ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р 70915— 2023

Системы автоматизированного проектирования электроники

ПОДСИСТЕМА ВИРТУАЛЬНЫХ ИСПЫТАНИЙ ЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ НА НЕСТАЦИОНАРНЫЕ ТЕПЛОВЫЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ

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»)

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 6 сентября 2023 г. № 813-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 аппаратуры (ЭА) к нестационарным тепловым воздействиям на ранних этапах проектирования ЭА на основе математического моделирования и виртуальных испытаний ЭА на нестационарные тепловые воздействия для снижения затрат на разработку, производство и обслуживание за счет повышения качества разработок.

Настоящий стандарт распространяется на показатели стойкости ЭА к нестационарным тепловым воздействиям. Целью стандарта является автоматизация анализа показателей стойкости ЭА к нестационарным тепловым воздействиям с применением математического моделирования и виртуальных испытаний ЭА на нестационарные тепловые воздействия, снижение затрат на разработку, производство и обслуживание за счет повышения качества разработок.

Применение математического моделирования и виртуальных испытаний ЭА на нестационарные тепловые воздействия на ранних этапах проектирования до изготовления опытного образца позволит избежать отказов ЭА 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 ЭА при одновременном повышении качества и надежности, в том числе в критических режимах работы, делая ЭА конкурентоспособной на отечественном и международном рынке (см. ГОСТ Р 57700.37, [1] — [4]).

Использование при анализе стойкости ЭА к нестационарным тепловым воздействиям натурных испытаний ЭА на нестационарные тепловые воздействия невозможно, так как анализ проводят еще до изготовления опытного образца. Виртуализация испытаний ЭА на нестационарные тепловые воздействия при анализе стойкости ЭА к нестационарным тепловым воздействиям является безальтернативной. Без применения математического моделирования невозможно определить показатели стойкости ЭА к нестационарным тепловым воздействиям. Такой подход является информативным, так как благодаря ему на этапе проектирования отслеживается большинство возможных отказов ЭА по тепловым характеристикам и эффективным, так как из-за недоработок проектирования ЭА, 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 ЭА на нестационарные тепловые воздействия.

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Системы автоматизированного проектирования электроники

ПОДСИСТЕМА ВИРТУАЛЬНЫХ ИСПЫТАНИЙ ЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ НА НЕСТАЦИОНАРНЫЕ ТЕПЛОВЫЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ

Electronics automated design systems.
Subsystem of virtual testing of electronic equipment to non-stationary thermal effects

Дата введения — 2023—10—01

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 аппаратуры (ЭА), а также на всех последующих этапах жизненного цикла ЭА.

1.1.1 Подсистема виртуальных испытаний ЭА на нестационарные тепловые воздействия применяется на ранних этапах проектирования ЭА 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 ЭА состоит из электронных шкафов и блоков, печатных узлов и электронной компонентной базы (ЭКБ) (микросхем, транзисторов, резисторов и т. д.).

1.1.3 На ЭКБ и ЭА оказывают влияние нестационарные тепловые воздействия. Нестационарные тепловые воздействия могут приводить к несоответствиям ЭКБ и ЭА требованиям к их стойкости (прочности и устойчивости) к нестационарным тепловым воздействиям. Настоящий стандарт устанавливает основные положения технологии, позволяющей проводить анализ показателей стойкости ЭА к нестационарным тепловым воздействиям с применением математического моделирования и виртуальных испытаний ЭА на нестационарные тепловые воздействия при проектировании.

1.2 Анализ показателей стойкости ЭА к нестационарным тепловым воздействиям должен осуществляться на ранних этапах проектирования ЭА посредством проведения математического моделирования и виртуализации испытаний ЭА на нестационарные тепловые воздействия при проектировании.

1.3 Для анализа показателей стойкости ЭА к нестационарным тепловым воздействиям методом математического моделирования (виртуализации испытаний ЭКБ и ЭА на нестационарные тепловые воздействия) следует применять 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 16962 Изделия электронной техники и электротехники. Механические и климатические воздействия. Требования и методы испытаний

Издание официальное

ГОСТ 16962.1 (МЭК 68-2-1—74) Изделия электротехнические. Методы испытаний на устойчивость к климатическим внешним воздействующим факторам

ГОСТ 21964 Внешние воздействующие факторы. Номенклатура и характеристики

ГОСТ 30630.0.0 Методы испытаний на стойкость к внешним воздействующим факторам машин, приборов и других технических изделий. Общие требования

ГОСТ 30630.2.1 Методы испытаний на стойкость к климатическим внешним воздействующим факторам машин, приборов и других технических изделий. Испытания на устойчивость к воздействию температуры

ГОСТ Р 57700.37 Компьютерные модели и моделирование. Цифровые двойники изделий. Общие положения

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

ГОСТ Р 70291 Системы автоматизированного проектирования электроники. Состав и структура системы автоматизированного проектирования электронной аппаратуры

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 ЭА к нестационарным тепловым воздействиям на основе математического моделирования и виртуальных испытаний ЭА на нестационарные тепловые воздействия.

Для достижения поставленной цели в стандарте устанавливают следующие единые требования:

- к технологии автоматизированного анализа показателей стойкости ЭА к нестационарным тепловым воздействиям;
- подсистеме виртуальных испытаний ЭА на нестационарные тепловые воздействия.

3.2 ЭКБ и ЭА в общем случае являются тепловыделяющими.

3.3 Основные виды теплообмена — кондукция, излучение, естественная и вынужденная конвекция.

3.4 В общем случае зависящими от времени являются:

- температура окружающей среды;
- мощность тепловыделения;
- теплоемкость.

3.5 Организация работ по применению технологии автоматизированного анализа показателей стойкости ЭА к нестационарным тепловым воздействиям на основе математического моделирования и виртуализации испытаний ЭА на нестационарные тепловые воздействия при проектировании устроена согласно ГОСТ 21964, ГОСТ 30630.2.1.

3.5.1 Технология предназначена для использования подразделениями предприятий, на которые возложены соответствующие задачи.

3.5.2 Автоматизированный анализ показателей стойкости ЭА к нестационарным тепловым воздействиям допускается проводить на основе методов математического моделирования и виртуализации испытаний ЭА на нестационарные тепловые воздействия с использованием специализированного программного обеспечения [5].

4 Технология автоматизированного анализа показателей стойкости электронной аппаратуры к нестационарным тепловым воздействиям

4.1 Конечной целью автоматизированного анализа является определение пригодности ЭА к эксплуатации или хранению при воздействии переменной температуры и переменной мощности согласно ГОСТ 16962, ГОСТ 30630.0.0, ГОСТ 16962.1.

Также рассматривается математическое моделирование и виртуализация испытаний ЭА на нестационарные тепловые воздействия с повышенной температурой окружающей среды (в критических режимах, в том числе невоспроизводимых при натурных испытаниях).

