РАНХиГС
РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАРОДНОГО ХОЗЯЙСТВА
И ГОСУДАРСТВЕННОЙ СЛУЖБЫ
ПРИ ПРЕЗИДЕНТЕ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ВЛАДИМИРСКИЙ
ФИЛИАЛ

А. С. Шалумов, М. А. Шалумов

Опыт применения автоматизированной системы АСОНИКА в промышленности Российской Федерации

МОНОГРАФИЯ

Владимир • 2017

УДК 004.3
ББК 32.965-04
Шал18

Рецензенты:

Озеркин Д. В. – декан радиоконструкторского факультета Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники, кандидат технических наук, доцент кафедры радиоэлектронных технологий и экологического мониторинга;

Хранилов В. П. – доктор технических наук, профессор кафедры «Компьютерные технологии в проектировании и производстве» института радиоэлектроники и информационных технологий Нижегородского государственного технического университета имени Р. Е. Алексеева.

Шалумов А. С., Шалумов М. А.
Шал18 Опыт применения автоматизированной системы АСОНИКА в промышленности Российской Федерации: монография. – Владимир : Владимирский филиал РАНХиГС, 2017. – 422 с.

ISBN 978-5-906773-57-9 **УДК 004.3**
ББК 32.965-04

В монографии рассмотрено множество примеров, полученных в результате многолетнего применения автоматизированной системы обеспечения надежности и качества аппаратуры АСОНИКА, разработанной под руководством профессора Шалумова А. С., на промышленных предприятиях Российской Федерации при проектировании электронной аппаратуры. Примеры посвящены моделированию шкафов, пультов, стоек, блоков, печатных узлов электронной аппаратуры на внешние тепловые, механические, электромагнитные воздействия, автоматизированному созданию карт рабочих режимов электрорадиоизделий и анализу показателей надежности с учетом реальных режимов работы электрорадиоизделий с помощью системы АСОНИКА. Значительное внимание уделено принятию решения по результатам моделирования. Полученные результаты моделирования подтверждаются испытаниями, а также надежным функционированием рассчитанной электронной аппаратуры в процессе эксплуатации.

Печатается по решению учёного совета Владимирского филиала РАНХиГС.

ISBN 978-5-906773-57-9
© Владимирский филиал РАНХиГС, 2017
© А. С. Шалумов, М. А. Шалумов, 2017

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ 7

1. МЕХАНИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ 18

1.1. Механические расчеты шкафов (АСОНИКА-М-ШКАФ) 18

1.1.1. Расчет механической прочности преобразователя собственных нужд электропоезда DESIRO RUS 18

1.1.2. Расчет устойчивости и прочности конструктивных элементов изделия «Л-01» к воздействию механических воздействующих факторов: анализ шкафов 29

1.1.3. Проведение механических расчетов АРМ-В с помощью системы АСОНИКА 36

1.2. Механические расчеты блоков (АСОНИКА-М, АСОНИКА-М-3D, АСОНИКА-ИД) 50

1.2.1. Расчет блока 002 на механические воздействия 50

1.2.2. Прочностной расчет конструктивного элемента блока СУ 67

1.2.3. Идентификация параметров моделей механических процессов в блоках радиоэлектронных средств 72

1.2.4. Моделирование механических процессов в приборе КСР при воздействии внешних нагрузок 78

1.2.5. Моделирование механических процессов в приборе УС при воздействии внешних нагрузок 88

2. МЕХАНИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ НА ВИБРОИЗОЛЯТОРАХ (АСОНИКА-В) 96

2.1. Расчеты шкафов на виброизоляторах 96

2.1.1. Автоматизированный анализ механического режима генераторного устройства (оценка эффекта от применения виброизоляторов) 96

2.1.2. Расчет устойчивости и прочности конструктивных элементов изделия «Л-01» к воздействию механических воздействующих факторов: стеллаж пятистоечный усеченный на виброизоляторах, стеллаж двухстоечный на виброизоляторах 101

2.1.3. Автоматизированная оценка стойкости навигационно-информационного пульта П4 к воздействию механических факторов 109

2.1.4. Проведение расчетов воздействия сейсмического удара на изделие ВК, размещенное в стойке 114

2.2. Расчеты блоков на виброизоляторах 120

2.2.1. Расчет устойчивости и прочности конструктивных элементов изделия «Л-01» к воздействию механических воздействующих факторов: блок УПМ 120

2.2.2. Идентификация параметров амортизаторов с помощью системы АСОНИКА-В 124

2.2.3. Моделирование параметров, количества и мест расположения виброизоляторов в радиоэлектронной аппаратуре 128

2.2.4. Моделирование механических процессов в датчике крена, установленном на виброизоляторах 133

3. ТЕПЛОВЫЕ РАСЧЕТЫ НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ (АСОНИКА-Т) 143
3.1. Тепловые расчеты шкафов 143
3.1.1. Разработка конструктива БНК-3 с унифицированной системой охлаждения 143

3.2. Тепловые расчеты блоков 174
3.2.1. Моделирование теплового режима модуля, входящего в стойку БНК-3 174
3.2.2. Моделирование тепловых процессов, протекающих в несущей конструкции приемопередатчика 179
3.2.3. Моделирование тепловых процессов в блоке преобразователя напряжения 181
3.2.4. Моделирование тепловых процессов в блоке картографа: тепловой расчет на предельные температуры 186
3.2.5. Моделирование тепловых процессов в конструкции блока с радиаторами 191
3.2.6. Расчет максимально допустимой рассеивающей мощности тепловыделения в корпусе усилителя мощности 194
3.2.7. Моделирование теплового режима блока УМТК-2 198

3.3. Тепловые расчеты элементов 204
3.3.1. Моделирование тепловых процессов в конструкции транзистора КТ43 на пластине 204
3.3.2. Моделирование тепловых процессов в конструкции транзистора КТ819 на радиаторе 206

4. ТЕПЛОВЫЕ И МЕХАНИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ ПУ (АСОНИКА-ТМ) 209
4.1. Механические расчеты ПУ 209
4.1.1. Расчет устойчивости и прочности печатных узлов изделия «Л-01» к воздействию механических факторов 209
4.1.2. Моделирование механических характеристик печатных узлов 191 и 192 при воздействии гармонической вибрации и сравнение полученных результатов с экспериментальными значениями 217
4.1.3. Расчет конструкций печатных узлов в составе блока преобразователя напряжения при механических воздействиях 221
4.1.4. Расчет различных вариантов конструкции печатного узла при механических воздействиях 225

4.2. Тепловые расчеты ПУ 232
4.2.1. Моделирование теплового режима функциональной ячейки, входящей в модуль стойки БНК-3 232
4.2.2. Моделирование тепловых процессов, протекающих в печатном узле приемопередатчика 239

4.3. Тепловые и механические расчеты ПУ 241
4.3.1. Моделирование механических и тепловых процессов в печатном узле ПКН1 241
4.3.2. Автоматизированная оценка стойкости печатного узла 1РС к тепловым и механическим воздействиям 247

5. МЕХАНИЧЕСКИЕ И ТЕПЛОВЫЕ РАСЧЕТЫ ПРОЧИХ ЭЛЕМЕНТОВ (АСОНИКА-М, АСОНИКА-М-3D, АСОНИКА-ТМ, АСОНИКА-Т) 259
5.1. Прочностной расчет маятника 259
5.2. Моделирование механических процессов в корпусе микросхем под воздействием лака 266
5.3. Идентификация физико-механических параметров материала рамы РМ56 с помощью подсистемы АСОНИКА-М 267
5.4. Расчет нестационарного теплового режима датчика с помощью АСОНИКА-Т 276

6. ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ РАСЧЕТЫ НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ (АСОНИКА-ЭМС) 286
6.1. Моделирование электромагнитных процессов в электронной аппаратуре 286

7. СКВОЗНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ, ТЕПЛОВЫХ И МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК, АНАЛИЗ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ И ФОРМИРОВАНИЕ КАРТ РАБОЧИХ РЕЖИМОВ (АСОНИКА-УСТ, АСОНИКА-Б, АСОНИКА-Р, АСОНИКА-БД, АСОНИКА-УМ И ДР.) 293
7.1. Применение комплекса АСОНИКА при проектировании РЭА на несущих конструкциях первого, второго и третьего уровней 293
7.1.1. Описание рассчитываемых изделий 293
7.1.2. Разработка и сопровождение виртуального проекта в АСОНИКА-УМ 302
7.1.3. Расчет теплового режима стойки 18-02 304
7.1.4. Расчет аэродинамических процессов стойки 18-02 313
7.1.5. Расчет теплового режима блока ШС10-Е 322
7.1.6. Расчет механических характеристик блока ШС10-Е 329
7.1.7. Расчет системы виброизоляции блока ШС10-Е 332
7.1.8. Разработка базы данных для тепломеханических расчетов АСОНИКА-ТМ 336
7.1.9. Расчет электрических процессов в модуле питания 339
7.1.10. Выводы 341
7.1.11. Расчет тепломеханических процессов печатных узлов блока ШС10-Е с помощью АСОНИКА-ТМ с учетом электрических процессов 342
7.1.11.1. Расчет тепломеханических процессов модуля ШС10-01Е 342
7.1.11.1.1. Расчет механических процессов печатного узла ШС10-011Е 343
7.1.11.1.2. Расчет тепловых процессов печатного узла ШС10-011Е 350
7.1.12. Исследование надежности блока ШС10-Е 357
7.1.12.1. Идентификация параметров ЭРИ изделия ШС10-Е 357
7.1.12.2. Исследование надежности электронных ячеек блока ШС10-Е 362
7.1.12.3. Расчет надежности блока ШС10-Е 378

7.2. Моделирование изделия МТКУ 393
7.2.1. Исходные данные и задачи для моделирования изделия МТКУ 393
7.2.2. Моделирование механических процессов в изделии МТКУ (АСОНИКА-М-3D) 396
7.2.3. Моделирование тепловых процессов в изделии МТКУ (АСОНИКА-Т) 399
7.2.4. Моделирование механических и тепловых процессов в плате БО8 (АСОНИКА-ТМ) 405
7.2.5. Создание карт рабочих режимов платы регулятора БО8 (АСОНИКА-Р) 413
7.2.6. Анализ показателей надежности платы БО8 (АСОНИКА-Б) 415
7.2.7. Анализ показателей долговечности платы БО8 (АСОНИКА-УСТ) 415

7.3. Другие примеры сквозного моделирования 418

ЗАКЛЮЧЕНИЕ 420

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ 421

ВВЕДЕНИЕ

Эксплуатация бортовых РЭС характеризуется воздействием на них совокупности жестких внешних факторов, которые действуют одновременно, что приводит к отказам системного характера. Такие отказы трудно выявить при испытаниях, так как нет стендов, которые позволяли бы комплексно воспроизвести одновременно электрические процессы функционирования, сопутствующие тепловые, механические, аэродинамические, радиационные и другие внешние воздействия, технологические явления случайных разбросов параметров, старение, коррозию и другие деградационные факторы. Проблема осложняется тем, что современные РЭС включают в себя сложные микроэлектронные изделия, обладающие определенными физико-технологическими особенностями, которые также должны быть учтены при комплексном математическом моделировании. Все эти факторы в своем совокупном и взаимосвязанном проявлении обязательно должны быть правильно учтены при схемно-конструкторско-технологическом проектировании, что можно выполнить только с помощью ЭВМ. В этом случае действительно могут быть заранее выявлены и устранены основания для системных отказов и обеспечены высокие показатели надежности РЭС.

С помощью автоматизированной системы обеспечения надежности и качества аппаратуры АСОНИКА [1-3], разработанной под руководством профессора Шалумова А. С., осуществляется автоматизированное проектирование и комплексное компьютерное моделирование высоконадежных радиоэлектронных средств (РЭС) в соответствии с требованиями CALS-технологий на этапах проектирование – производство – эксплуатация. Предлагаемая технология предназначена для применения в процессе проектирования РЭС и замены испытаний компьютерным моделированием на ранних этапах проектирования, что позволяет значительно сократить количество испытаний и возможных итераций при проектировании РЭС.

Система АСОНИКА предназначена для решения четырех основных проблем, существующих при разработке современных РЭС:

– предотвращение возможных отказов при эксплуатации на ранних этапах проектирования за счет комплексного моделирования разнородных физических процессов;

– обеспечение безопасности человека при полетах на самолетах (предотвращения авиакатастроф) за счет комплексного

автоматизированного анализа системы управления самолетом на основе созданной электронной модели при всех видах внешних дестабилизирующих факторов, в том числе в критических режимах;

– сокращение сроков и затрат на проектирование за счет доступности для разработчика аппаратуры предлагаемых программных средств и адекватности результатов моделирования;

– автоматизация документооборота и создание электронной модели РЭС за счет интеграции предлагаемых программных средств в рамках PDM-системы хранения и управления инженерными данными и жизненным циклом аппаратуры.

Причины существования четырех перечисленных проблем коренятся в недостатках процессов проектирования и отработки создаваемых образцов, связанных со слабым применением автоматизированных методов проектирования и современных информационных технологий, базирующихся на комплексном математическом моделировании одновременно протекающих в РЭС процессов (электрических, тепловых, механических, аэродинамических, электромагнитных и других), обусловленных как функционированием аппаратуры и воздействием внешних факторов, так и ее износом и старением. Выход из создавшегося положения лежит в унификации математических моделей разнородных физических процессов на основе существующей аналогии протекания. Это позволяет значительно снизить трудоемкость интеграции их в единую комплексную модель, обеспечить полноту и достоверность результатов моделирования, разработать соответствующую методологию и реализующую ее принципиально новую многофункциональную автоматизированную систему анализа схемотехнических и конструктивно-технологических решений и надежности проектируемых РЭС. Данная система получила название АСОНИКА. Система АСОНИКА внедрена на множестве предприятий военно-промышленного комплекса Российской Федерации.

Это первая российская автоматизированная система моделирования, которая рекомендуется специальными руководящими документами Министерства обороны РФ для замены испытаний электронной аппаратуры на ранних этапах проектирования, что позволяет создавать конкурентоспособную аппаратуру в минимальные сроки и с минимальными затратами.

Система АСОНИКА обеспечивает дополнение обычного перечня конструкторской документации результатами расчетов и моделями, по которым эти расчеты проведены. Тем самым формируется

электронный виртуальный макет создаваемой аппаратуры, который может быть передан на этапы изготовления и эксплуатации. В рамках системы АСОНИКА реализуется специальный программный комплекс, который формирует структуру электронного (виртуального) макета разрабатываемой аппаратуры, наполняет данную структуру результатами работы проблемных подсистем системы АСОНИКА. Эти подсистемы позволяют моделировать электрические, тепловые, аэродинамические, механические и деградационные процессы в аппаратуре, осуществляют диагностическое моделирование, анализ показателей надежности, а также позволяют интегрироваться с системами топологического проектирования систем и устройств телекоммуникаций Mentor Graphics, Altium Designere, PCAD и др.

Программный комплекс управляет процессом отображения результатов модельных экспериментов на геометрической модели, входящей в состав электронного макета, а также преобразует электронный макет после его обработки в формат стандарта ISO 10303 STEP. Данные, входящие в электронный макет, используются на последующих стадиях жизненного цикла РЭС.

В настоящее время система АСОНИКА состоит из тринадцати подсистем:

– анализа и обеспечения тепловых характеристик конструкций аппаратуры **АСОНИКА-Т**;

– анализа типовых конструкций блоков РЭС на механические воздействия **АСОНИКА-М**;

– анализа типовых конструкций шкафов и стоек РЭС на механические воздействия **АСОНИКА-М-ШКАФ**;

– анализа и обеспечения стойкости произвольных объемных конструкций, созданных в системах ProEngieer, SolidWorks и других CAD-системах в форматах IGES, SAT и STEP, к механическим воздействиям **АСОНИКА-М-3D**;

– идентификации физико-механических и теплофизических параметров моделей РЭС **АСОНИКА-ИД**;

– анализа и обеспечения стойкости к механическим воздействиям конструкций РЭС, установленной на виброизоляторах, **АСОНИКА-В**;

– анализа конструкций печатных узлов РЭС на тепловые и механические воздействия **АСОНИКА-ТМ**;

– автоматизированного заполнения карт рабочих режимов электрорадиоизделий (ЭРИ) **АСОНИКА-Р**;

– анализа показателей надежности РЭС с учетом реальных режимов работы ЭРИ **АСОНИКА-Б**;

– анализа усталостной прочности конструкций печатных плат и электрорадиоизделий при механических воздействиях **АСОНИКА-УСТ**;

– анализа и обеспечения электромагнитной совместимости РЭС **АСОНИКА-ЭМС**;

– справочная база данных электрорадиоизделий и материалов по геометрическим, физико-механическим, теплофизическим, электрическим, электромагнитным, усталостным и надежностным параметрам **АСОНИКА-БД**;

– управления моделированием РЭС при проектировании **АСОНИКА-УМ**.

Система АСОНИКА включает в себя следующие конверторы с известными САПР:

– модуль интеграции системы моделирования электрических процессов в схемах PSpice и подсистем АСОНИКА-Р, АСОНИКА-Б (ведется разработка модулей интеграции с системами Mentor Graphics и Altium Designere);

– модуль интеграции систем проектирования печатных узлов PCAD, Mentor Graphics, Altium Designere и подсистемы АСОНИКА-ТМ;

– модуль интеграции 3D-модели, созданной в системах КОМПАС, ProEngineer, SolidWorks, Inventor, T-FLEX в форматах IGES, SAT и подсистемы АСОНИКА-М (версия АСОНИКА-М-3D).

Структура автоматизированной системы АСОНИКА (рис. В.1) предусматривает, что в процессе проектирования, в соответствии с требованиями CALS-технологий, на базе подсистемы управления данными при моделировании АСОНИКА-УМ (PDM-системы) и с использованием подсистем моделирования происходит формирование электронной модели изделия. С помощь специального графического редактора вводится электрическая схема, которая сохраняется в базе данных проектов в подсистеме АСОНИКА-УМ и передается в виде файла в системы анализа электрических схем PSpice, Mentor Graphics и Altium Designere, а также в системы размещения и трассировки печатных плат PCAD, Mentor Graphics, Altium Designere и OrCAD. Выходные файлы системы PCAD в формате PDIF и Mentor Graphics, Altium Designere, OrCAD в формате IDF либо сохраняются в подсистеме АСОНИКА-УМ, либо направляются в системы КОМПАС, ProEngineer, SolidWorks, Inventor, T-FLEX для создания чертежей и опять-таки сохраняются в подсистеме АСОНИКА-УМ.

