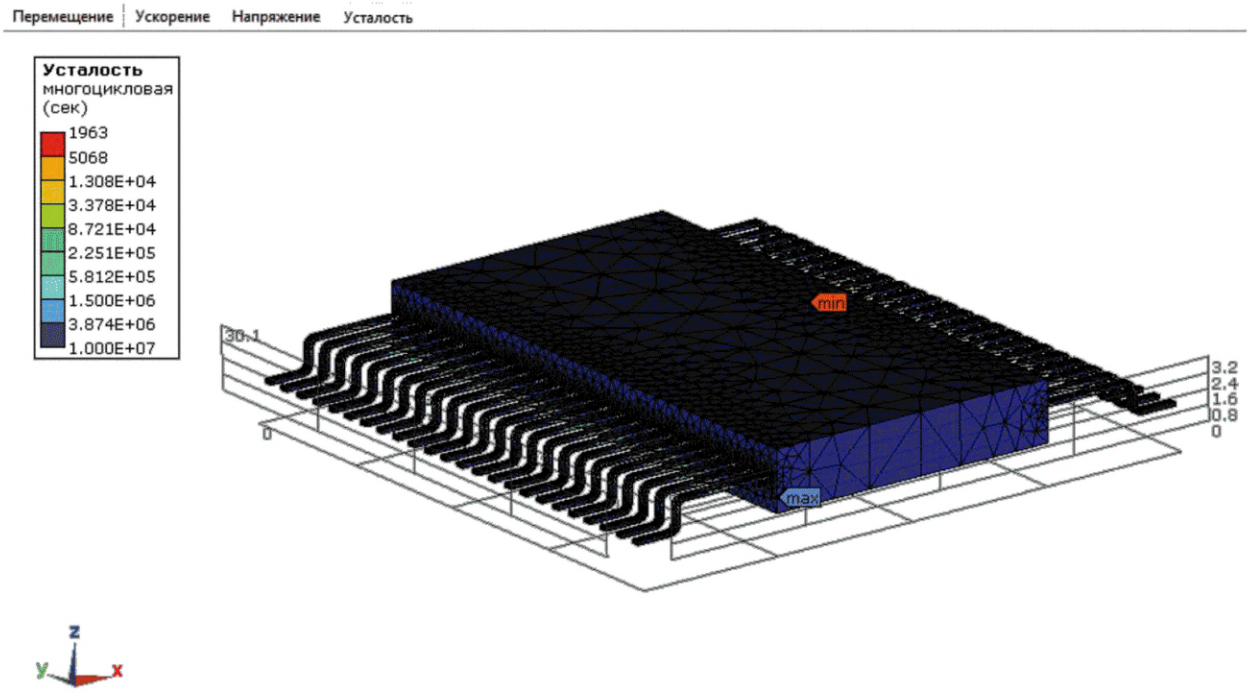

Рисунок А.9 — Время до усталостного разрушения во всех точках конструкции ЭКБ при воздействии случайной вибрации

Библиография

[1] Распоряжение Правительства Российской Федерации от 6 ноября 2021 г. № 3142-р «Стратегическое направление в области цифровой трансформации обрабатывающих отраслей промышленности»

[2] Шалумов А.С. Дорожная карта развития «САПР электроники выше мирового уровня». Ковров: ООО «НИИ «АСОНИКА», 2020. 24 с. — Режим доступа: gost.e-ecolog.ru

[3] Автоматизированная система АСОНИКА для моделирования физических процессов в радиоэлектронных средствах с учетом внешних воздействий/Под ред. А.С. Шалумова. М.: Радиотехника, 2013. 424 с.

[4] Шалумов М.А., Шалумов А.С. Виртуальная среда проектирования РЭС на основе комплексного моделирования физических процессов. — Владимир: Владимирский филиал РАНХиГС, 2016. 87 с.

[5] Обобщенная методика моделирования механических и температурных испытаний. ФГУП «МНИИРИП». 2020

УДК 621.865:8:007.52:006.354

ОКС 31.020
29.100.01

Ключевые слова: подсистема, виртуальные испытания, случайная вибрация, электронная компонентная база, спектральная плотность, среднеквадратическое ускорение, перемещение, механическое напряжение, время до усталостного разрушения

Редактор *Н.В. Таланова*
Технический редактор *И.Е. Черепкова*
Корректор *С.И. Фирсова*
Компьютерная верстка *М.В. Малеевой*

Сдано в набор 01.12.2023. Подписано в печать 18.12.2023. Формат 60×84⅛. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 2,32. Уч.-изд. л. 1,90.

Подготовлено на основе электронной версии, предоставленной разработчиком стандарта

Создано в единичном исполнении в ФГБУ «Институт стандартизации»
для комплектования Федерального информационного фонда стандартов,
117418 Москва, Нахимовский пр-т, д. 31, к. 2.
gost.e-ecolog.ru gost.e-ecolog.ru