Объектами виртуальных испытаний являются:

- произвольные конструкции шкафов и блоков ЭА, 3D-модели которых отсутствуют;
- произвольные конструкции шкафов и блоков ЭА, 3D-модели которых созданы в CAD-системах в формате STEP;
- типовые конструкции шкафов и блоков ЭА, 3D-модели которых созданы в специализированном интерфейсе подсистемы виртуальных испытаний ЭА на нестационарные тепловые воздействия.

4.2 Оцениваемыми характеристиками являются температуры в узлах моделей ЭА в зависимости от времени.

4.3 Условия проведения виртуальных испытаний

4.3.1 Наличие российского программного обеспечения, предназначенного для моделирования ЭА на нестационарные тепловые воздействия, внедренного на ведущих предприятиях Российской Федерации, которое является составной частью системы автоматизированного проектирования (САПР) ЭА в соответствии с ГОСТ Р 70201, ГОСТ Р 70291.

4.3.2 Наличие корректной 3D-модели ЭА 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;
- разъемы с отверстиями необходимо полностью заполнить материалом (не должны остаться штырьки и отверстия).

4.3.2.2 Требования по упрощению модели:

- следует убрать все крепежные детали, все винты;
- следует убрать фаски, лыски, мелкие скругления (с радиусом 2 мм или менее);
- поверхности сложной формы — мелкие оребрения крупных поверхностей следует сделать гладкими;
- если в модели есть шестигранники (в сечении детали шестигранник), например стойки этажерочной конструкции, следует скруглить грани шестигранника радиусом скругления 1 мм;
- следует удалить все отверстия всех деталей, кроме крепежных отверстий;
- следует подобрать плотности деталей таким образом, чтобы масса ЭА, включая печатные узлы, ЭКБ, разъемы, равнялась изначально заданной;
- следует выбирать опцию «твердые тела» при сохранении в формате STEP модели в CAD-системе, в которой создавалась данная модель.

4.3.3 Наличие следующих теплофизических параметров материалов ЭА:

- коэффициент теплопроводности материала;
- коэффициент смазки;
- степень черноты материала;
- теплоемкость (в общем случае переменная, зависит от времени).

Данные параметры могут быть получены путем идентификации.

4.4 Режимы виртуальных испытаний

Параметры нестационарного теплового воздействия:

- источник переменной мощности;

- источник переменной температуры;
- давление окружающего воздуха.

Для вынужденной конвекции задается также:

- скорость воздушного потока;
- скорость охлаждающей жидкости в канале.

4.5 Порядок проведения испытаний

4.5.1 Проводят поиск (идентификацию) теплофизических параметров материалов ЭА, указанных в 4.3.3.

4.5.2 Найденные параметры материалов ЭА заносят в базу данных для использования в процессе моделирования.

4.5.3 Идеализация (упрощение) процессов теплопередачи в конструкциях шкафов и блоков ЭА, для которых отсутствуют 3D-модели. При исследовании температурных полей ЭА в таких случаях наиболее распространенным является метод электротепловой аналогии (см. [5]).

4.5.4 Проводят подготовку 3D-моделей:

- в формате STEP конструкций шкафов и блоков ЭА в CAD-системах, отвечающих требованиям по устранению ошибок, упрощению и сохранению модели, приведенным в 4.3.2.
- типовых конструкций шкафов и блоков ЭА в специализированных интерфейсах.

4.5.5 Проводят импорт моделей в формате STEP конструкций в подсистеме виртуальных испытаний ЭА на нестационарные тепловые воздействия.

4.5.6 Проводят виртуальные испытания ЭА на нестационарные тепловые воздействия с применением моделирования тепловых процессов в ЭА на нестационарные тепловые воздействия. Определяются температуры в зависимости от времени во всех узлах модели тепловых процессов, по которым рассчитывают возможные тепловые перегрузки, то есть превышения расчетных температур над максимально допустимыми, заданными в технических условиях на элементы конструкции ЭА.

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

4.5.8 Место проведения испытаний

Испытания могут проводить:

- сами предприятия при наличии подсистемы виртуальных испытаний ЭА на нестационарные тепловые воздействия;
- Центр компетенций в области моделирования и виртуальных испытаний ЭКБ и ЭА на внешние воздействия по заказу предприятия при отсутствии у него подсистемы виртуальных испытаний ЭА на нестационарные тепловые воздействия.

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 тепловых свойств;
- выборочную дисперсию характеристики тепловых свойств;
- выборочное среднее квадратическое отклонение.

4.6.3 Оцениваемые характеристики определяют с учетом разброса температур. Для каждой характеристики определяют среднее значение и среднее квадратическое 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 конструкции шкафов и блоков ЭА, 3D-модели которых отсутствуют, на нестационарные тепловые воздействия;
- для виртуальных испытаний конструкции шкафов и блоков ЭА, 3D-модели которых созданы в CAD-системах в формате STEP, на нестационарные тепловые воздействия;
- для виртуальных испытаний типовых конструкций шкафов и блоков ЭА, 3D-модели которых созданы в специализированном интерфейсе, на нестационарные тепловые воздействия.

4.7.2 Перечень моделей, используемых для испытаний:

- топологические модели тепловых процессов в виде узлов и ветвей, когда 3D-модель отсутствует;
- 3D-модели конструкций ЭА в формате STEP;
- 3D-модели конструкций ЭА, созданные в специализированных интерфейсах.

4.7.3 Руководства пользователей и обучающие звуковые видеоролики к прикладному программному обеспечению, указанному в 4.7.1.

4.7.4 Необходимая квалификация персонала, специалистов и привлекаемых сил, проводящих испытания:

аккредитация 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 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.

4.8 Протокол испытаний должен содержать следующую информацию:

- описание топологических моделей тепловых процессов;
- описание тепловых граничных условий;
- описание источников переменных температур;
- описание источников переменных мощностей;
- оцениваемые характеристики: температуры в зависимости от времени в узлах модели ЭА, которые не должны превышать максимально допустимые значения, заданные в нормативных документах и технической документации;
- выводы по результатам испытаний.

5 Требования к подсистеме виртуальных испытаний электронной аппаратуры на нестационарные тепловые воздействия

5.1 Подсистема виртуальных испытаний электронной аппаратуры на нестационарные тепловые воздействия должна отвечать требованиям 1.3 и ГОСТ Р 70201, является составной частью САПР ЭА в соответствии с ГОСТ Р 70291.

5.2 Необходимо наличие базы данных материалов по теплофизическим параметрам.

5.3 Порядок проведения виртуальных испытаний

5.3.1 Проводят идентификацию теплофизических параметров материалов ЭА при их отсутствии в базе данных. Идентифицируют коэффициент теплопроводности материала, коэффициент смазки, степень черноты материала, теплоемкость материала. Заносят идентифицированные значения параметров в базу данных.

5.3.2 Если объектами виртуальных испытаний являются произвольные конструкции шкафов и блоков ЭА, 3D-модели которых отсутствуют, создают топологические модели тепловых процессов в виде узлов и ветвей.