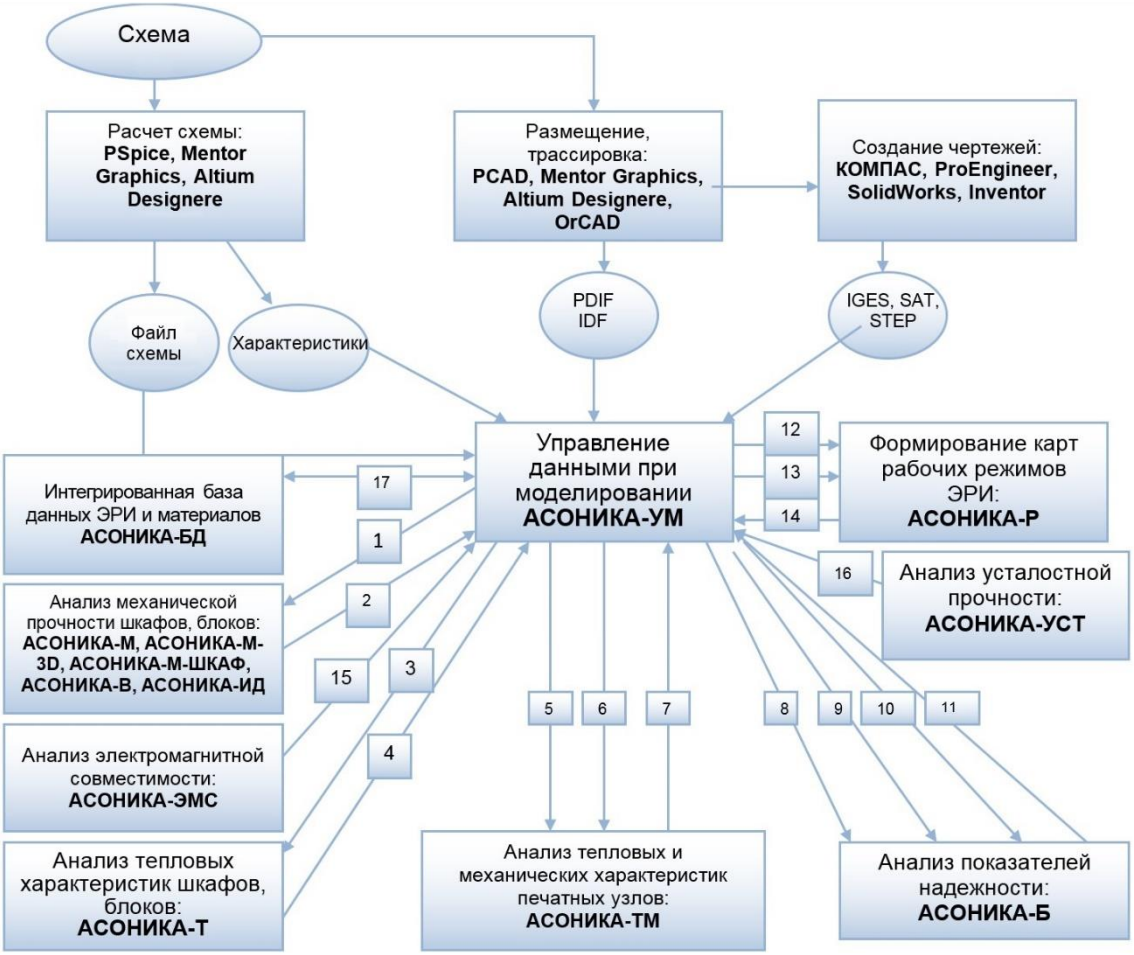


Рис. В.1. Структура автоматизированной системы АСОНИКА

В подсистему АСОНИКА-УМ также передаются 3D-модели шкафов и блоков РЭС, созданные в системах КОМПАС, ProEngineer, SolidWorks, Inventor и др. в форматах IGES, SAT и STEP, которые из нее направляются в подсистемы АСОНИКА-М, АСОНИКА-М-3D, АСОНИКА-М-ШКАФ и АСОНИКА-В *(1)* для анализа механических процессов в шкафах и блоках РЭС, а также в подсистему АСОНИКА-Т *(3)* для анализа тепловых процессов в шкафах и блоках РЭС.

Полученные в результате моделирования напряжения, перемещения, ускорения и температуры в конструкциях шкафов и блоков сохраняются в подсистеме АСОНИКА-УМ *(2, 4)*. Чертежи печатных узлов (ПУ) и спецификации к ним, а также файлы в форматах PDIF и IDF передаются из подсистемы АСОНИКА-УМ в подсистему АСОНИКА-ТМ *(5)* для комплексного анализа тепловых и механических процессов в ПУ. Кроме того, передаются температуры воздуха в узлах, полученные в подсистеме АСОНИКА-Т, а также ускорения опор, полученные в подсистемах АСОНИКА-М, АСОНИКА-М-3D, АСОНИКА-М-ШКАФ *(6)*. Полученные в результате моделирования температуры и ускорения ЭРИ сохраняются в подсистеме АСОНИКА-УМ *(7)*.

Перечень ЭРИ *(8),* файлы с электрическими характеристиками ЭРИ *(9),* температурами и ускорениями ЭРИ *(10),* результаты электромагнитного *(15)* и усталостного *(16)* анализа, полученные в подсистемах АСОНИКА-ЭМС и АСОНИКА-УСТ, передаются из подсистемы АСОНИКА-УМ в подсистему анализа показателей надежности РЭС АСОНИКА-Б. Полученные в результате показатели надежности РЭС сохраняются в подсистеме АСОНИКА-УМ *(11).* Перечень ЭРИ, файлы с электрическими характеристиками ЭРИ *(12),* температурами и ускорениями ЭРИ *(13)* передаются из подсистемы АСОНИКА-УМ в подсистему формирования карт рабочих режимов ЭРИ АСОНИКА-Р. Полученные в результате карты рабочих режимов сохраняются в подсистеме АСОНИКА-УМ *(14).*

Система ориентирована на разработчика РЭС. С этой целью в подсистемах АСОНИКА-М и АСОНИКА-ТМ созданы специальные интерфейсы для ввода типовых конструкций аппаратуры – шкафов, блоков, печатных узлов, что значительно упрощает анализ физических процессов в РЭС.

Если бы пользователь строил модель механических процессов сложного шкафа или блока в обычной конечно-элементной системе, например, ANSYS, ему пришлось бы вначале пройти специальное обучение и набраться опыта, что заняло бы примерно около года, а затем в течение нескольких часов вводить саму модель. Для работы с системой АСОНИКА не нужно специального обучения, достаточно просто ввести в нее на доступном конструктору языке то, что представлено на чертеже. Ввод того же сложного шкафа может быть осуществлен в течение получаса.

Таким образом, полноценный комплексный анализ шкафа на тепловые и механические воздействия вплоть до каждого ЭРИ (получаем ускорения и температуры на каждом элементе) может быть проведен в течение 1 дня.

Подсистема **АСОНИКА-Т** позволяет осуществлять моделирование стационарных и нестационарных тепловых процессов в произвольных конструкциях РЭС с применением средств автоматизации. Данные средства позволяют в короткое время производить синтез моделей тепловых процессов на основе моделей типовых элементов. Подсистема имеет понятный интерфейс пользователя и легка в освоении. При анализе произвольных конструкций определяются температуры выделенных изотермических объемов и выводятся графики зависимости температур от времени для нестационарного теплового режима.

Подсистема **АСОНИКА-М** предназначена для расчета механических характеристик типовых конструкций блоков РЭС при воздействии гармонической и случайной вибраций, одиночных и многократных ударов, линейных ускорений. Графический интерфейс

ввода-вывода информации позволяет осуществить ввод конструкции по имеющемуся сборочному чертежу, а также отобразить результаты расчета механических характеристик конструкций.

Подсистема **АСОНИКА-М-ШКАФ** предназначена для расчета механических характеристик типовых конструкций шкафов и стоек РЭС при воздействии гармонической и случайной вибраций, одиночных и многократных ударов, линейных ускорений. Графический интерфейс ввода-вывода информации позволяет осуществить ввод конструкции по имеющемуся сборочному чертежу, а также отобразить результаты расчета механических характеристик конструкций.

Подсистема **АСОНИКА-М-3D** предназначена для расчета механических характеристик произвольных объемных конструкций РЭС - шкафов, стоек, блоков и др. - при воздействии гармонической и случайной вибраций, одиночных и многократных ударов, линейных ускорений. Подсистема имеет конвертор из 3D-модели (форматы IGES, SAT, STEP), созданной в КОМПАС, ProEngineer, SolidWorks, Autodesk Inventor.

Подсистема **АСОНИКА-ИД** предназначена для идентификации физико-механических и теплофизических параметров моделей РЭС и прежде всего: модуля упругости материала, коэффициента Пуассона материала; коэффициента механических потерь (КМП) в начальной точке; коэффициента зависимости КМП от механического напряжения.

Подсистема **АСОНИКА-В** предназначена для анализа механических характеристик конструкций шкафов, стоек и блоков РЭС, установленных на виброизоляторах, при воздействии гармонической и случайной вибраций, одиночных и многократных ударов, линейных ускорений, акустических шумов и для принятия решения на основе полученных механических характеристик с целью обеспечения стойкости РЭС при механических воздействиях. Графический интерфейс ввода-вывода информации позволяет осуществить ввод конструкции по имеющемуся сборочному чертежу, а также отобразить результаты расчета механических характеристик конструкций. Подсистема позволяет идентифицировать параметры виброизоляторов, а также оптимизировать их с целью снижения нагрузок на конструкцию. В результате моделирования могут быть получены зависимости ускорений конструкции на виброизоляторах от частоты и времени.

Подсистема **АСОНИКА-ТМ** предназначена для расчета стационарного и нестационарного тепловых режимов и механических характеристик ПУ, ЭРИ - при воздействии гармонической и случайной вибраций, одиночных и многократных ударов, линейных ускорений, акустических шумов. Графический интерфейс ввода-вывода информации позволяет осуществить ввод печатного узла по

имеющемуся сборочному чертежу, в том числе из систем P-CAD, Mentor Graphics, Altium Designere, OrCAD, а также отобразить результаты расчета тепловых и механических характеристик ПУ.

Подсистема **АСОНИКА-Р** позволяет осуществлять автоматическое заполнение карт рабочих режимов ЭРИ на основе перечня ЭРИ, введенного пользователем, и базы данных, содержащей предельно допустимые значения параметров ЭРИ согласно техническим условиям, в том числе в виде графических и аналитических зависимостей. В подсистему заложены все возможные формы карт рабочих режимов последней редакции РДВ.319.01.09-94 (2000 года). При этом перечень ЭРИ вводится как вручную, так и автоматически из файлов с перечнями. В процессе чтения перечня ЭРИ осуществляется проверка на их наличие в базе данных. В случае отличия записи ЭРИ в перечне и базе данных существует возможность назначить соответствие с целью выбора необходимого ЭРИ из имеющихся в базе данных. Значения параметров ЭРИ в схеме заполняются автоматически по результатам моделирования электрических, тепловых и механических характеристик. В результате применения подсистемы в процессе проектирования РЭС время, затрачиваемое на выпуск карт рабочих режимов ЭРИ, сокращается в несколько раз по сравнению с традиционным ручным заполнением карт режимов при существенном повышении достоверности получаемых результатов.

Подсистема **АСОНИКА-Б** позволяет анализировать шкафы, блоки, печатные узлы, ЭРИ и решать следующие задачи: 1) определение показателей безотказности всех ЭРИ; 2) обоснование необходимости и оценка эффективности резервирования РЭС. Подсистема поддерживает: 1) пассивное резервирование с неизменной нагрузкой; 2) активное нагруженное резервирование; 3) активное ненагруженное резервирование; 4) активное облегченное резервирование. В результате моделирования могут быть получены: эксплуатационные интенсивности отказов, вероятности безотказной работы и среднее время безотказной работы РЭС. Сервисное обеспечение подсистемы АСОНИКА-Б включает в себя: 1) базу данных с математическими моделями для расчета значений эксплуатационной интенсивности отказов ЭРИ и значениями коэффициентов, входящих в модели; 2) редактор базы данных. При этом перечень ЭРИ вводится как вручную, так и автоматически из файлов с перечнями. Подсистема позволяет импортировать тепловые и электрические характеристики ЭРИ из других подсистем системы АСОНИКА.

Подсистема **АСОНИКА-УСТ** предназначена для расчета времени до усталостного разрушения печатных плат и ЭРИ при воздействии гармонической вибрации, случайной вибрации, одиночных и многократных ударов. Результаты моделирования

содержат собственные формы и частоты ПУ, а также перемещения, напряжения и ускорения в узлах конструкции. Все параметры ЭРИ и материалов считываются из АСОНИКА-БД. Все параметры печатного узла конвертируются из подсистемы АСОНИКА-ТМ. Подсистема имеет удобный пользовательский графический интерфейс ввода-вывода.

Подсистема **АСОНИКА-ЭМС** позволяет решать следующие задачи:

1) расчет величин напряженности электрического и магнитного полей в трех измерениях внутри типового и произвольного корпуса электронного блока (импорт файлов моделей из CAD-систем в форматах IGES и SAT) при воздействии электромагнитных волн;

2) расчет эффективности экранирования электрического и магнитного полей корпусом типового и произвольного блока. Подсистема имеет удобный пользовательский графический интерфейс ввода-вывода. Реализована локальная база данных, содержащая электромагнитные параметры конструкционных материалов.

Подсистема **АСОНИКА-БД** предоставляет информацию: 1) по параметрам материалов; 2) по параметрам ЭРИ. База данных состоит из основных и дополнительных таблиц. Основные таблицы содержат нижеследующую информацию:

1) параметры материалов ПУ, несущих конструкций, выводов ЭРИ и лаков (клеев), применяемых при установке ЭРИ на печатную плату: механические, тепловые, допустимые, температурные зависимости;

2) оптические свойства материалов конструкций РЭС;

3) параметры ЭРИ: классы и группы ЭРИ; типы ЭРИ и технические условия; полные условные записи ЭРИ; параметры, входящие в полную условную запись, и их возможные значения; варианты установки ЭРИ на печатную плату; модели вариантов установки ЭРИ; геометрические, механические, тепловые, электрические, надежностные, допустимые параметры ЭРИ; изображения ЭРИ на плоскости и в пространстве.

Создаются дополнительные таблицы. Дополнительные таблицы могут содержать числовые, строковые, логические, текстовые, графические и функциональные зависимости параметры ЭРИ.

Подсистема **АСОНИКА-УМ** позволяет осуществить интеграцию САПР, внедрённых на предприятии - Pro/ENGINEER, P-CAD, АСОНИКА, КОМПАС, AutoCAD, PSpice и др., и управлять передачей данных между подсистемами при моделировании в процессе конструкторского проектирования РЭС. Подсистема стыкуется с любой используемой на предприятии PDM-системой. В ходе проектирования подсистема позволяет сформировать комплексную электронную модель РЭС в рамках математических моделей тепловых,

электрических, аэродинамических, электромагнитных, механических процессов и математической модели надежности и качества РЭС.

Реализация описанной интеграции положила начало развитию и внедрению CALS-технологий на предприятиях радиоэлектронной и приборостроительной отраслей. Интеграция программных продуктов позволяет выполнить сквозное автоматизированное проектирование РЭС на основе комплексного моделирования физических процессов. Язык интерфейса пользователя с программами максимально приближен к языку разработчика РЭС. На освоение предлагаемых программ требуется сравнительно малое время. При их внедрении достигается достаточно высокая скорость решения задач моделирования и значительная экономия материальных средств за счет сокращения количества испытаний. Повышается надежность и качество РЭС, проектируемой на основе предлагаемой интегрированной САПР.

Информационная согласованность всей системы обеспечивается на уровне электронной модели РЭС, информация в которой представлена в виде совокупности информационных объектов и взаимосвязей между ними, регламентированных стандартом ISO 10303 STEP, при отсутствии дублирования информации. В этом случае существует необходимость только в интерфейсах между каждой отдельно взятой подсистемой и подсистемой АСОНИКА-УМ. Данные интерфейсы позволяют преобразовать совокупность информационных объектов электронной модели РЭС, описывающих исходные данные для целевой подсистемы, в файлы проекта данной подсистемы и, наоборот, преобразовать файлы проекта исходной подсистемы в совокупность информационных объектов электронной модели РЭС и взаимосвязей между ними, регламентированных стандартом ISO 10303 STEP, гарантируя однозначность представления информации в электронной модели РЭС.

Данное решение информационной согласованности обеспечивает гибкость структуры системы АСОНИКА. Таким образом, при обновлении и замене существующих подсистем, а также при добавлении новых подсистем в данную структуру необходимо провести изменения интерфейсов интеграции с подсистемой АСОНИКА-УМ только подсистем, подлежащих замене либо вводимых в состав структуры. Сложность интерфейсов определяется используемыми в качестве компонентов сквозной САПР РЭС программными системами.

Целью внедрения системы АСОНИКА является повышение эффективности работы структурных подразделений предприятия, приведение их в соответствие с современными мировыми и отечественными стандартами качества, сокращение сроков

проектирования и разработки наукоемких РЭС, повышение надежности разрабатываемых РЭС.

Внедрение данного программного комплекса позволяет получить значительную экономию материальных средств за счет сокращения количества испытаний при внедрении предлагаемого программного обеспечения.

Таким образом, результатом внедрения системы АСОНИКА станет переход на принципиально новый уровень информационных технологий, что позволит расширить номенклатуру выпускаемой продукции, сократить сроки выхода на рынок новых изделий, снизить брак и затраты на производство.

Подробная информация о системе АСОНИКА находится на сайте www.asonika-online.ru. По всем вопросам по системе АСОНИКА можно писать по электронной почте als@asonika-online.ru профессору, доктору технических наук Шалумову Александру Славовичу.

1. МЕХАНИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ

1.1. Механические расчеты шкафов (АСОНИКА-М-ШКАФ)

1.1.1. Расчет механической прочности преобразователя собственных нужд электропоезда DESIRO RUS

Цели и задачи расчета.

Целью работы является расчет механической прочности преобразователя собственных нужд (далее по тексту – ПСН) электропоезда «Ласточка» семейства Desiro RUS производства Siemens AG с помощью программного комплекса АСОНИКА (подсистема АСОНИКА-М-ШКАФ).

В соответствии с техническим заданием, ПСН должен быть рассчитан для виброустойчивой и надежной эксплуатации при механическом воздействии окружающей среды, относительно вибраций и ударных нагрузок согласно ГОСТ 17516.1-90. ПСН отнесен к группе М25 «Изделия, которые устанавливаются в кузова вагонов и подкузовные камеры».

Основными задачами работы являются: определение собственных частот и формы колебания ПСН; статический расчёт; динамический расчёт (при воздействии синусоидальной вибрации и удара одиночного воздействия).

Параметры заданных механических воздействий.

Параметры заданных механических воздействий представлены в таблице 1.1.1.1.

Таблица 1.1.1.1

Параметры заданных механических воздействий

Параметр		Значение
Группа механического исполнения		М25
Область применения		Под кузовом вагонов железнодорожного транспорта
Синусоидальная вибрация	Диапазон частот, Гц	0,5-100
	Максимальная амплитуда ускорения, м/с^2	10
Удары одиночного действия	Пиковое ударное ускорение, м/с^2 (только в одном горизонтальном направлении)	30
	Длительность действия ударного ускорения, мс	2-20

Синусоидальная вибрация оценивается по трем взаимно перпендикулярным направлениям, как показано на рисунке 1.1.1.1.

Удар одиночного воздействия оценивается в одном горизонтальном направлении, как показано на рисунке 1.1.1.2, где

ось X соответствует направлению движения;

ось Y находится в горизонтальной плоскости, поперечной к направлению движения;

положительная ось Z соответствует вертикальной оси транспортного средства и указывает вверх.

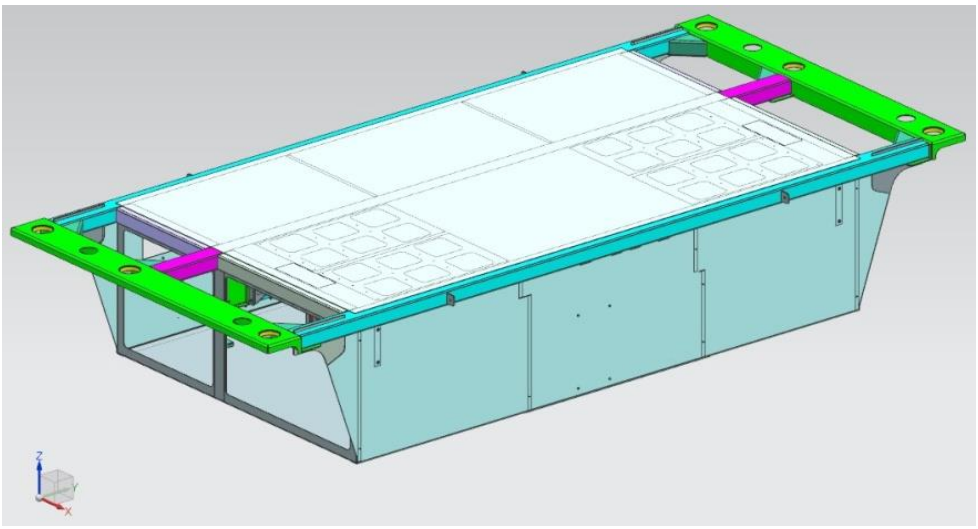


Рис. 1.1.1.1. Синусоидальная вибрация оценивается по трем взаимно перпендикулярным направлениям

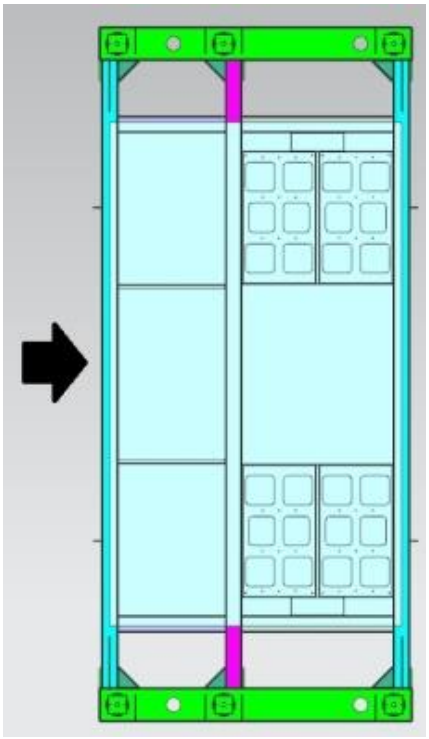


Рис. 1.1.1.2. Удар одиночного воздействия оценивается в одном горизонтальном направлении

Расчет ведется по предоставляемой заказчиком 3D-модели, с учетом сварных соединений. При расчете учитываются массы электронных модулей и компонентов, устанавливаемых внутри ПСН. Механическая прочность электронных модулей и компонентов, входящих в состав ПСН, не рассматривается. Расчет соответствует всему предельному диапазону температуры окружающей среды контейнера ПСН.

Описание конструкции.

ПСН представляет собой металлический сварной контейнер с установленными внутри электронными модулями и электротехническими изделиями. ПСН устанавливается под кузовом вагона и имеет шесть точек креплений. Корпус ПСН изготовлен из стали марки 09Г2С. Вагон, на который устанавливается ПСН, имеет амортизаторы. ПСН соответствует исполнению У, категория размещения 1 по ГОСТ15150-69, что соответствует следующим условиям: рабочий диапазон температуры окружающего воздуха от минус 40º С до плюс 40º С; предельный диапазон температуры окружающего воздуха от минус 50º С до плюс 45º С.

Описание входных конструктивных данных.

На рис. 1.1.1.3 представлена модель конструкции ПСН, загруженная в подсистему АСОНИКА-М-ШКАФ.

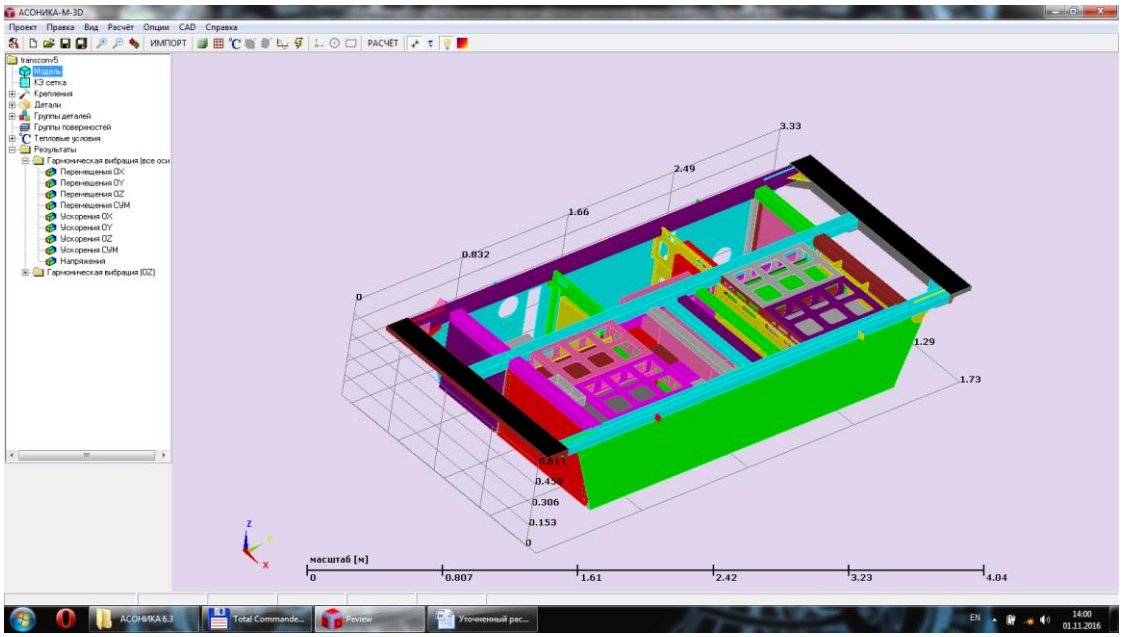


Рис. 1.1.1.3. Общий вид импортированной модели

Далее создается сетка конечных элементов, которая представлена на рис. 1.1.1.4.

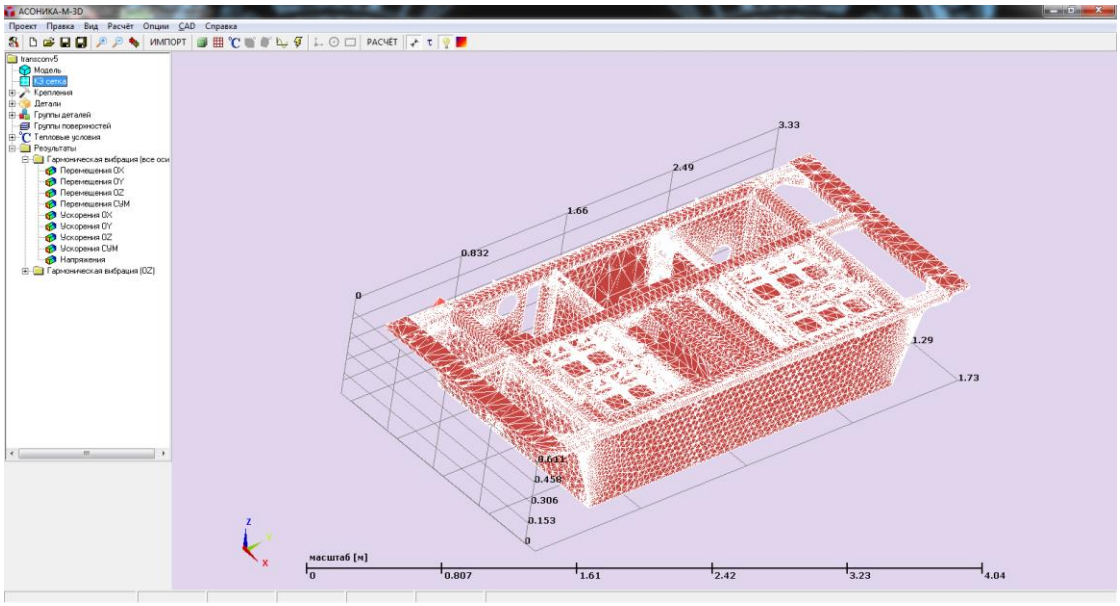


Рис. 1.1.1.4. Конечно-элементная сетка ПСН

Перед импортированием конструкции блока в подсистему АСОНИКА-М-ШКАФ в нее вносятся некоторые упрощения, такие как скрытие некоторых электронных компонентов, удаление скруглений, фасок и мелких деталей.

Заданные механические воздействия.

На рис. 1.1.1.5, 1.1.1.6 представлены графики механических воздействий, созданные в подсистеме АСОНИКА-М-ШКАФ.

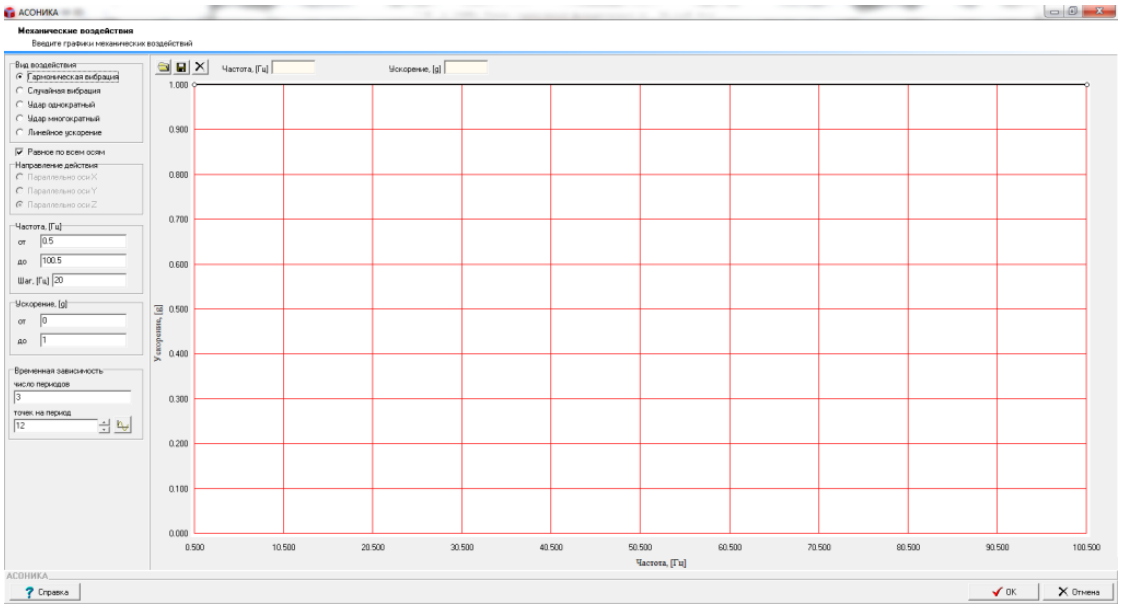


Рис. 1.1.1.5. График входного воздействия для синусоидальной вибрации

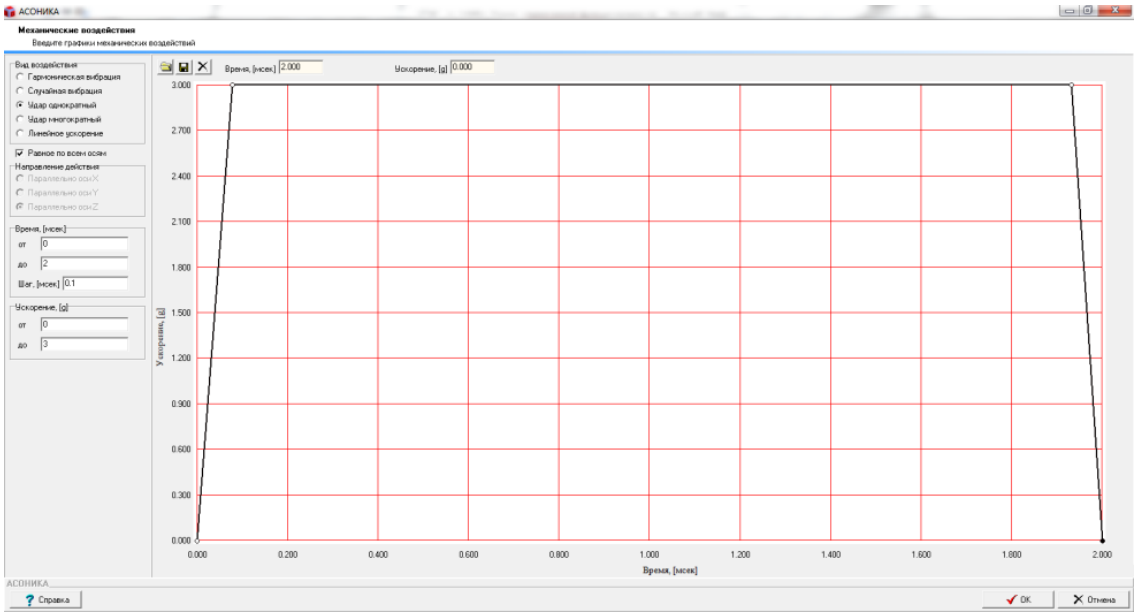


Рис. 1.1.1.6. График входного воздействия для удара одиночного действия

Результаты моделирования при воздействии синусоидальной вибрации.

Из рис. 1.1.1.7, 1.1.1.8 видно, что на частоте 60,5 Гц есть резонанс.

На рис. 1.1.1.9 выведены максимальные перемещения по оси X при гармонической вибрации (частота резонанса 60,5 Гц). Можно посмотреть аналогичные данные по осям Y и Z, а также максимальные суммарные перемещения при гармонической вибрации (частота резонанса 60,5 Гц).

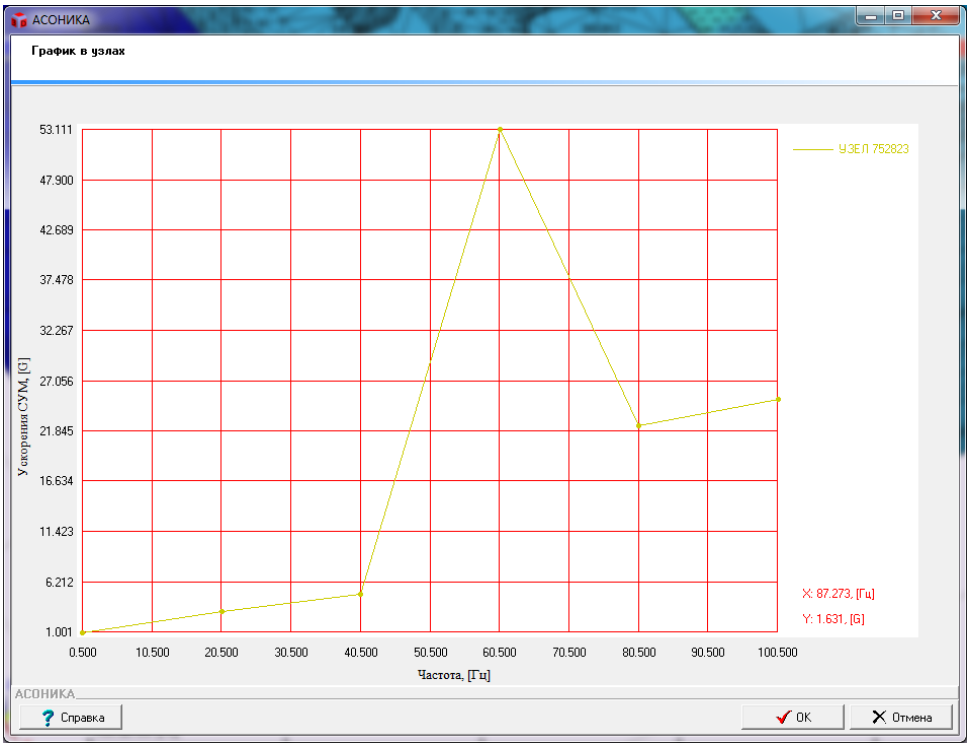


Рис. 1.1.1.7. График в узлах

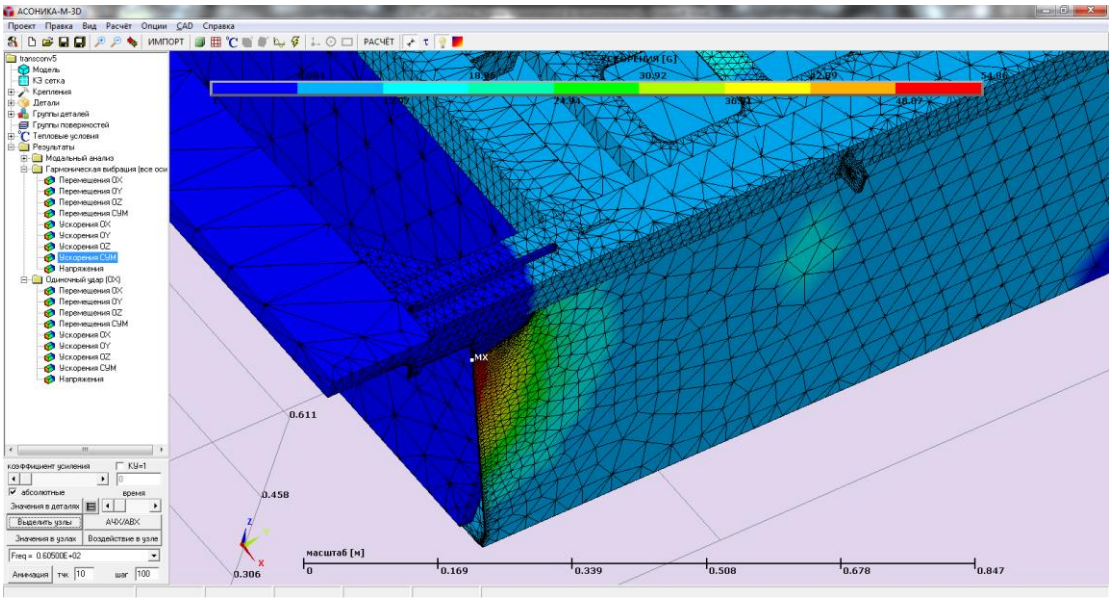


Рис. 1.1.1.8. Зависимость максимального суммарного ускорения от частоты гармонической вибрации (в точке MX на рисунке ниже графика)

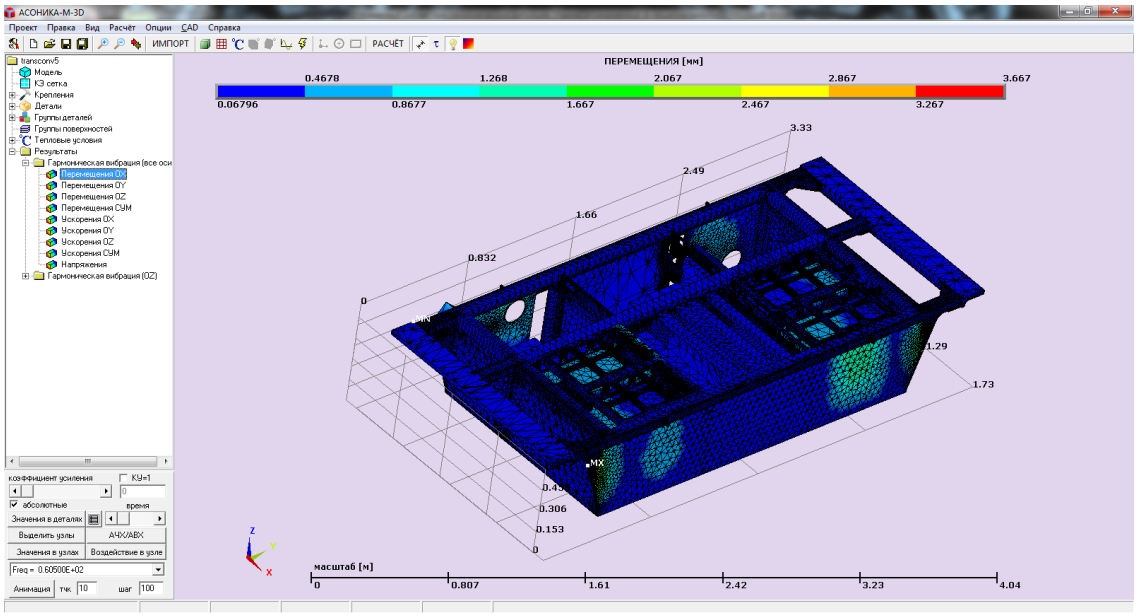


Рис. 1.1.1.9. Максимальные перемещения по оси X при гармонической вибрации (частота резонанса 60,5 Гц)

На рис. 1.1.1.10 выведены максимальные ускорения по оси X при гармонической вибрации (частота резонанса 60,5 Гц). Можно посмотреть аналогичные данные по осям Y и Z, а также максимальные суммарные ускорения при гармонической вибрации (частота резонанса 60,5 Гц).