5.3.3 Если объектами виртуальных испытаний являются произвольные конструкции шкафов и блоков ЭА, 3D-модели которых созданы в CAD-системах в формате STEP, проверяют выполнение требований по устранению ошибок, упрощению и сохранению модели.

5.3.4 Если объектами виртуальных испытаний являются типовые конструкции шкафов и блоков ЭА, 3D-модели которых не созданы в CAD-системах в формате STEP, их создают в специализированном интерфейсе.

5.3.5 Проводят импорт 3D-модели.

5.3.6 Вводят материалы деталей из базы данных или теплофизические параметры материалов вручную в случае отсутствия материалов в базе данных.

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

5.3.8 Вводят тепловые граничные условия.

5.3.9 Задают источники переменных температур.

5.3.10 Задают источники переменных мощностей.

5.3.11 Проводят расчет конструкции ЭА на нестационарные тепловые воздействия.

5.3.12 В результате расчета получают температуры в зависимости от времени в узлах модели ЭА.

5.3.13 Для оценки показателей стойкости ЭА к нестационарным тепловым воздействиям сравнивают рассчитанные температуры в узлах модели ЭА с допустимыми значениями, заданными в нормативных документах и технической документации.

В приложении А приведен пример подсистемы виртуальных испытаний ЭА на нестационарные тепловые воздействия и результатов ее работы.

Приложение А
(справочное)

Пример подсистемы виртуальных испытаний электронной аппаратуры на нестационарные тепловые воздействия и результатов ее работы

Примером подсистемы виртуальных испытаний ЭА на нестационарные тепловые воздействия 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 ЭА и ЭКБ к комплексным тепловым, механическим, электромагнитным воздействиям, усталостной прочности к тепломеханическим воздействиям, для создания карт рабочих режимов ЭКБ, анализа показателей надежности ЭА и создания цифровых двойников ЭА и ЭКБ.

АСОНИКА — это замена натурных испытаний опытных образцов ЭА 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 ЭА и ЭКБ при одновременном повышении качества и надежности за счет сокращения количества натурных испытаний.

На этапе эскизного проектирования электроники (до создания электрических схем, чертежей и 3D-моделей) используют следующие подсистемы:

АСОНИКА-Т: подсистема анализа и обеспечения тепловых характеристик произвольных конструкций ЭА (3D-модель которых еще не создана, с возможностью ускоренного создания модели в специализированном интерфейсе);

АСОНИКА-М: подсистема анализа типовых конструкций блоков ЭА и ЭКБ на механические и тепловые воздействия (3D-модель которых еще не создана, с возможностью ускоренного создания модели в специализированном интерфейсе);

АСОНИКА-М-ШКАФ: подсистема анализа типовых конструкций шкафов ЭА на механические и тепловые воздействия (3D-модель которых еще не создана, с возможностью ускоренного создания модели в специализированном интерфейсе);

На этапе технического проектирования (после создания электрических схем, чертежей и 3D-моделей) используют следующие подсистемы:

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

На всех этапах проектирования электроники используют следующие подсистемы:

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

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

Результаты работы подсистем АСОНИКА-Т и АСОНИКА-М-3D представлены на рисунках А.1—А.13.