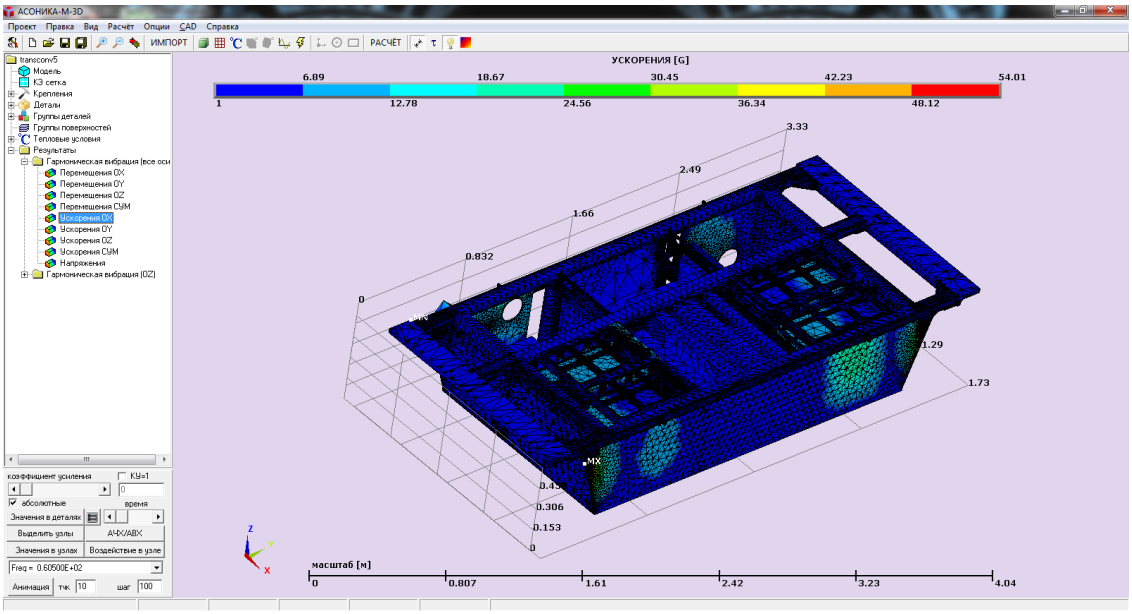


Рис. 1.1.1.10. Максимальные ускорения по оси X при гармонической вибрации (частота резонанса 60,5 Гц)

На рис. 1.1.1.11 выведены максимальные суммарные напряжения при гармонической вибрации (частота резонанса 60,5 Гц). Максимальное суммарное напряжение при воздействии синусоидальной вибрации составляет 99,98 МПа. Максимально допустимое напряжение составляет 490 МПа. Таким образом, расчетные напряжения в конструкции при воздействии синусоидальной вибрации не превышают допустимые значения, несмотря на наличие резонанса в конструкции на частоте 60,5 Гц (резонанс не опасен, так как максимальное расчетное напряжение меньше допустимого значения в 5 раз).

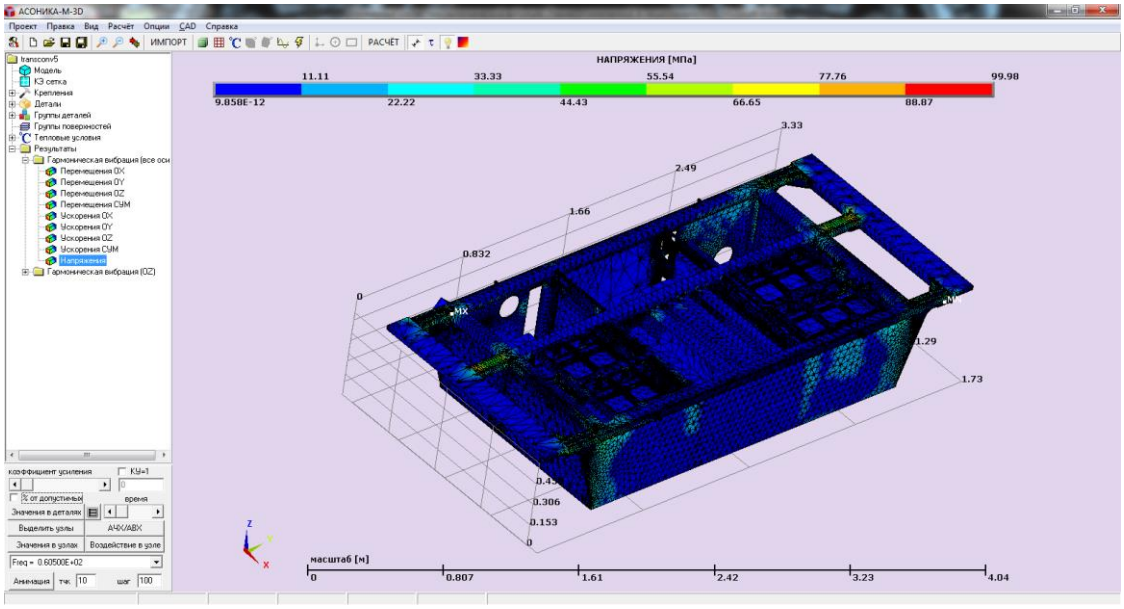


Рис. 1.1.1.11. Максимальные суммарные напряжения при гармонической вибрации (частота резонанса 60,5 Гц)

Результаты моделирования при воздействии удара одиночного действия.

На рис. 1.1.1.12 – 1.1.1.14 представлены результаты расчета ПСН на воздействие удара одиночного действия: график в узлах, зависимость максимального суммарного ускорения от времени (в точке MX на рисунке ниже), максимальные перемещения по оси X при ударе (момент времени 0,0097 мс). Аналогичные данные можно посмотреть по осям Y и Z, а также максимальные суммарные перемещения при ударе (момент времени 0,0097 мс).

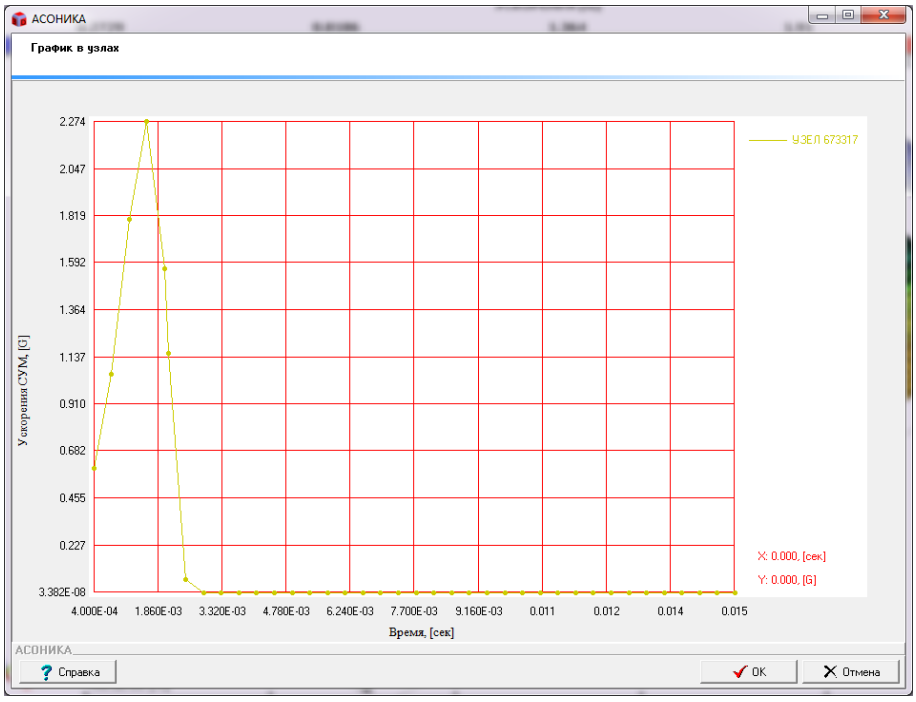


Рис. 1.1.1.12. График в узлах

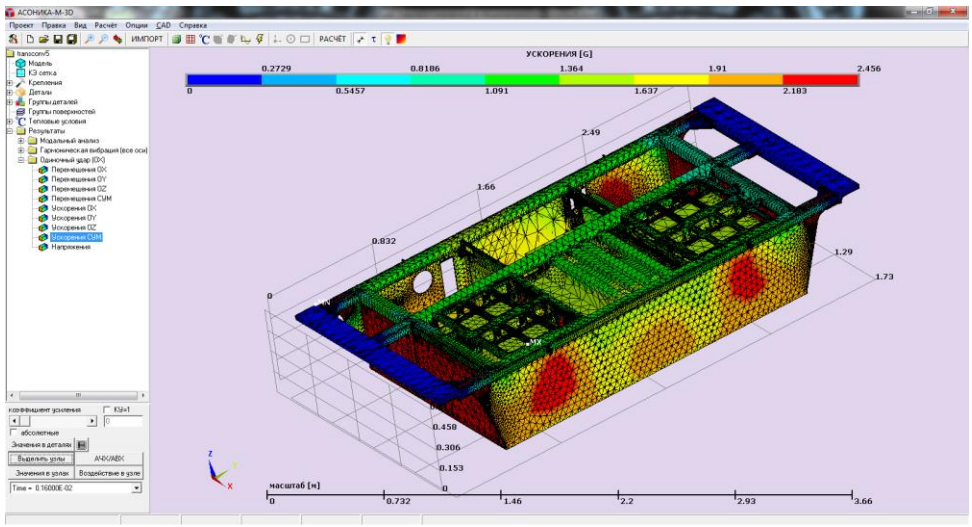


Рис. 1.1.1.13. Зависимость максимального суммарного ускорения от времени (в точке MX на рисунке ниже)

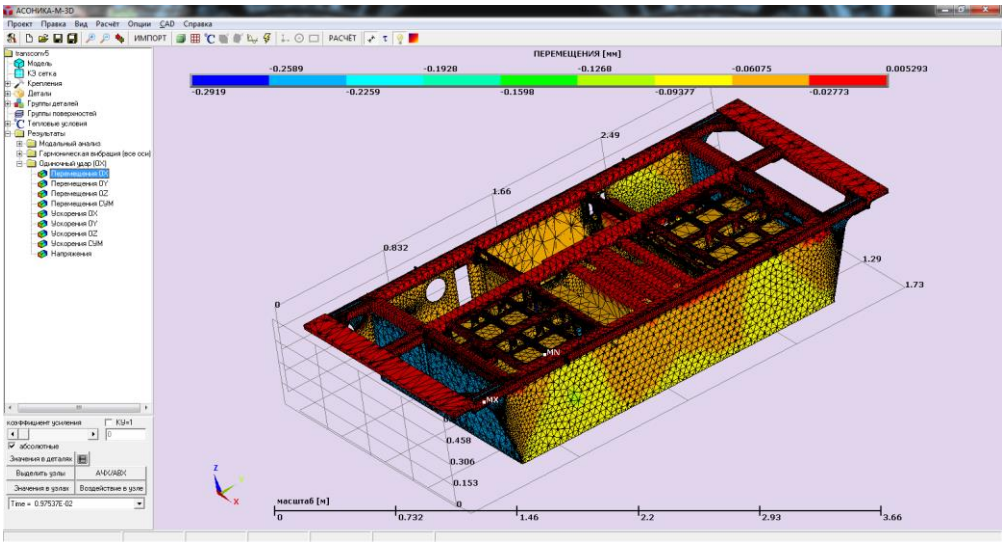


Рис. 1.1.1.14. Максимальные перемещения по оси X при ударе (момент времени 0,0097 мс)

На рис. 1.1.1.15 представлены максимальные ускорения по оси X при ударе (момент времени 0,0016 мс). Аналогичные данные можно посмотреть по осям Y и Z, а также максимальные суммарные ускорения при ударе (момент времени 0,0016 мс).

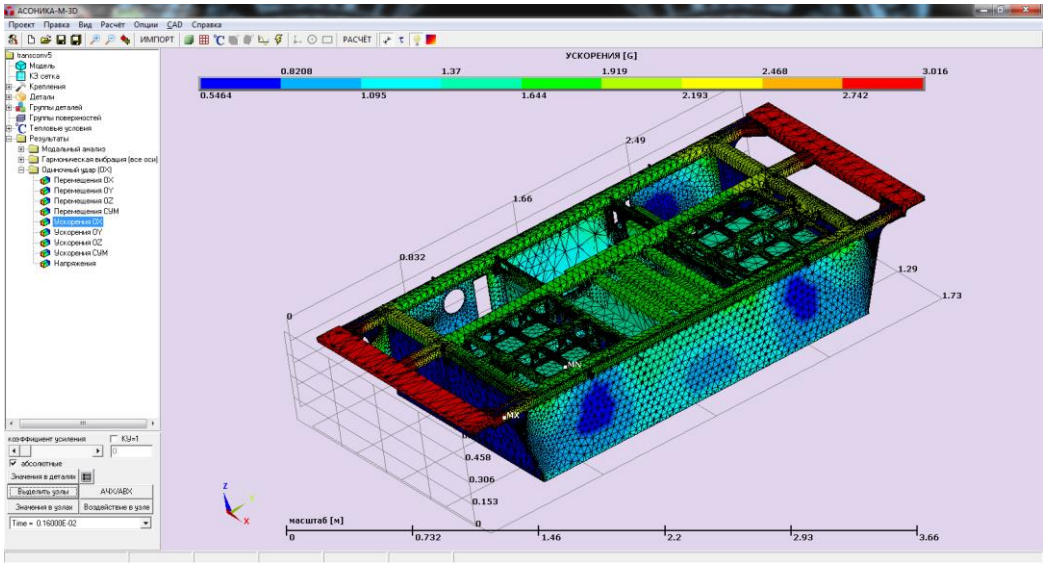


Рис. 1.1.1.15. Максимальные ускорения по оси X при ударе (момент времени 0,0016 мс)

На рис. 1.1.1.16 приведены максимальные суммарные напряжения при ударе (момент времени 0,0057 мс).

Максимальное суммарное напряжение при воздействии удара одиночного действия составляет 47,14 МПа. Максимально допустимое напряжение составляет 490 МПа. Таким образом, расчетные напряжения в конструкции при воздействии удара одиночного действия не превышают допустимые значения.

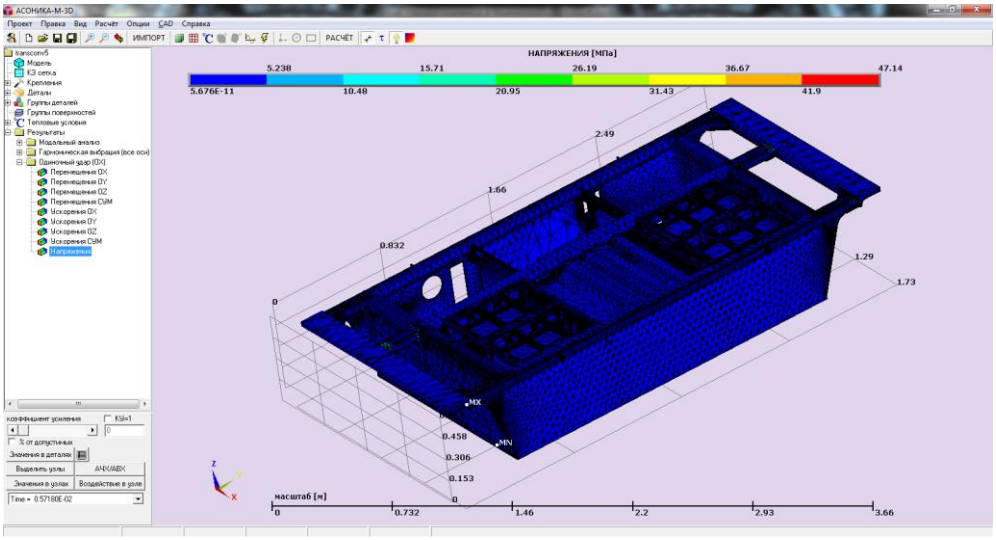


Рис. 1.1.1.16. Максимальные суммарные напряжения при ударе (момент времени 0,0057 мс)

Результаты модального анализа (определение собственных частот и формы колебания ПСН).

На рис. 1.1.1.17 показана форма колебания ПСН на 1-й собственной частоте 7,29 Гц. Аналогичные формы колебания можно вывести на 2-й собственной частоте 13,4 Гц, на 3-й собственной частоте 15,25 Гц, на 4-й собственной частоте 19,49 Гц, на 5-й собственной частоте 19,93 Гц, на 6-й собственной частоте 26,53 Гц, на 7-й собственной частоте 31,35 Гц, на 8-й собственной частоте 32,33 Гц, на 9-й собственной частоте 36,1 Гц, на 10-й собственной частоте 43,25 Гц, и т.д. до 38-й собственной частоты.

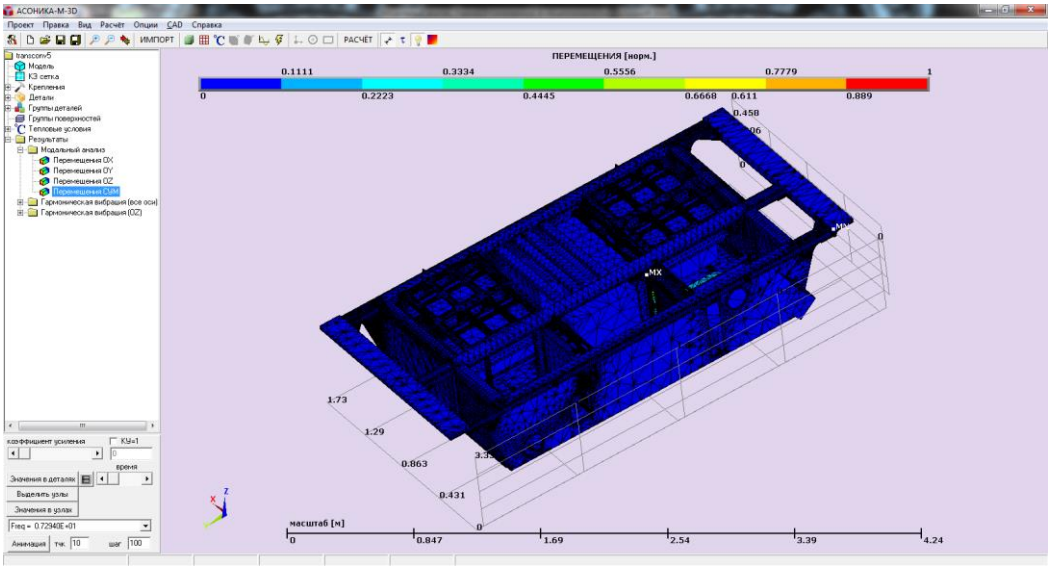


Рис. 1.1.1.17. Форма колебания ПСН на 1-й собственной частоте 7,29 Гц

Результаты статического анализа.

На рис. 1.1.1.18 показаны максимальные перемещения по оси X при статическом воздействии за счет собственного веса. Аналогичные данные можно посмотреть по осям Y и Z, а также максимальные суммарные перемещения при статическом воздействии за счет собственного веса.