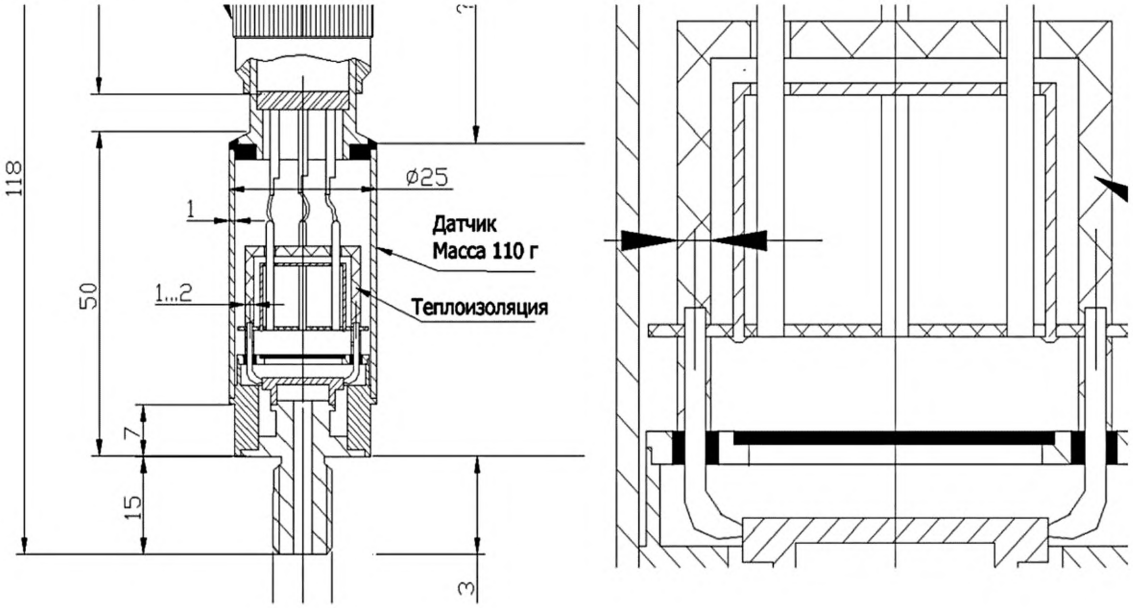


Рисунок А.1 — Чертежи датчика

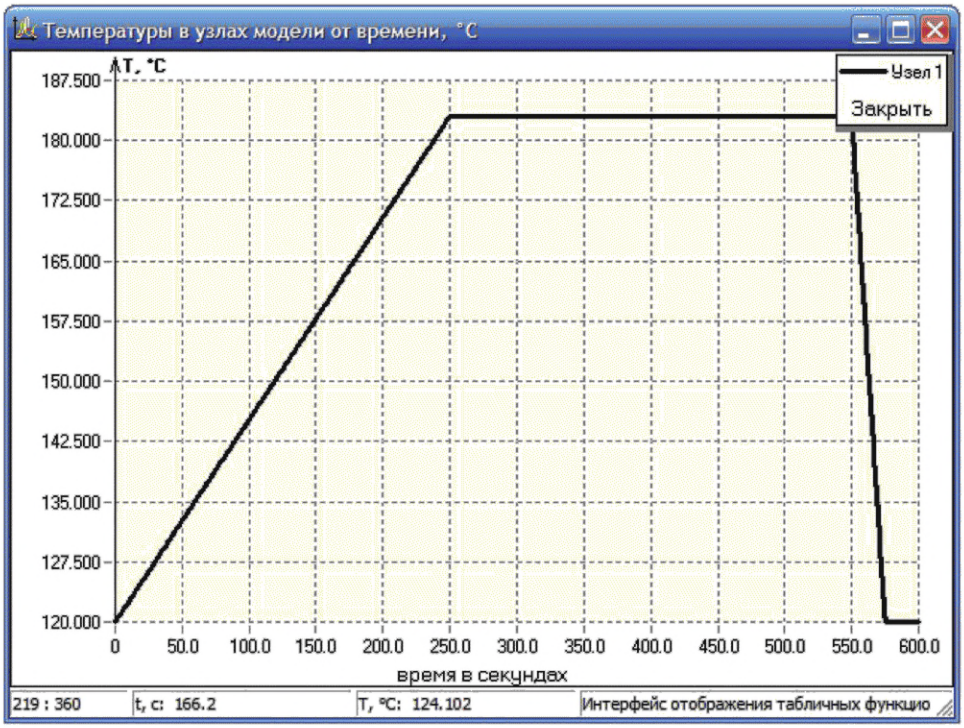
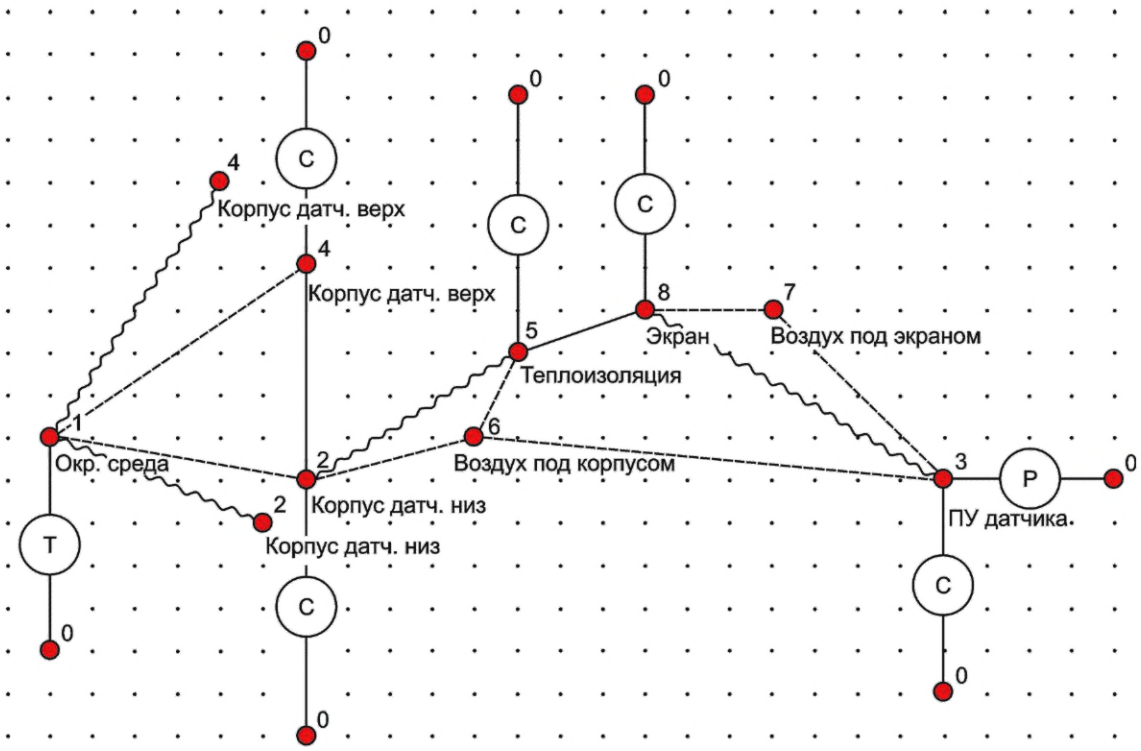


Рисунок А.2 — График внешнего теплового воздействия



Номер узла	Имя узла	Номер узла	Имя узла
1	Окружающая среда	5	Теплоизоляция
2	Корпус датчика низ	6	Воздух под корпусом датчика
3	Печатный узел датчика	7	Воздух под экраном
4	Корпус датчика верх	8	Экран