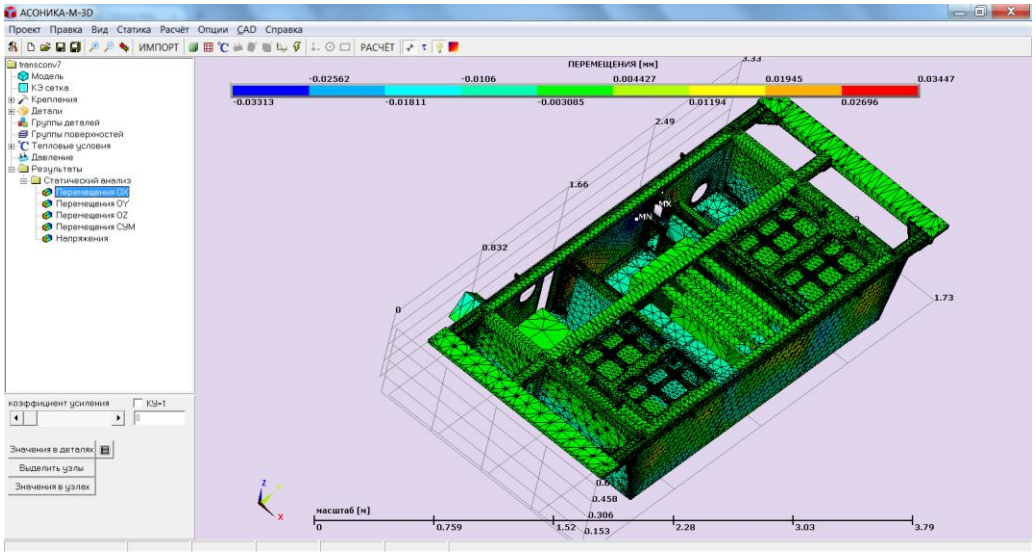


Рис. 1.1.1.18. Максимальные перемещения по оси X при статическом воздействии за счет собственного веса

На рис. 1.1.1.19 показаны максимальные суммарные напряжения при статическом воздействии за счет собственного веса. Максимальное суммарное напряжение при статическом воздействии за счет собственного веса составляет 9,999 МПа. Максимально допустимое напряжение составляет 490 МПа. Таким образом, расчетные напряжения в конструкции не превышают допустимые значения.

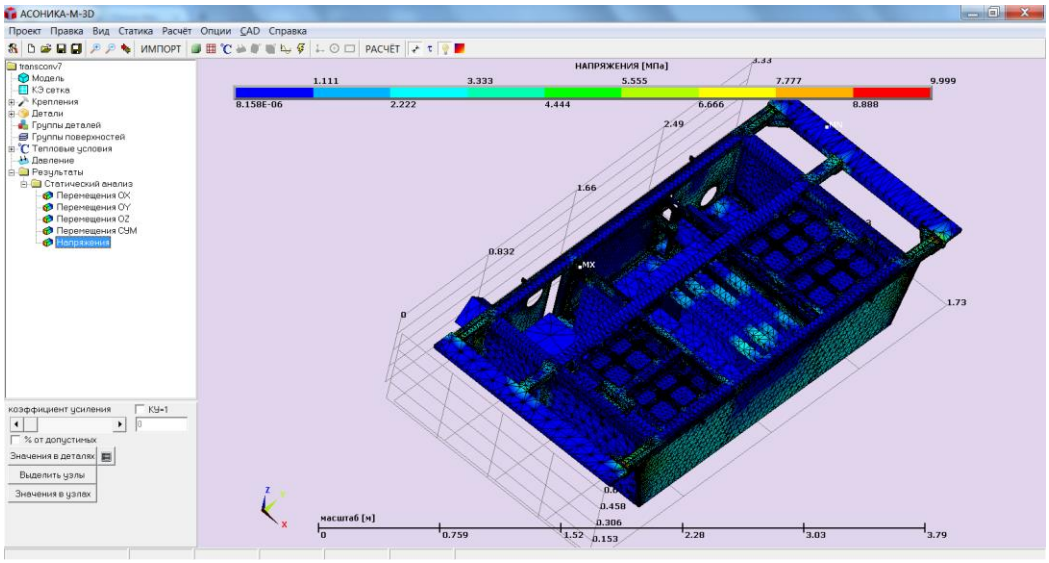


Рис. 1.1.1.19. Максимальные суммарные напряжения при статическом воздействии за счет собственного веса

Выводы.

При моделировании механических воздействий в подсистеме АСОНИКА-М-3D следует отметить отсутствие превышений предела прочности материала (490 МПа). На основании этого можно сделать вывод, что конструкция ПСН удовлетворяет требованиям технического задания по прочности.

Максимальное суммарное напряжение при воздействии синусоидальной вибрации составляет 99,98 МПа. Максимально допустимое напряжение составляет 490 МПа. Таким образом, расчетные напряжения в конструкции при воздействии синусоидальной вибрации не превышают допустимые значения, несмотря на наличие резонанса в конструкции на частоте 60,5 Гц (резонанс не опасен, так как максимальное расчетное напряжение меньше допустимого значения в 5 раз!) и наличие 38 собственных частот по результатам модального анализа (из них только 1 частота является резонансной).

Максимальное суммарное напряжение при воздействии удара одиночного действия составляет 47,14 МПа. Максимально допустимое напряжение составляет 490 МПа. Таким образом, расчетные напряжения в конструкции при воздействии удара одиночного действия не превышают допустимые значения.

Максимальное суммарное напряжение при статическом воздействии за счет собственного веса составляет 9,999 МПа. Максимально допустимое напряжение составляет 490 МПа. Таким образом, расчетные напряжения в конструкции не превышают допустимые значения.

1.1.2. Расчет устойчивости и прочности конструктивных элементов изделия «Л-01» к воздействию механических воздействующих факторов: анализ шкафов

Задача расчета.

Провести моделирование на ЭВМ механических процессов с помощью системы АСОНИКА и оценить устойчивость и прочность шкафов: «прибор 15» и «прибор 46».

Данные для расчета:

сборочные чертежи конструкций шкафов;

вибрация синусоидальная: диапазон частот, Гц – 5 ... 35; амплитуда ускорения, м/с^2 (g) - 10 (1);

механический удар одиночного действия: пиковое ударное ускорение, м/с^2 (g) - 1000 (100); длительность действия ударного ускорения, мс - 0,5 ... 2;

механический удар многократного действия (имитация вибраций при транспортировании): пиковое ударное ускорение, м/с^2 (g) - 100 (10); длительность действия ударного ускорения, мс - 6.

Анализ исходных данных.

Эскизы конструкций шкафов, введенных с помощью графического интерфейса подсистемы АСОНИКА-М-ШКАФ, представлены на рис. 1.1.2.1 и 1.1.2.2.

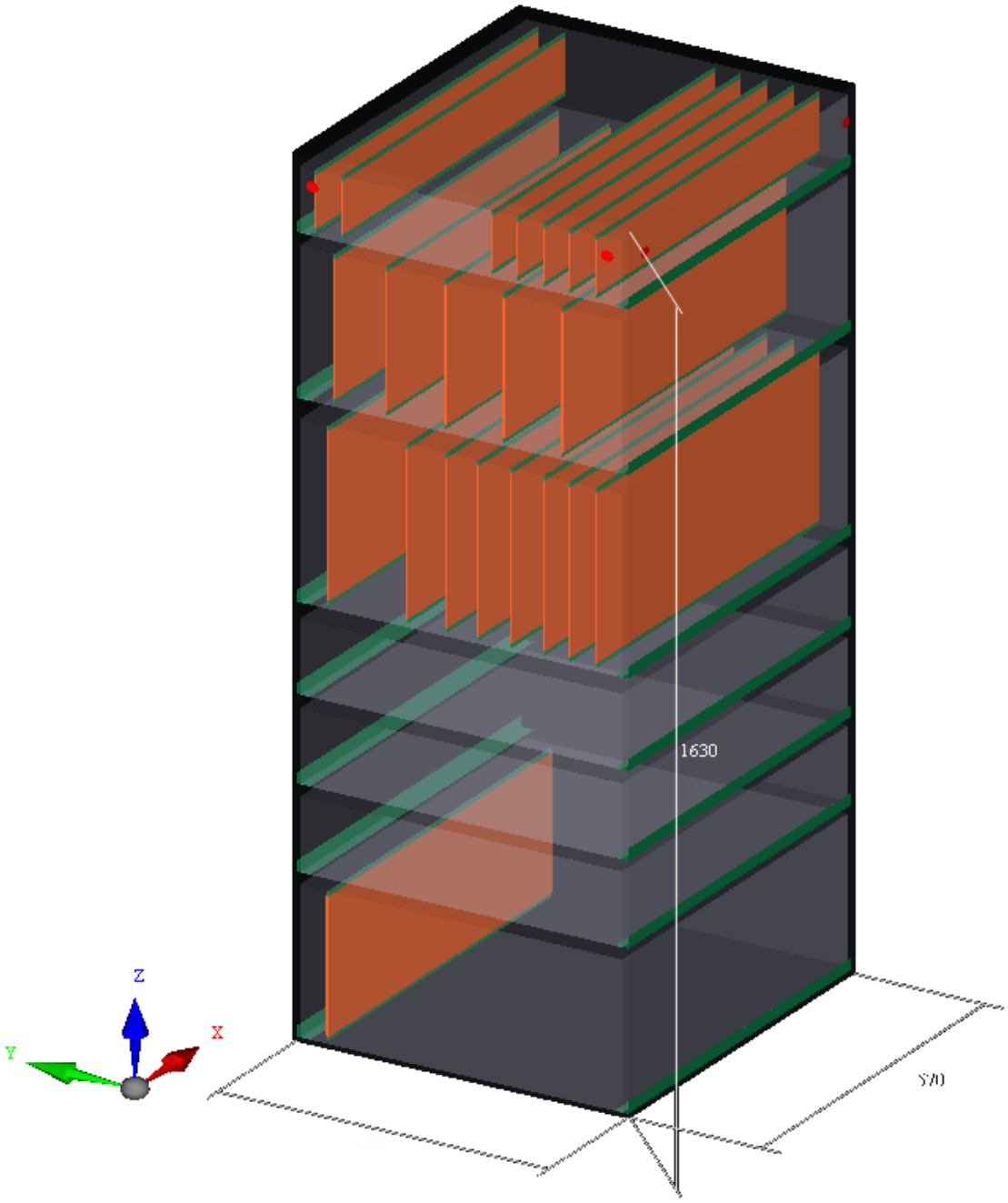


Рис.1.1.2.1. Внешний вид шкафа «прибор 15»

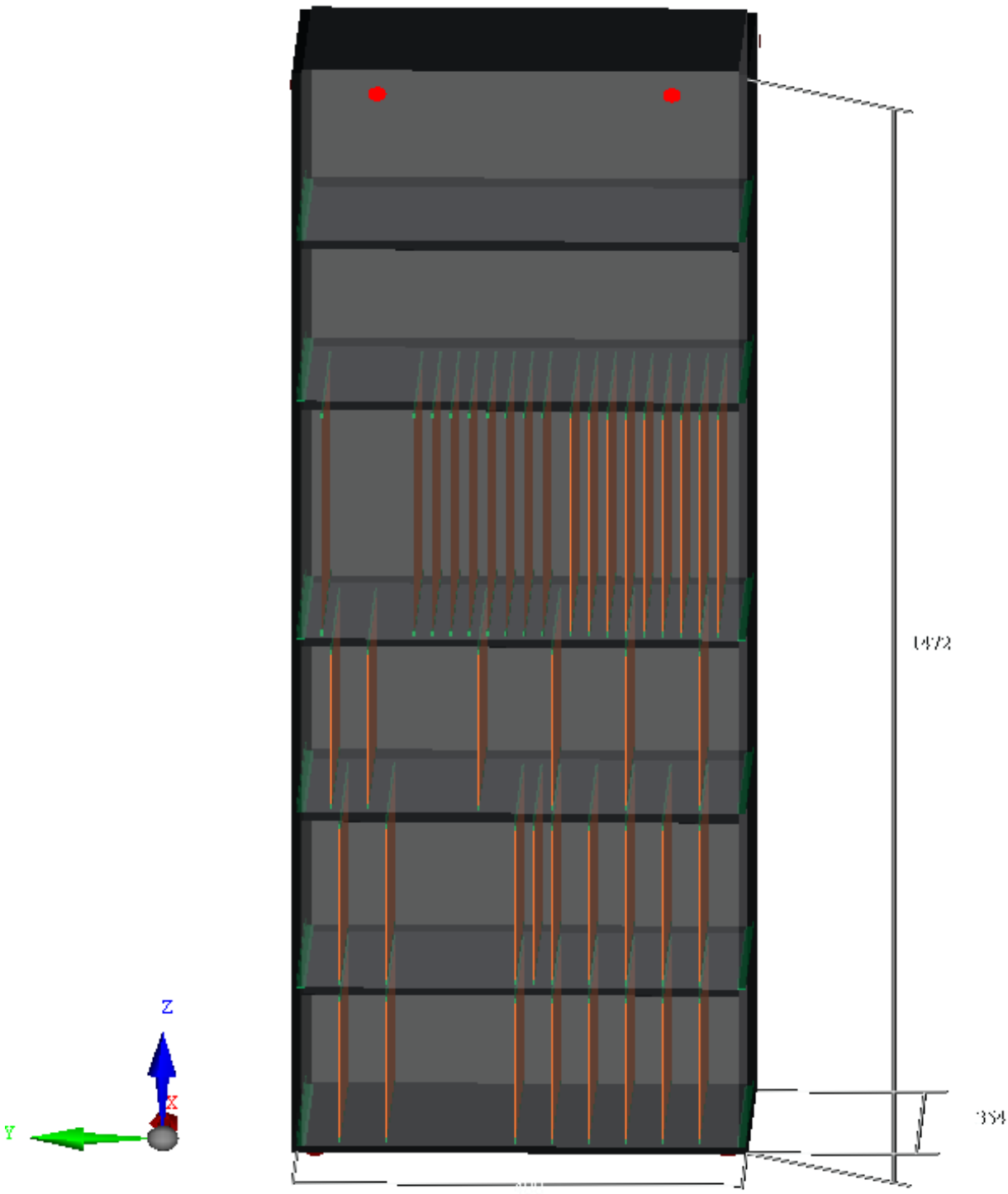


Рис.1.1.2.2. Внешний вид шкафа «прибор 46»

Зависимость входного ускорения гармонической вибрации от частоты представлена на рис. 1.1.2.3.

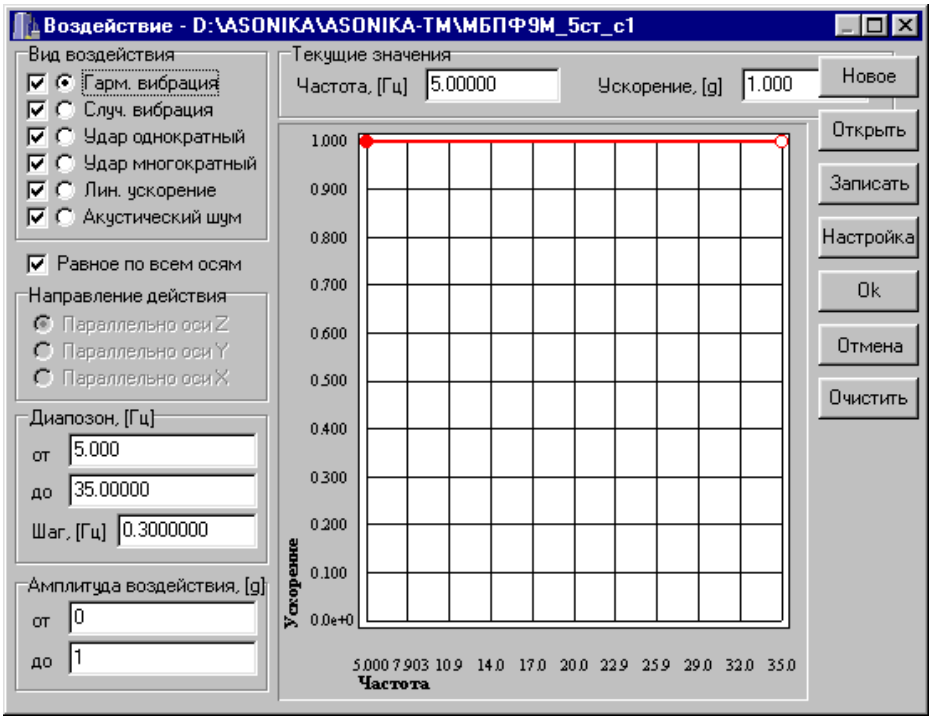


Рис.1.1.2.3. Зависимость входного ускорения гармонической вибрации от частоты

Зависимость входного механического удара одиночного действия от времени представлена на рис. 1.1.2.4.

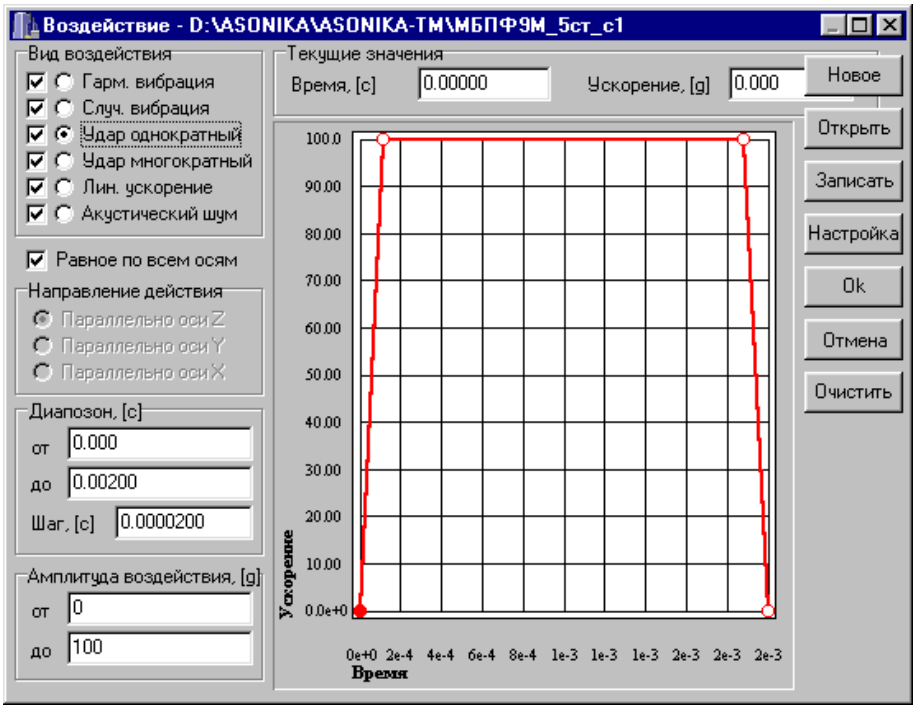


Рис.1.1.2.4. Зависимость входного механического удара одиночного действия от времени

Зависимость входного механического удара многократного действия от времени представлена на рис. 1.1.2.5.