Рисунок А.3 — Модель тепловых процессов кассетного блока с продувом

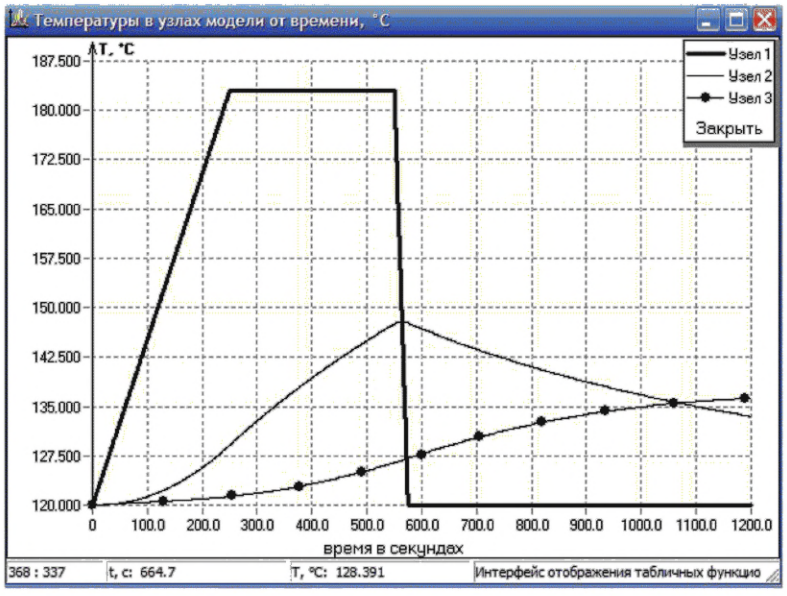
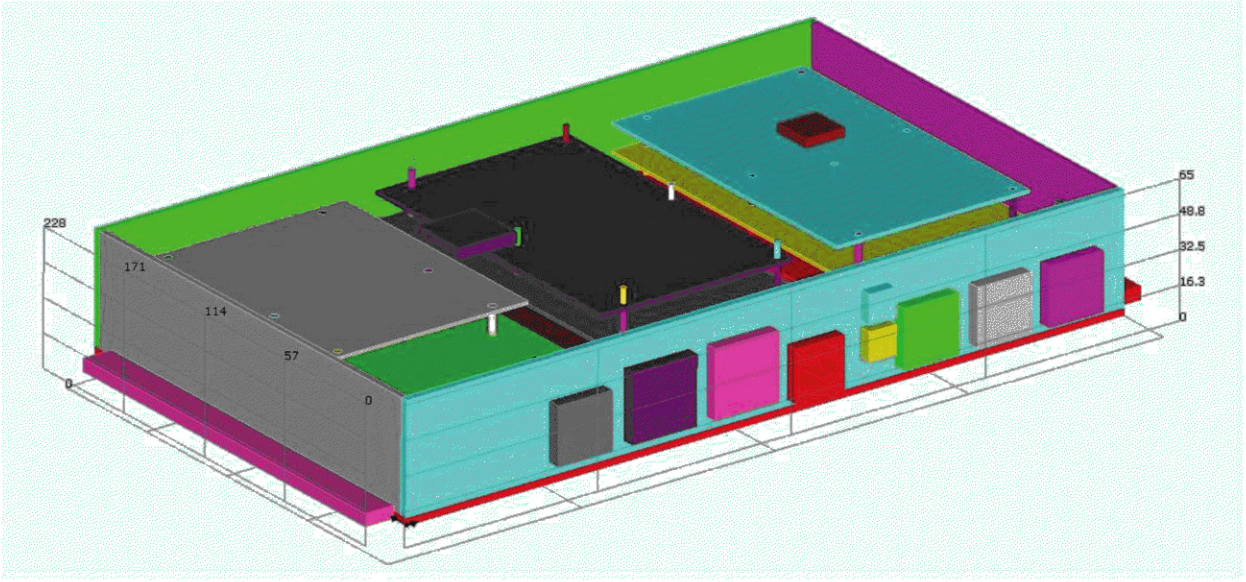
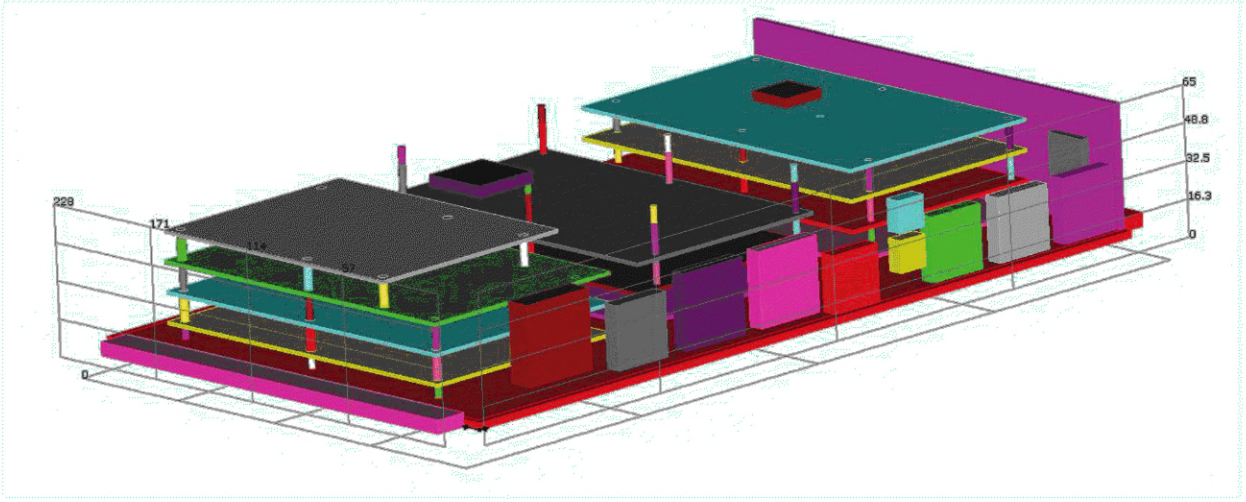


Рисунок А.4 — Результат расчета теплового режима датчика для окружающей среды, корпуса, печатного узла датчика (зависимость температуры от времени)



а)



б)

Рисунок А.5 — Конструкция блока ЭА, импортированная из CAD-системы в подсистему АСОНИКА-М-3D

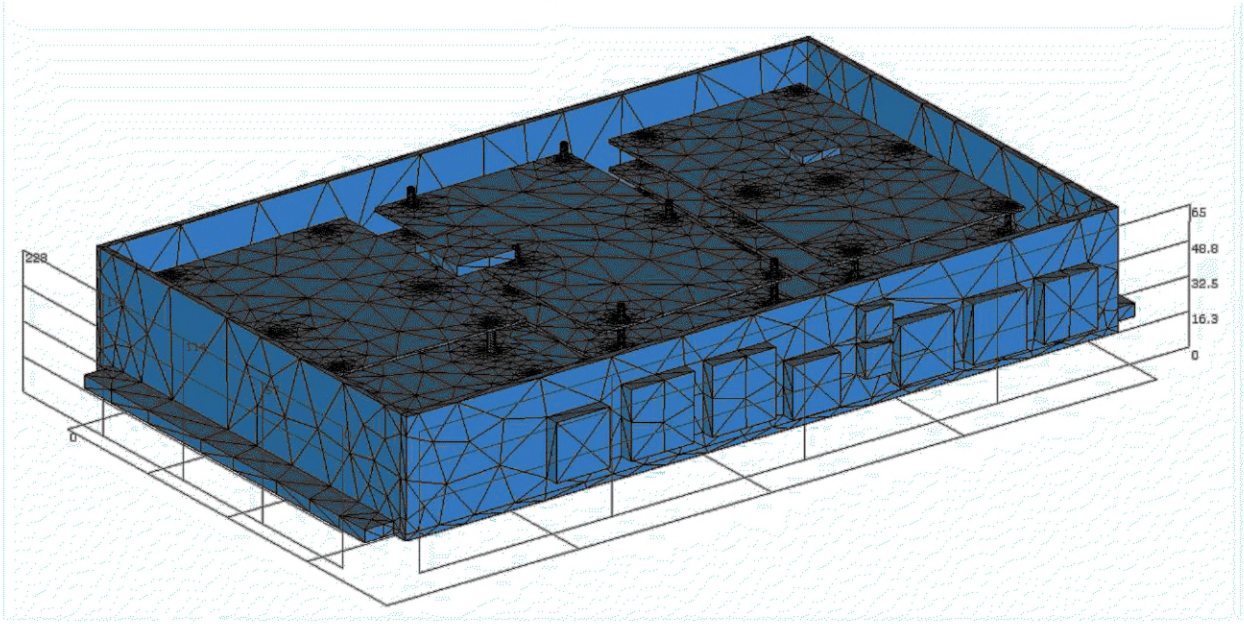


Рисунок А.6 — Автоматическое разбиение на конечные элементы

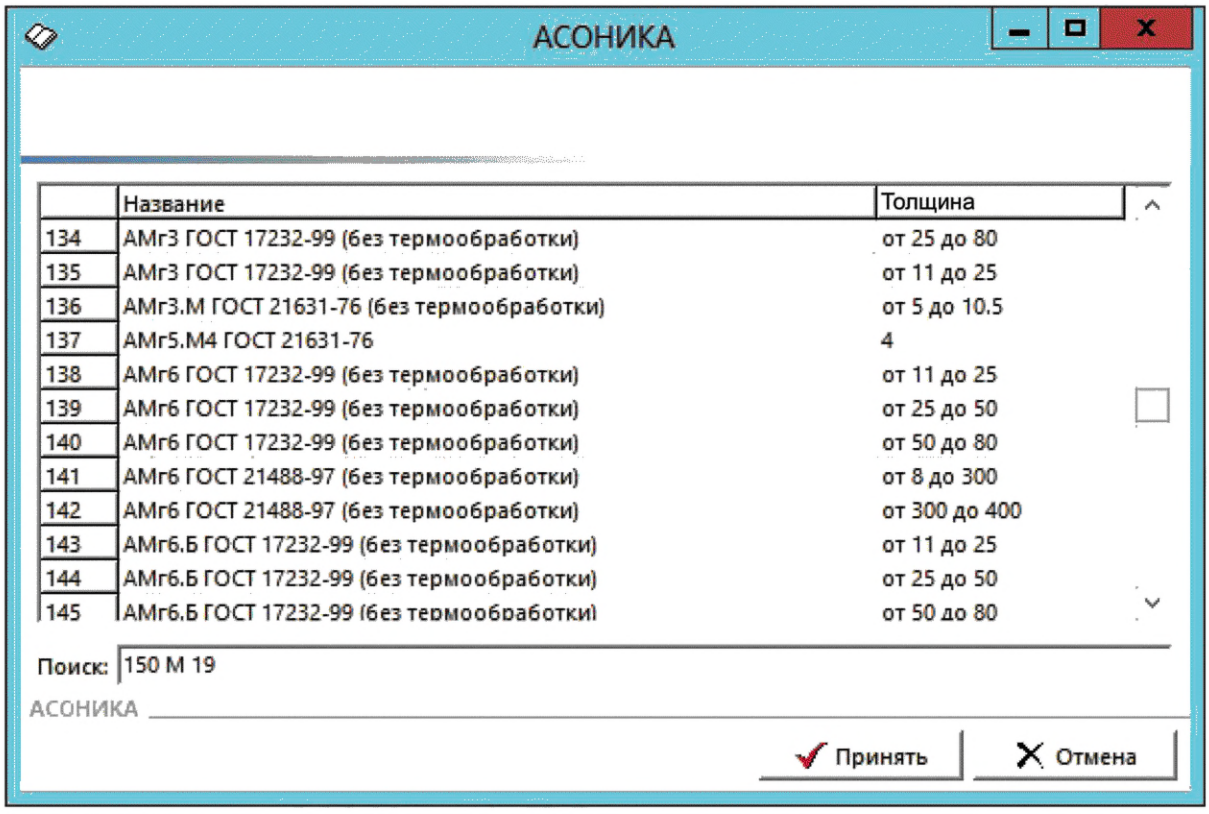


Рисунок А.7 — Диалоговое окно для выбора материала из базы данных

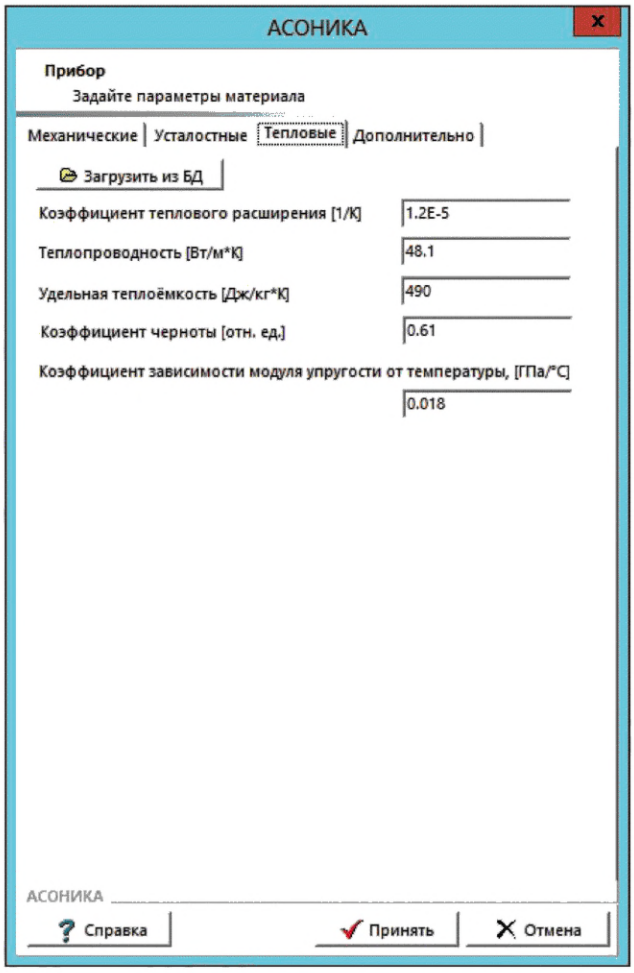


Рисунок А.8 — Диалоговое окно для задания параметров материала

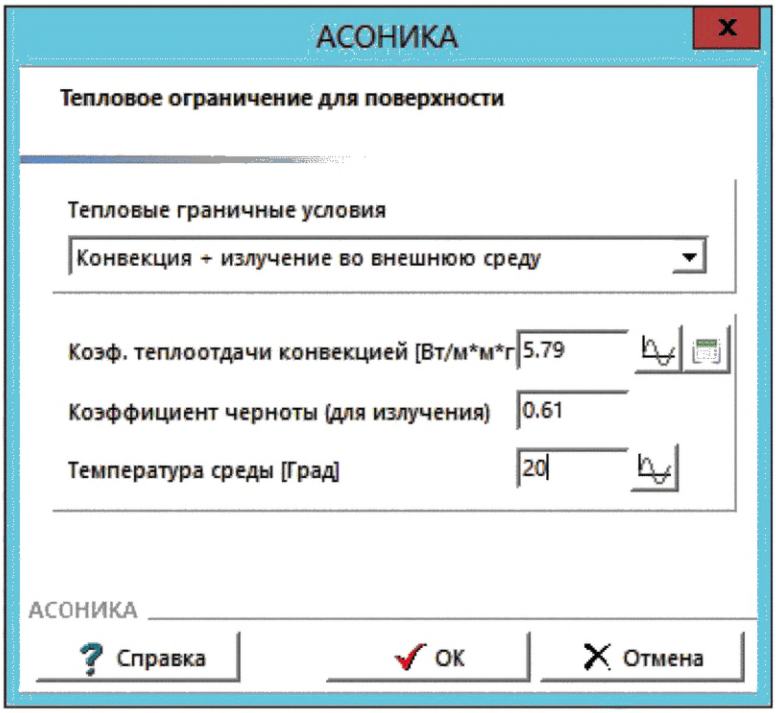


Рисунок А.9 — Задание тепловых граничных условий