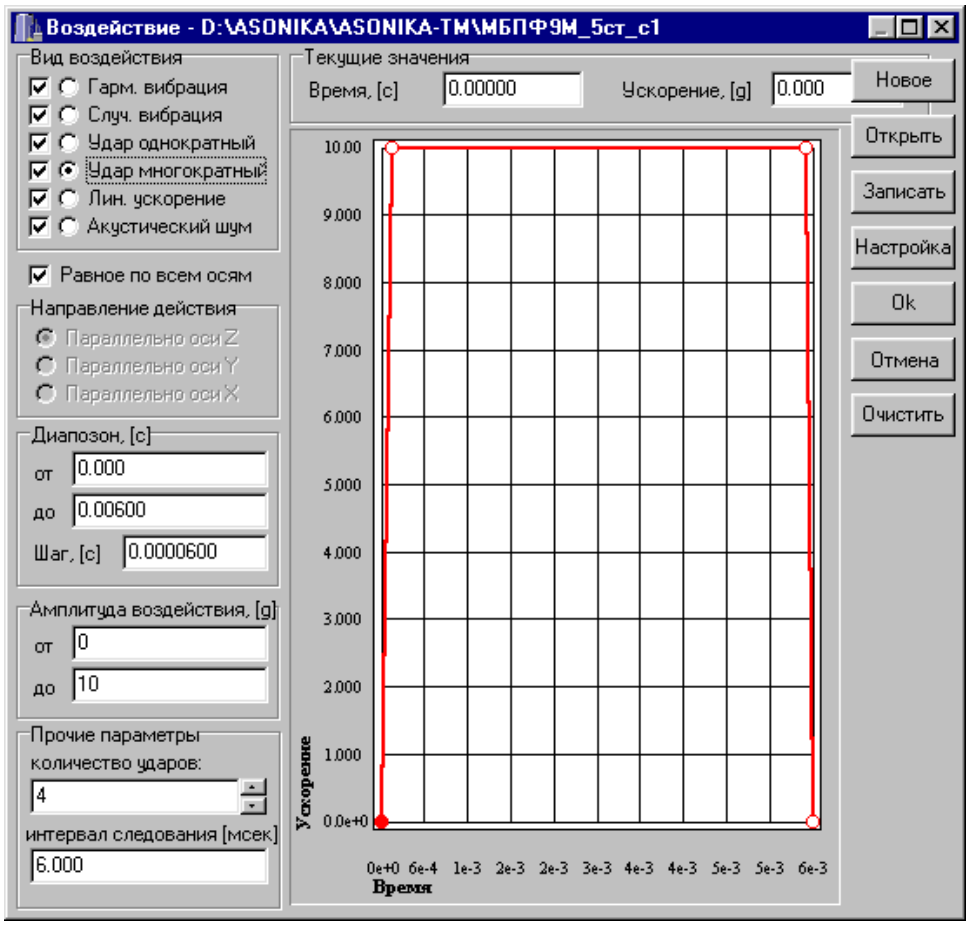


Рис.1.1.2.5. Зависимость входного механического удара многократного действия от времени

Результаты расчета.

Шкафы «прибор 15» и «прибор 46» аналогичны по конструкции. Исходные данные для моделирования одинаковы. Поэтому приведем результаты моделирования на ЭВМ механических процессов с помощью системы АСОНИКА и оценку устойчивости и прочности для одного из шкафов – «прибор 15». Результаты моделирования для шкафа «прибор 46» аналогичны.

На рис.1.1.2.6 представлены максимальные значения прогибов суммарных шкафа. Аналогичные данные можно вывести вдоль осей X, Y, Z.

На рис.1.1.2.7 представлены максимальные значения ускорений суммарных шкафа. Аналогичные данные можно вывести вдоль осей X, Y, Z.

Можно в графическом интерфейсе развернуть эти шкафы обратной стороной и получить такие же данные (вид 2).

Как видно, резонансы отсутствуют, а возникающие прогибы, ускорения и напряжения в заданном диапазоне частот незначительные.

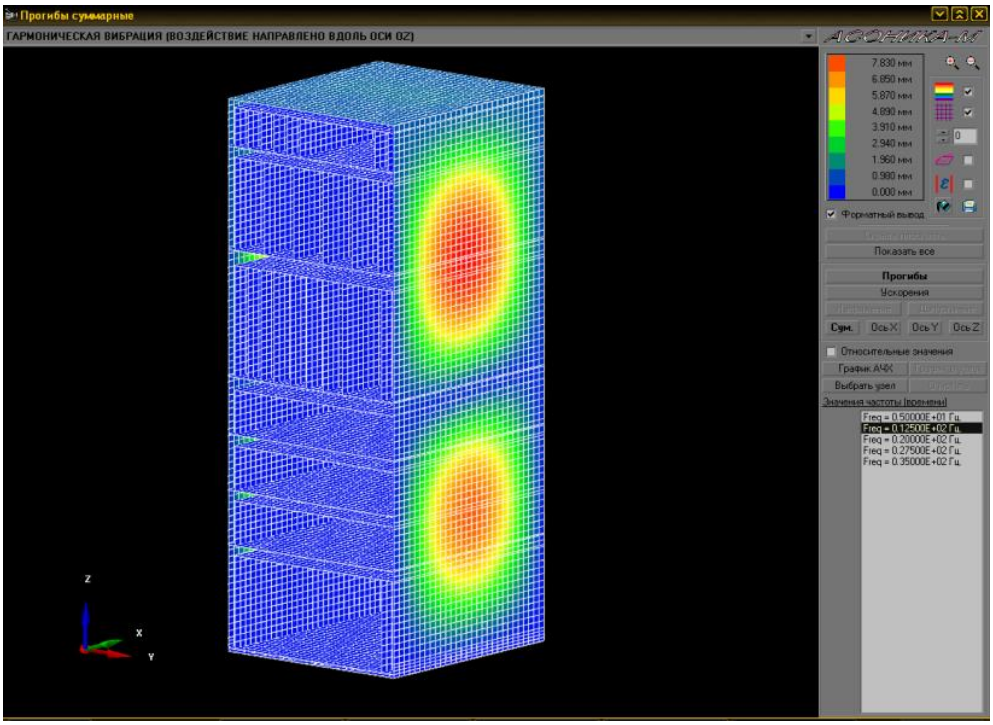


Рис.1.1.2.6. Максимальные значения суммарных прогибов шкафа «прибор 15» (вид 1)

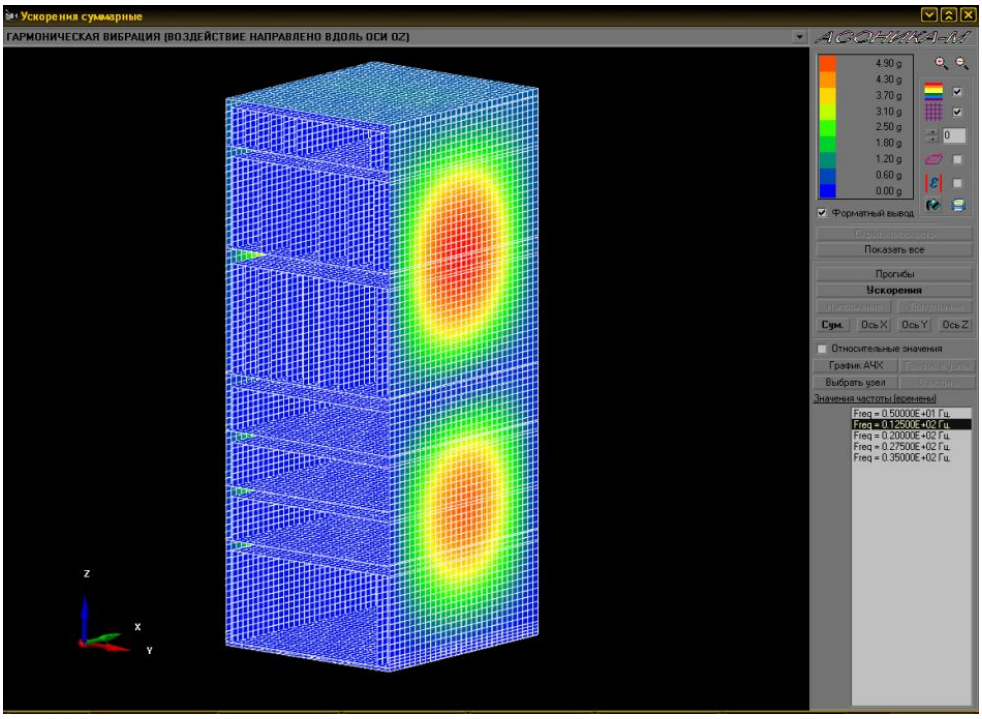


Рис.1.1.2.7. Максимальные значения ускорений суммарных шкафа «прибор 15» (вид 1)

На рис. 1.1.2.8 представлены максимальные значения напряжений шкафа.

На рис. 1.1.2.9 приведена зависимость ускорения от частоты гармонической вибрации в контрольной точке шкафа «прибор 15».

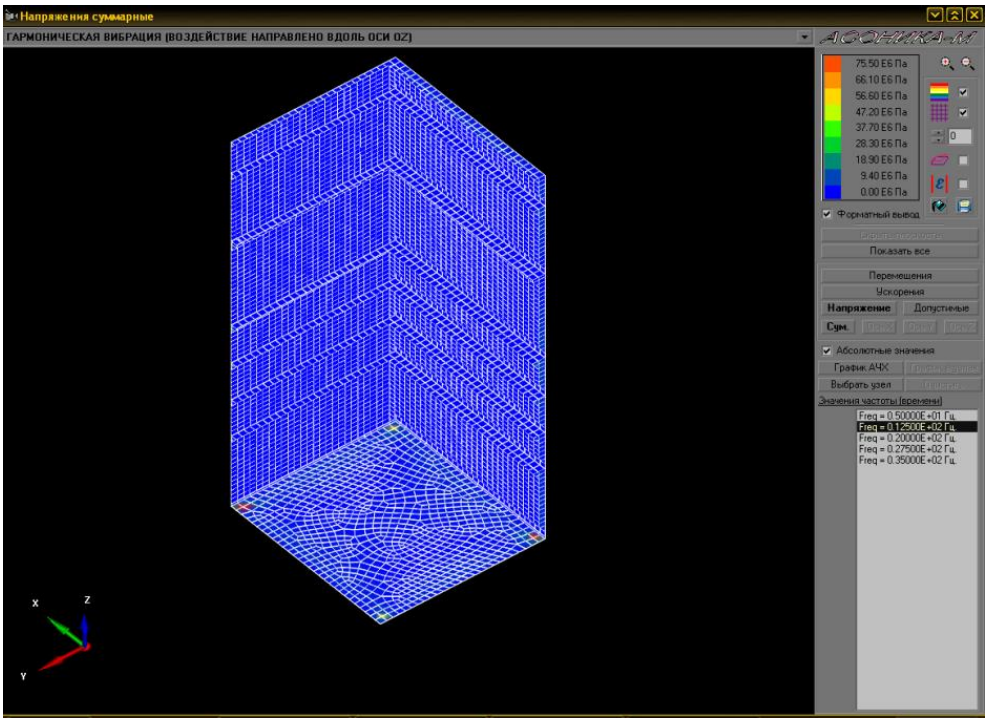


Рис. 1.1.2.8. Максимальные значения напряжений шкафа «прибор 15»

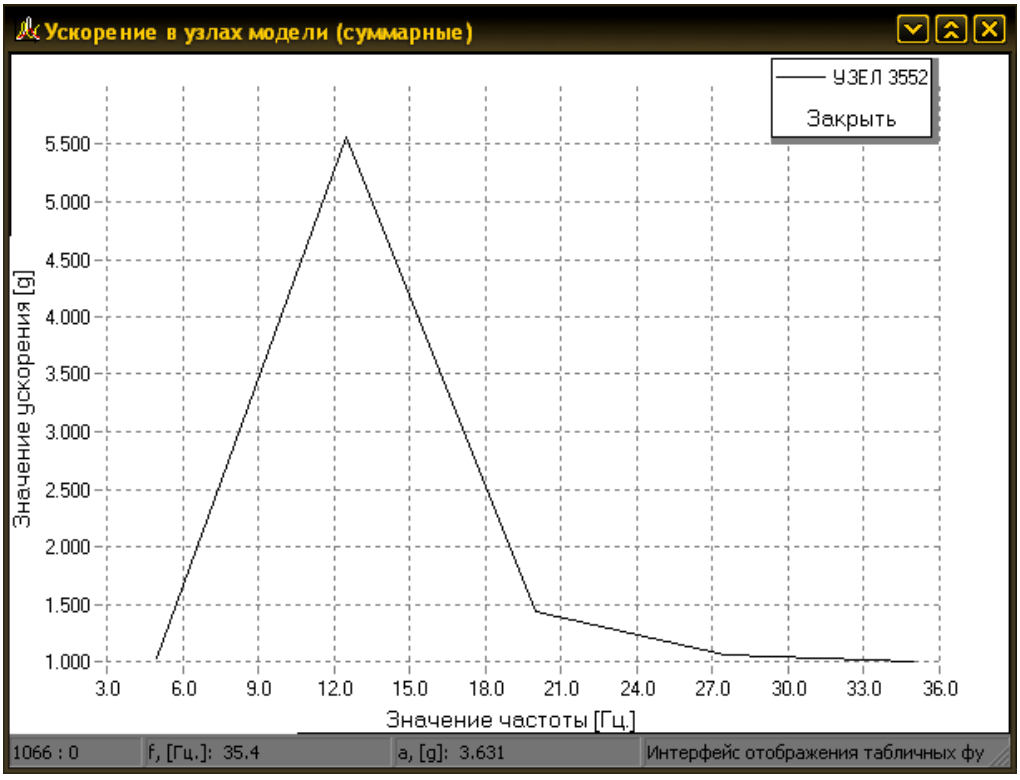


Рис. 1.1.2.9. Зависимость ускорения от частоты гармонической вибрации в контрольной точке шкафа «прибор 15»

Выводы и рекомендации.

Моделирование на ЭВМ механических процессов с помощью подсистемы АСОНИКА-М-ШКАФ шкафов «прибор 15» и «прибор 46» показало, что резонансы в конструкциях отсутствуют, а возникающие прогибы, ускорения и напряжения в заданном диапазоне частот незначительные.

1.1.3. Проведение механических расчетов АРМ-В с помощью системы АСОНИКА

Задача расчета.

Задачей работы является анализ и обеспечение с помощью системы АСОНИКА стойкости корпуса автоматизированного рабочего места водителя (АРМ-В) к механическим воздействиям.

Расчет с помощью подсистемы АСОНИКА-М-ШКАФ перемещений, ускорений и напряжений в конструкции корпуса АРМ-В, а также максимально допустимых параметров механических воздействий (синусоидальной вибрации и ударов) при обеспечении среднего срока службы не менее 15 лет.

Исходные данные для моделирования.

Для выполнения расчетов была предоставлена ШКАФ-модель конструкции корпуса АРМ-В:

фото корпуса АРМ-В (рис. 1.1.3.1);

файлы 3D-моделей сборок и деталей, созданных в CAD-системе, с марками материалов и массовыми характеристиками;

масса корпуса;

материал конструкции корпуса – СТАЛЬ 08пс ГОСТ 1050-88 (характеристики материала приведены в табл. 1.1.3.1);

для закрепления АРМ-В на объекте используются болты М8-50 ГОСТ 7805-70.



Рис. 1.1.3.1. Пульт АРМ-В

Таблица 1.1.3.1

Характеристики материалов

Параметр	Значение
Общие параметры	
Плотность, кг/м^3	7850
Модуль упругости, ГПа	203
Коэффициент Пуассона	0,27
Допустимое напряжение, МПа	95
Коэффициент механических потерь для вибрации	0,05
Коэффициент механических потерь для удара	0,01
Нелинейность	
Коэффициент зависимости КМП от напряжения для вибрации	2,3E-8
Коэффициент зависимости КМП от напряжения для удара	8,1E-6
Усталостные параметры	
Малоцикловая усталость	
Коэффициент усталостной прочности, МПа	573
Показатель усталостной прочности	-0,143
Показатель усталостной пластичности	-0,537
Коэффициент усталостной пластичности	0,492
Циклический показатель упрочнения	0,27
Циклический модуль пластичности, МПа	719
Многоцикловая усталость	
Параметр многоцикловой усталости	13,5
Базовое число циклов	10000000
Предел выносливости, МПа	60

Уровни входных механических воздействий:

а) для гармонической вибрации – амплитуда виброускорения 5g, диапазон частот 5-500 Гц (частота перехода 25 Гц, амплитуда виброперемещения 2 мм);

б) для одиночного удара – длительность импульса 1-5 мс, пиковое ударное ускорение 75g;

в) для многократного удара – длительность одного импульса 5-10 мс, пиковое ударное ускорение 15g, количество ударов – по 20 ударов в каждом из трех взаимно перпендикулярных направлений.

На рис. 1.1.3.2 представлена ШКАФ-модель конструкции корпуса АРМ-В, загруженная в систему АСОНИКА-М-ШКАФ для проведения дальнейших механических расчетов.

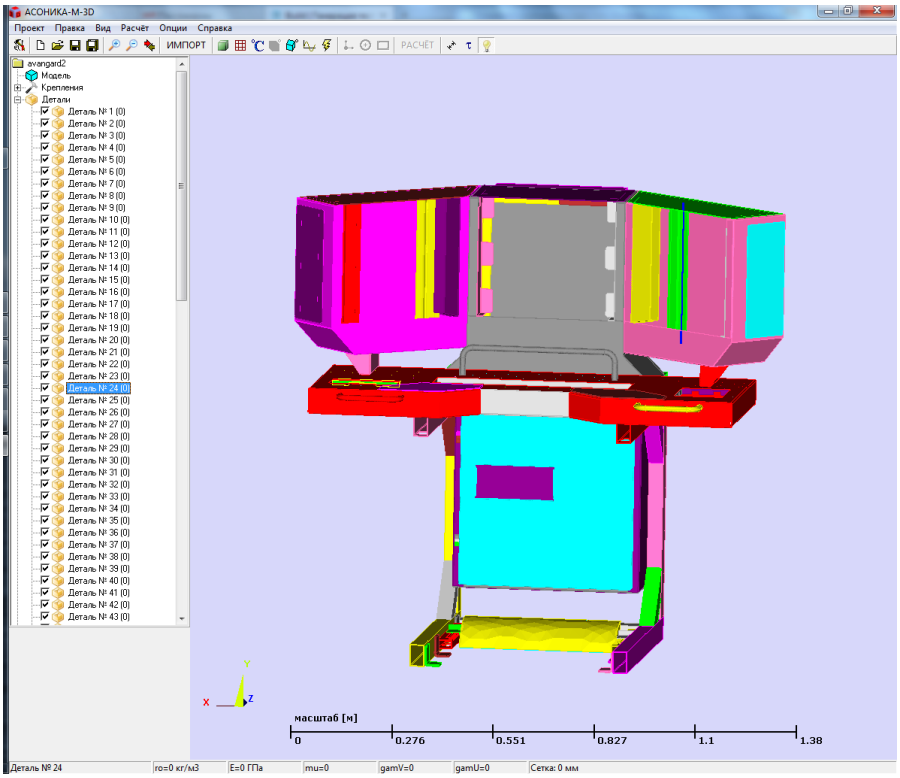


Рис. 1.1.3.2. ШКАФ-модель АРМ-В в подсистеме АСОНИКА-М-ШКАФ

На рис. 1.1.3.3 представлены точки закрепления ШКАФ-модели АРМ-В в подсистеме АСОНИКА-М-ШКАФ, учитываемые при расчете.

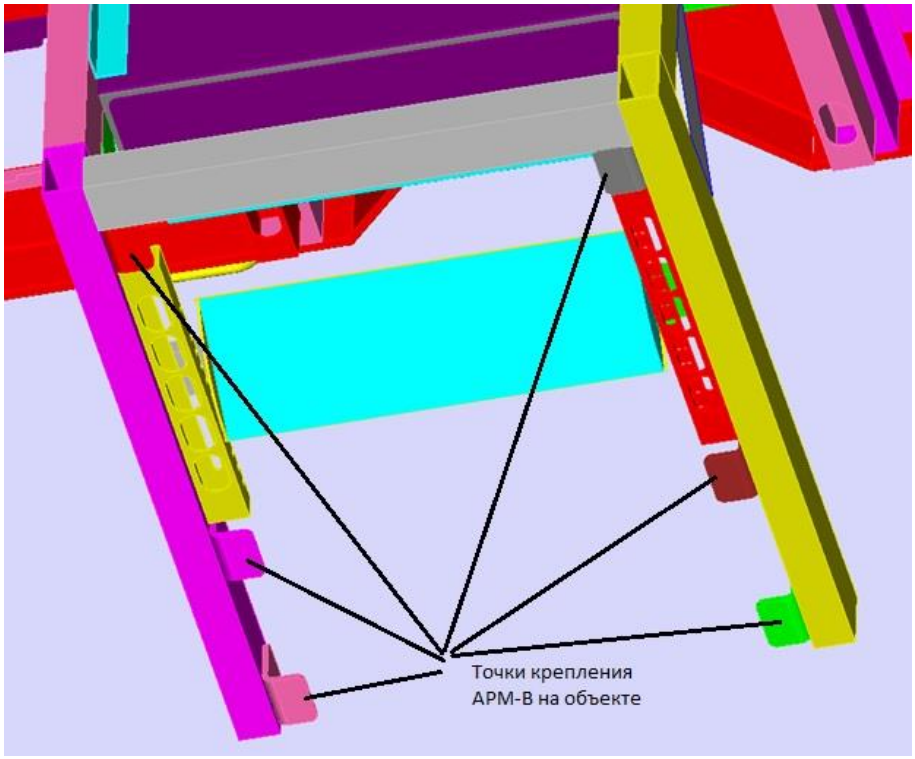


Рис. 1.1.3.3. Точки закрепления АРМ-В

На рис. 1.1.3.4 представлена конечно-элементная модель конструкции корпуса АРМ-В.

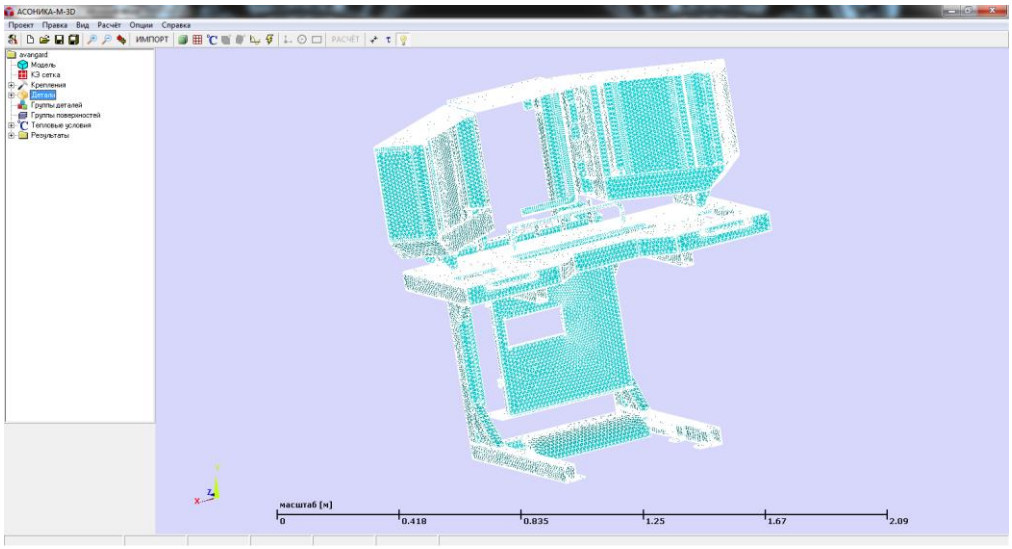


Рис. 1.1.3.4. Конечно-элементная модель конструкции корпуса АРМ-В

На рис. 1.1.3.5 – 1.1.3.7 показаны графики входных воздействий для гармонической (синусоидальной) вибрации, одиночного удара и многократного удара по оси Z.

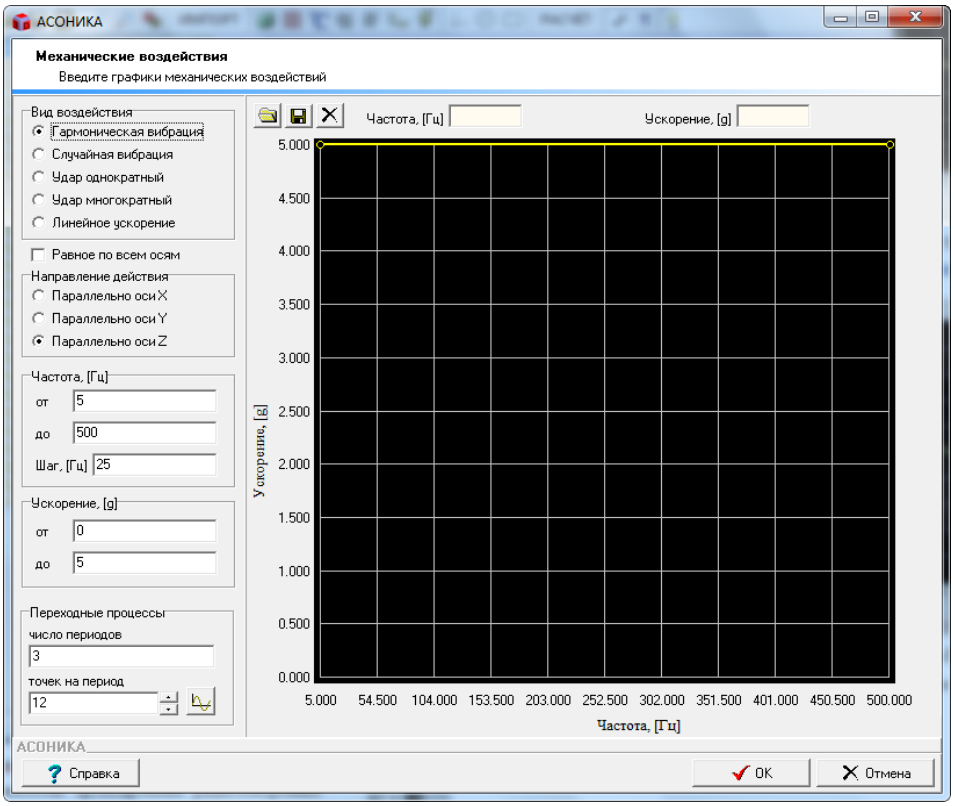


Рис. 1.1.3.5. График входной гармонической вибрации по оси Z

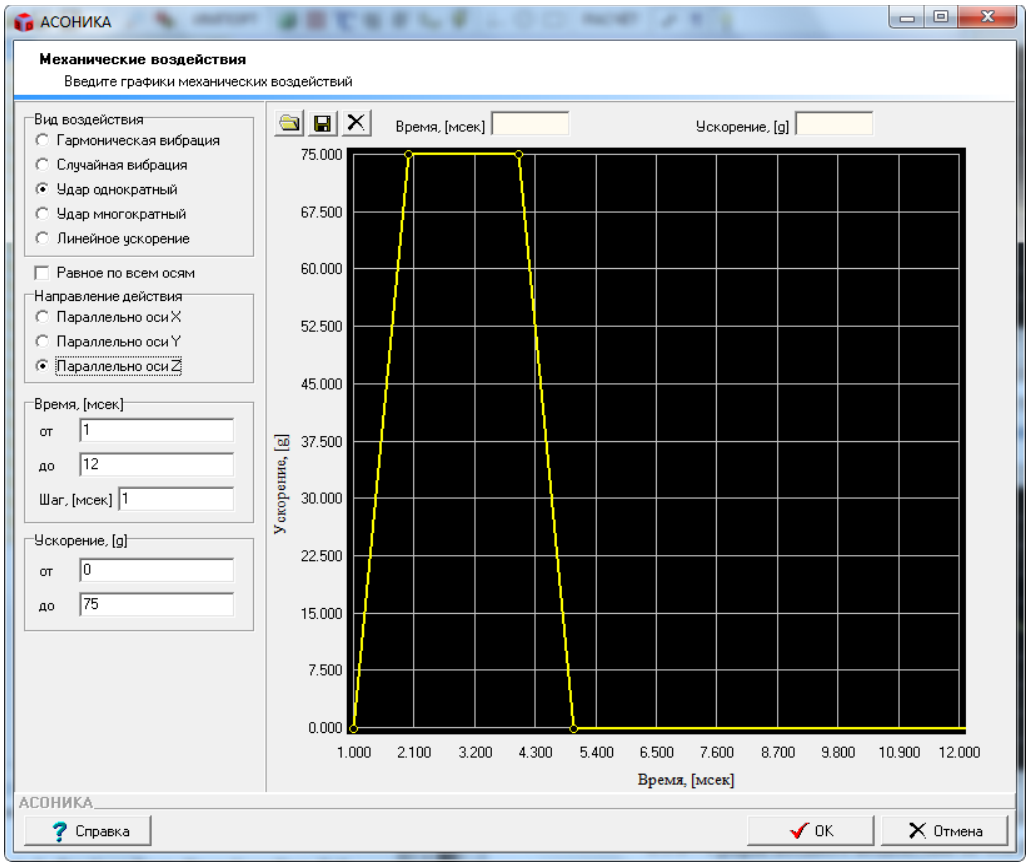


Рис. 1.1.3.6. График входного одиночного удара по оси Z

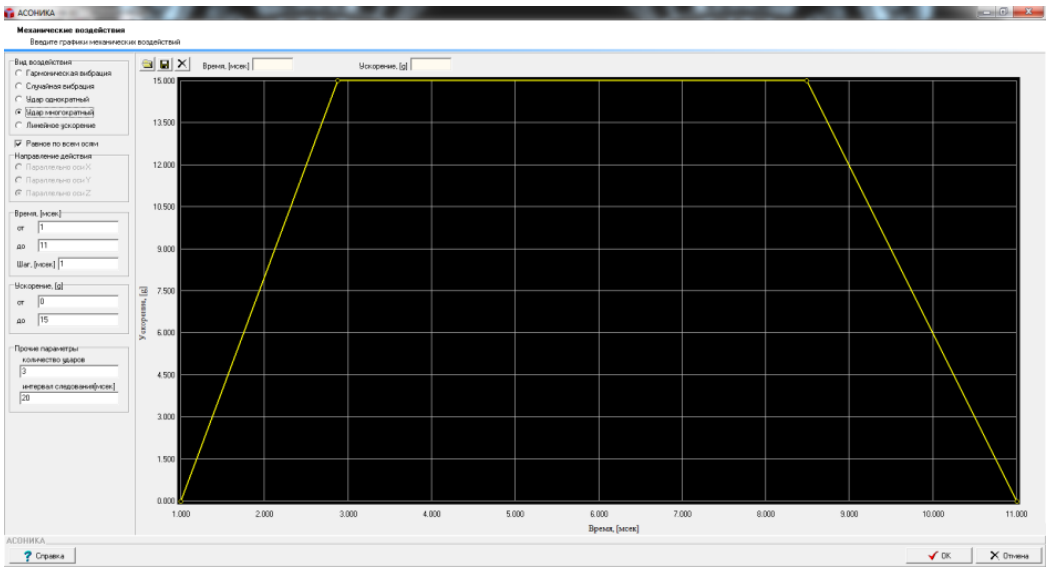


Рис. 1.1.3.7. График входного многократного удара по оси Z

Результаты моделирования.

Результаты моделирования на воздействие гармонической вибрации представлены на рис. 1.1.3.8 – 1.1.3.15.