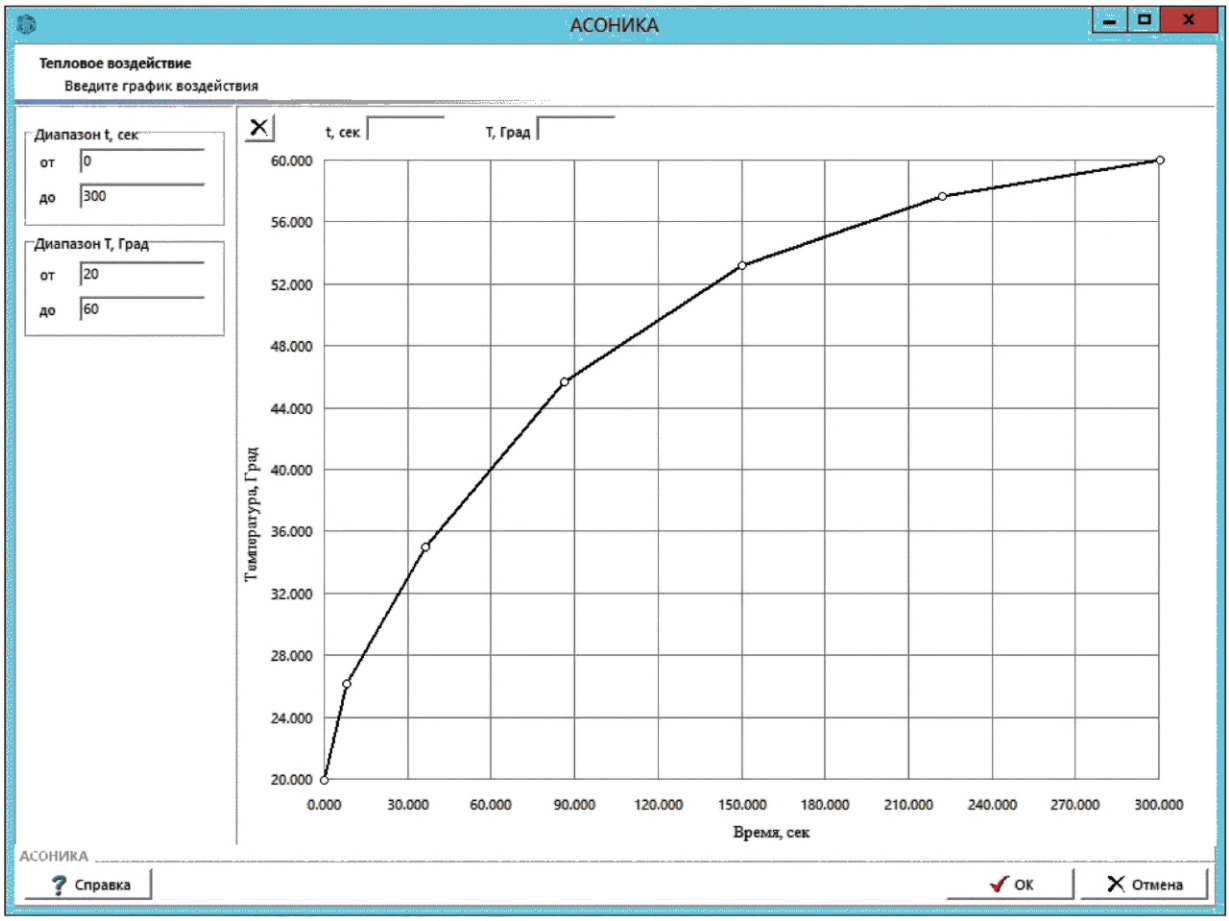


Рисунок А.10 — Задание источника переменной температуры

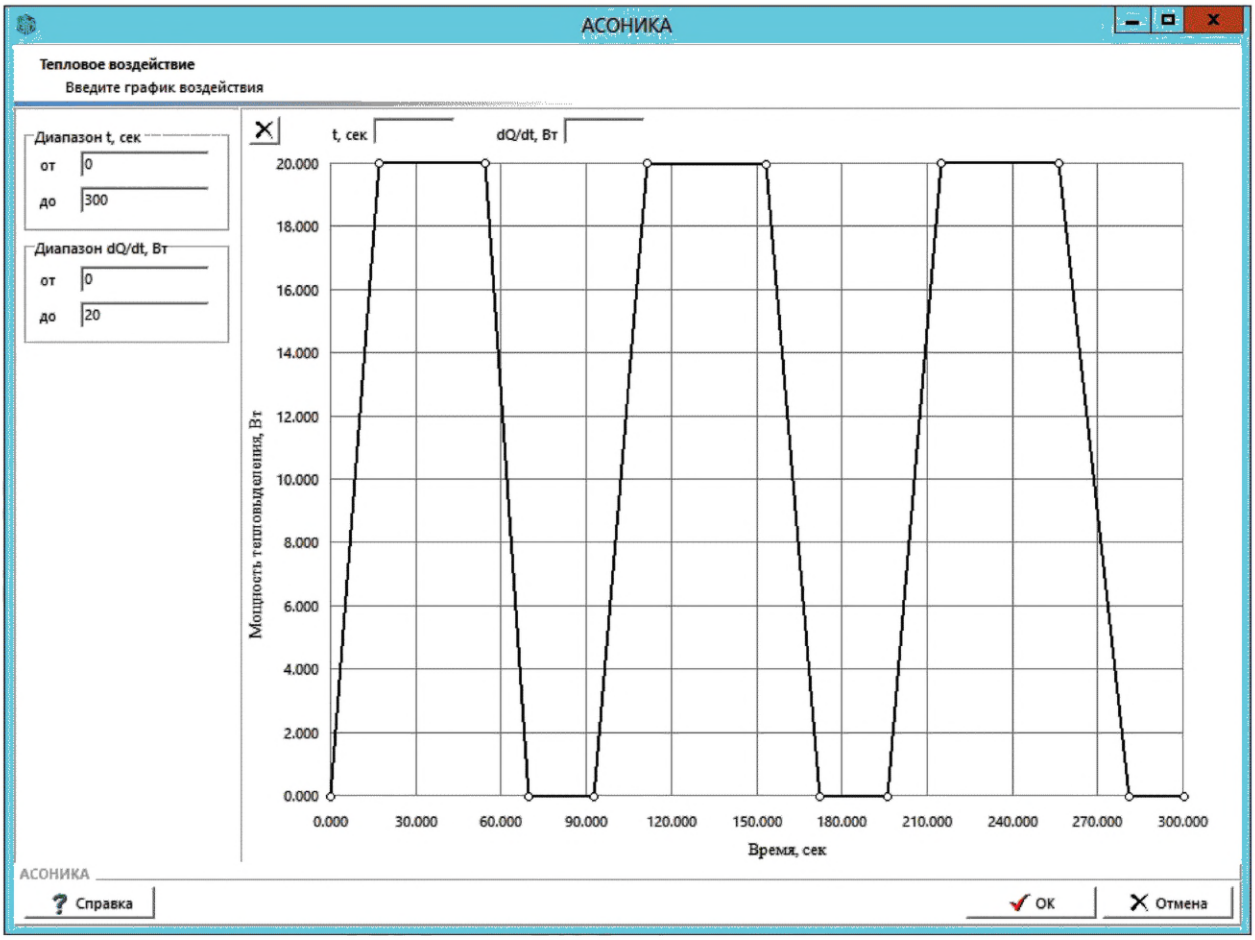


Рисунок А.11 — Задание источника переменной мощности

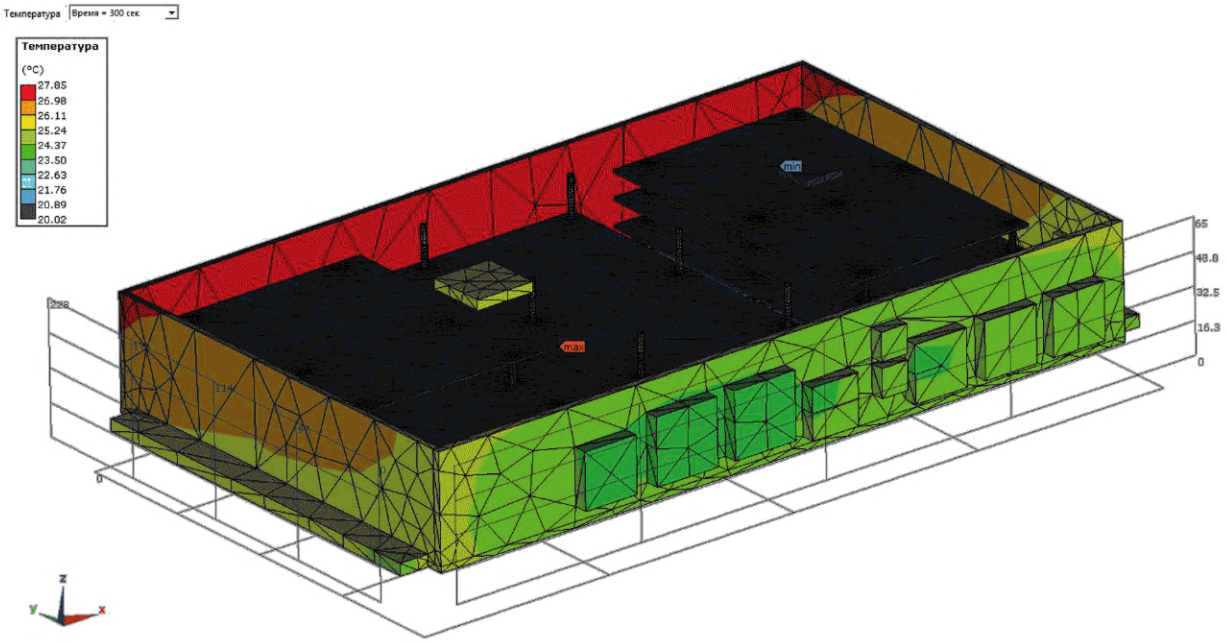


Рисунок А.12 — Температуры во всех точках конструкции блока ЭА в заданный момент времени

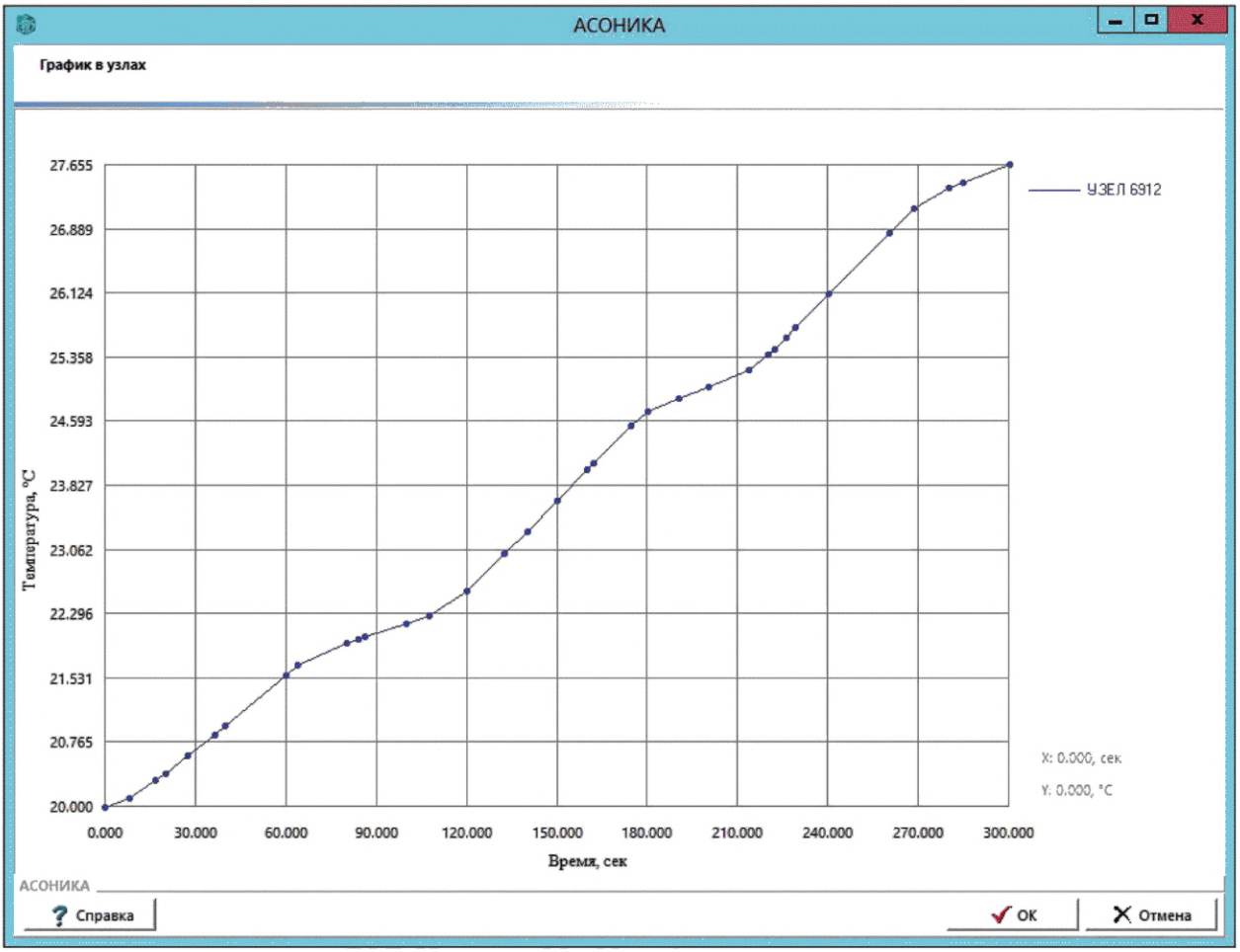


Рисунок А.13 — Зависимость температуры в контрольной точке конструкции блока ЭА от времени

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, нестационарное, тепловое воздействие, электронная аппаратура, температура

Редактор *Е.В. Якубова*
Технический редактор *И.Е. Черепкова*
Корректор *С.И. Фирсова*
Компьютерная верстка *Е.А. Кондрашовой*

Сдано в набор 08.09.2023. Подписано в печать 19.09.2023. 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

gost.e-ecolog.ru