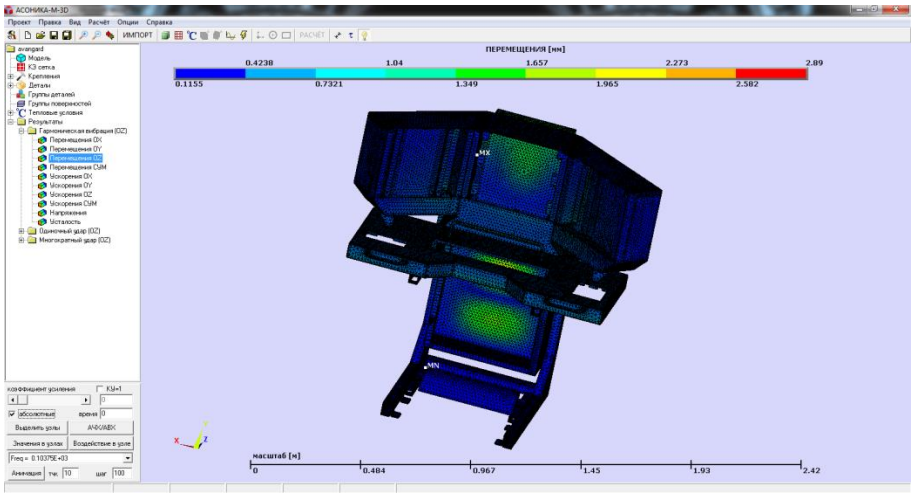


Рис. 1.1.3.8. Перемещения по оси Z на частоте 103 Гц

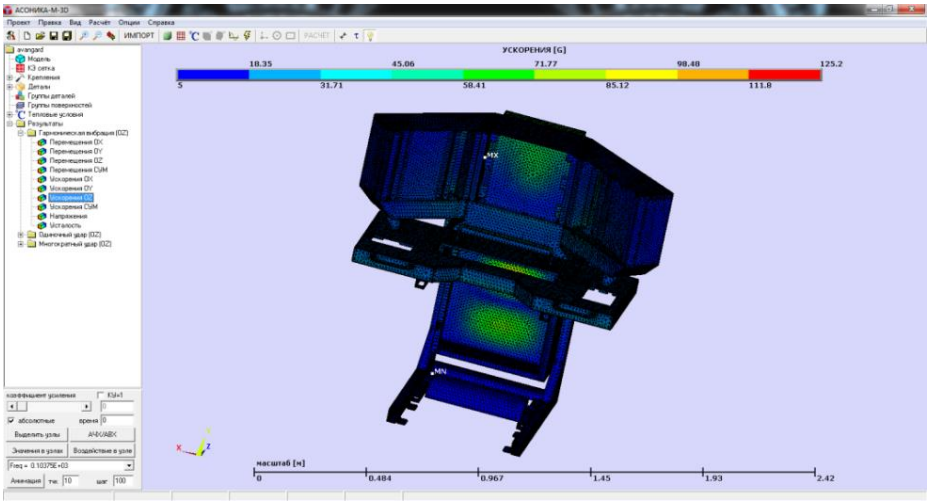


Рис. 1.1.3.9. Ускорения по оси Z на частоте 103 Гц

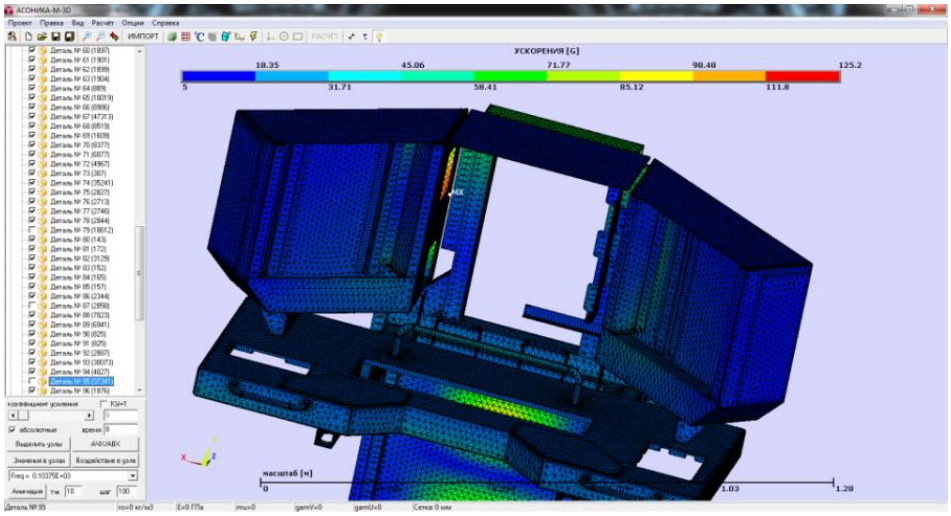


Рис. 1.1.3.10. MX – точка максимума ускорения по оси Z на частоте 103 Гц

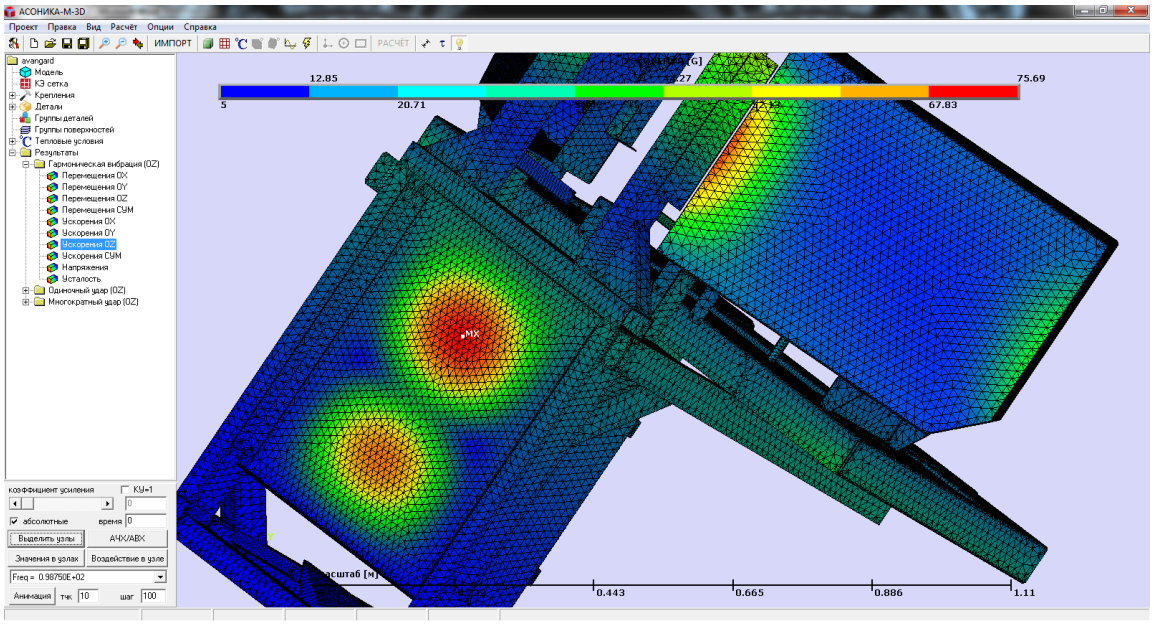


Рис. 1.1.3.11. MX – точка максимума ускорения по оси Z на частоте 98 Гц

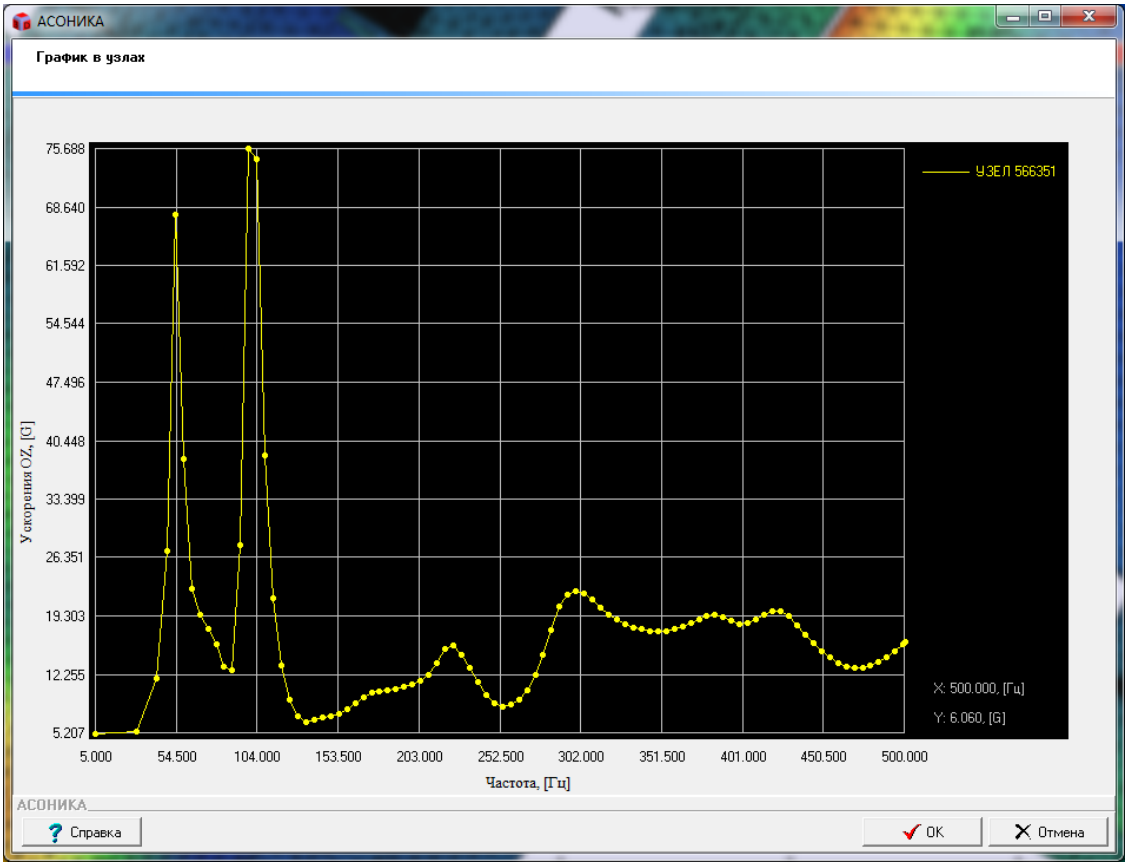


Рис. 1.1.3.12. Зависимость ускорения от частоты в точке максимума по оси Z

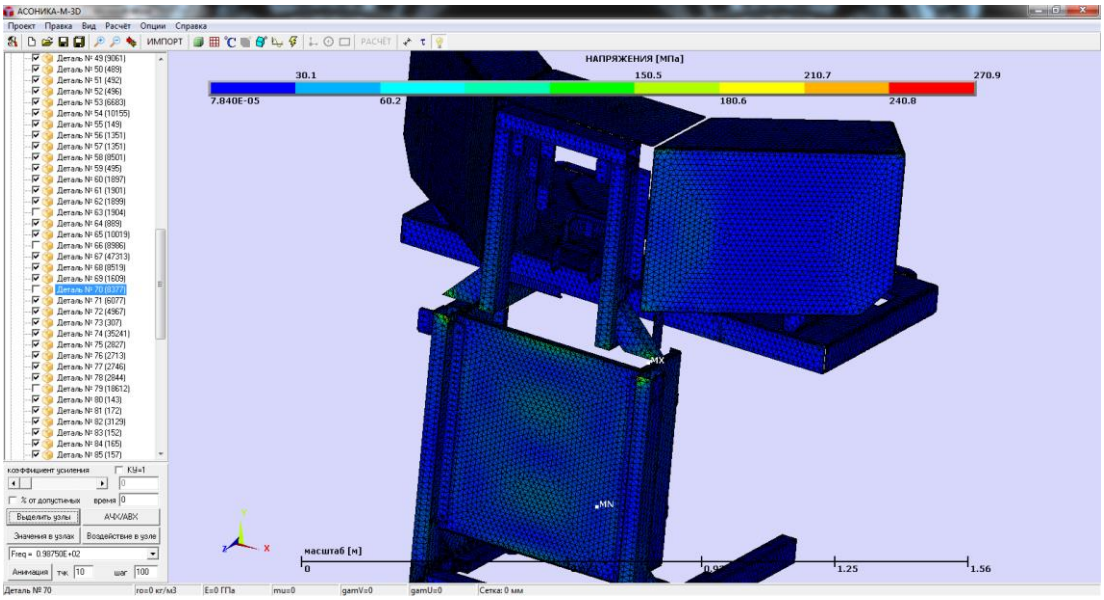


Рис. 1.1.3.13. Напряжения по оси Z на частоте 98 Гц

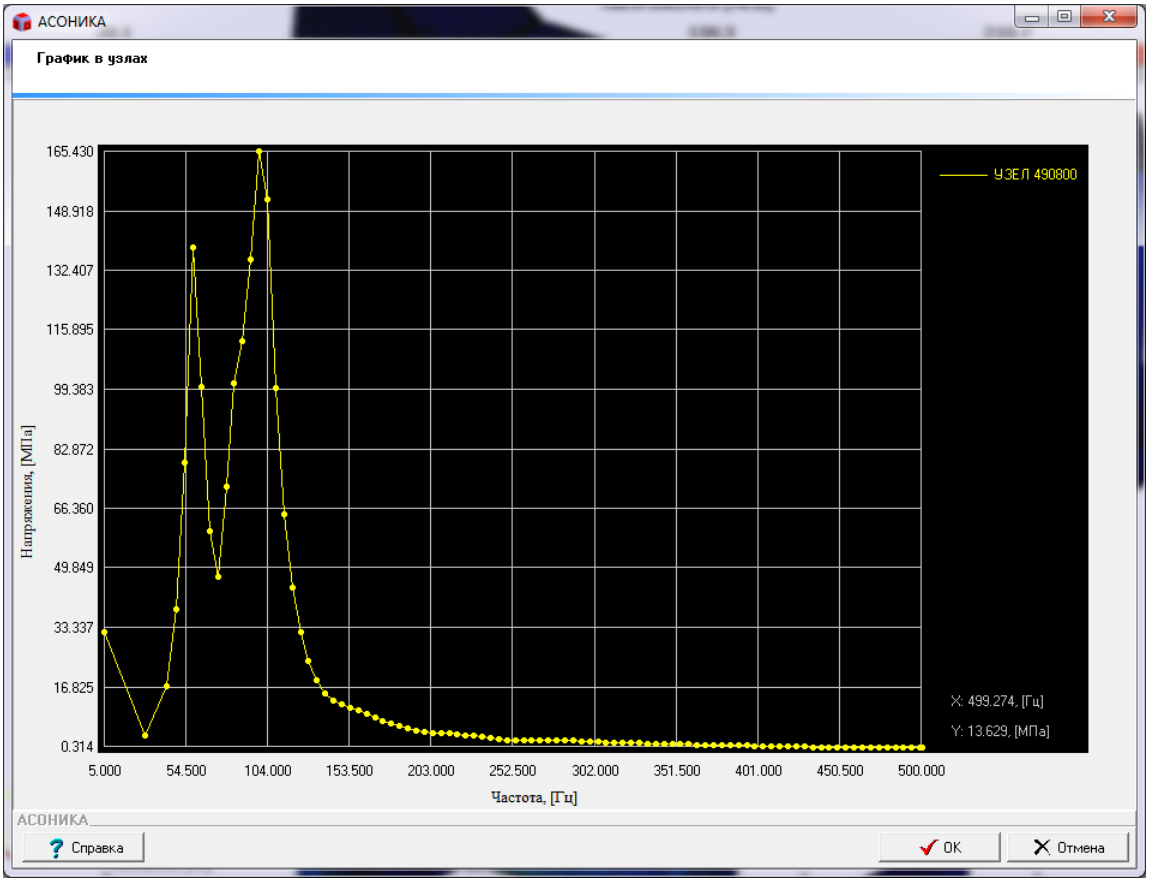


Рис. 1.1.3.14. Зависимость напряжения от частоты в точке максимума MX по оси Z

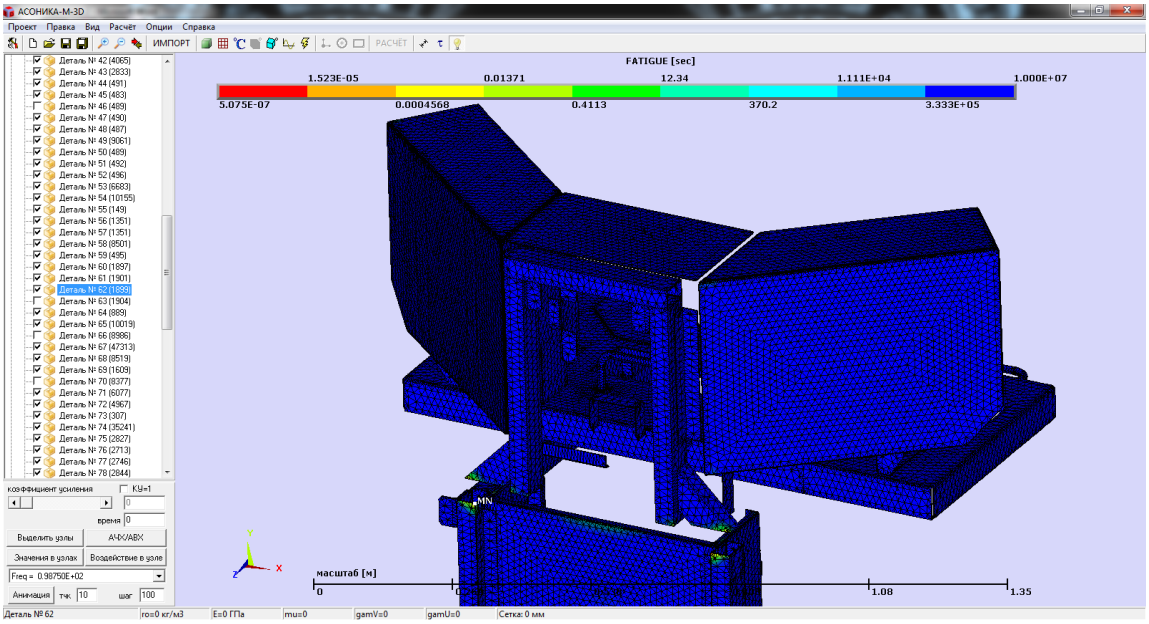


Рис. 1.1.3.15. Время до усталостного разрушения по оси Z на частоте 98 Гц

Результаты моделирования на воздействия одиночного удара представлены на рис. 1.1.3.16 – 1.1.3.20.

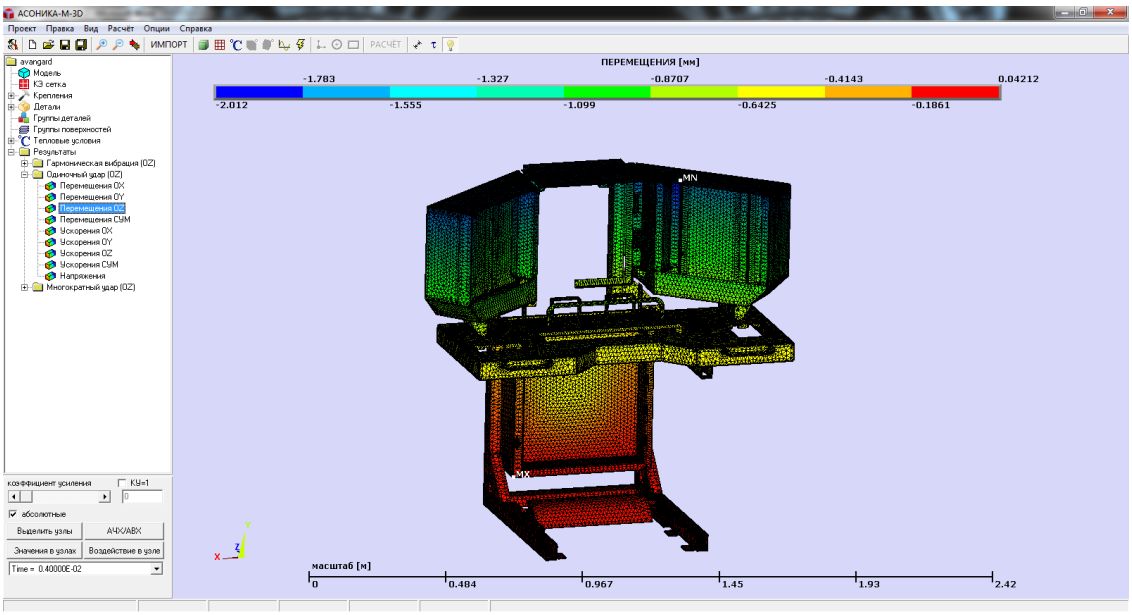


Рис. 1.1.3.16. Перемещения по оси Z в 4 мс

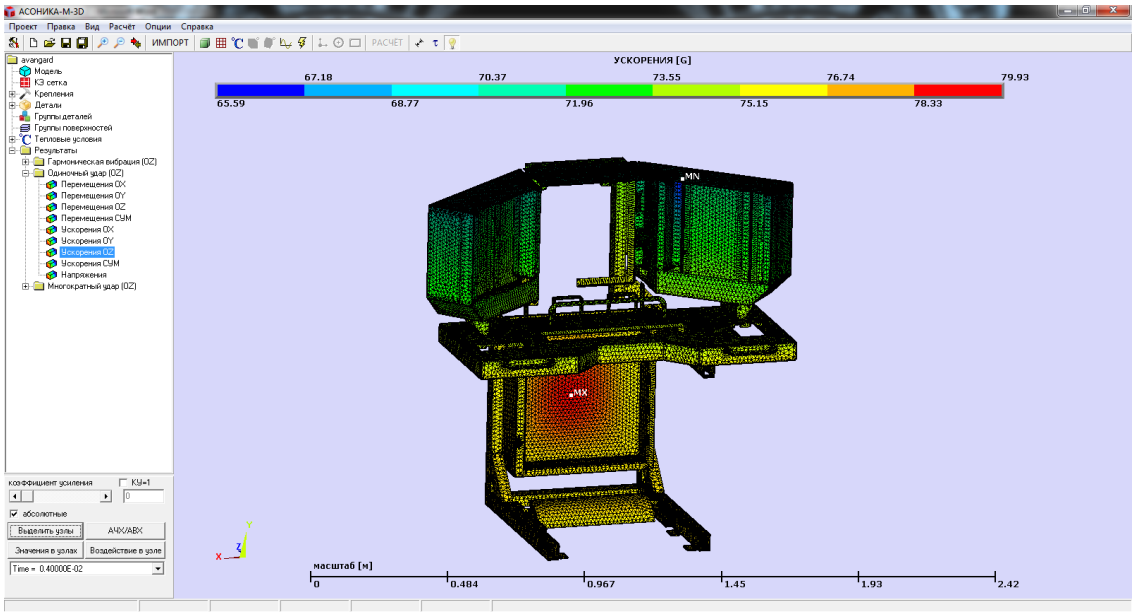


Рис. 1.1.3.17. Ускорения по оси Z в 4 мс

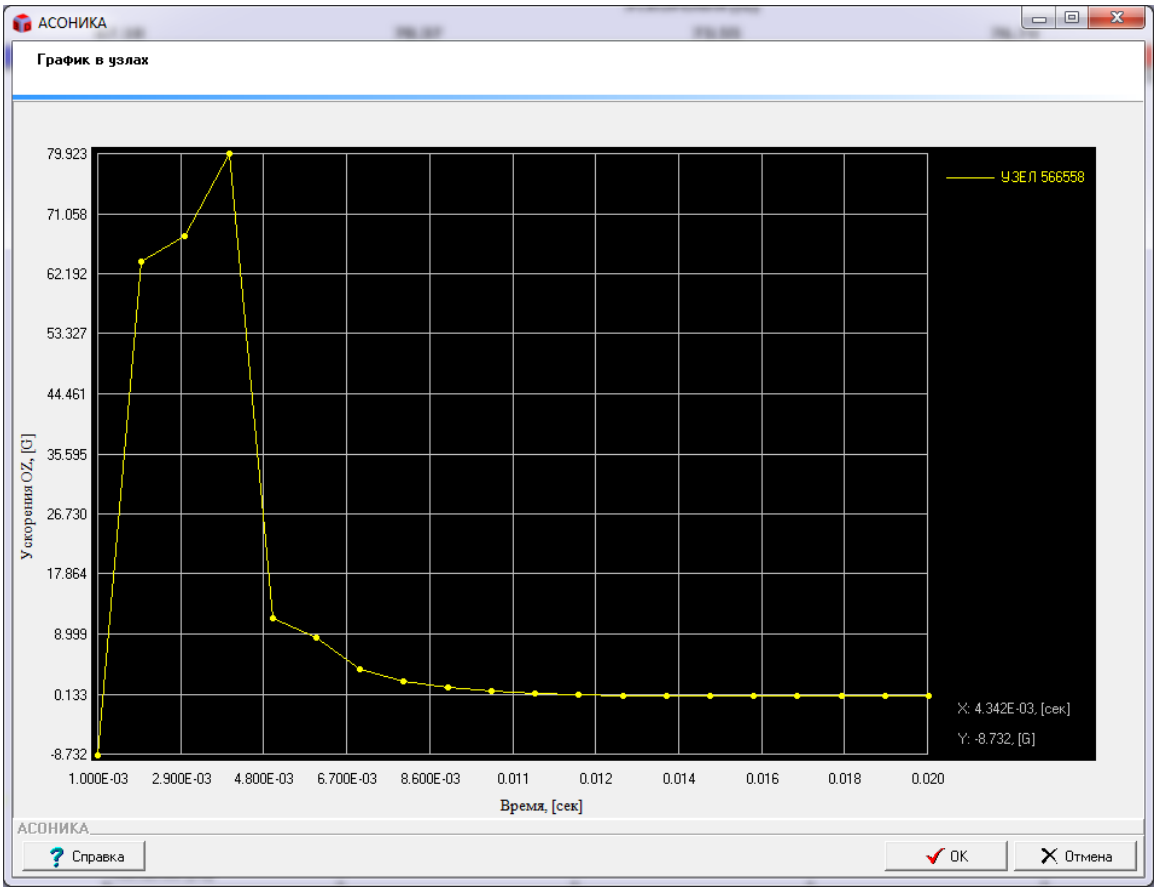


Рис. 1.1.3.18. Зависимость ускорения от времени в точке максимума MX по оси Z

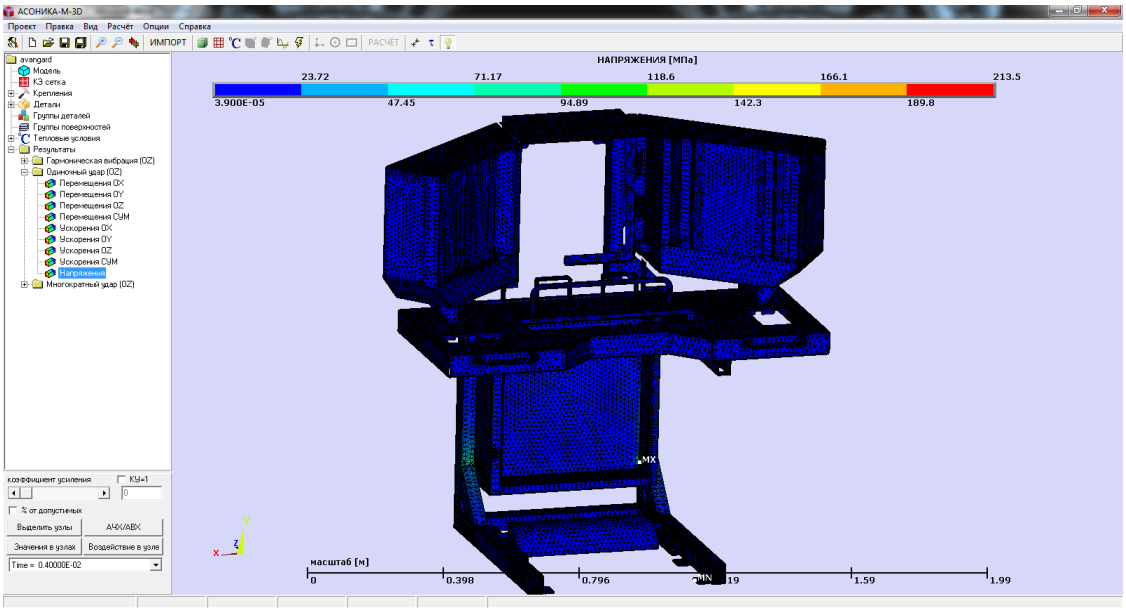


Рис. 1.1.3.19. Напряжения по оси Z в 4 мс

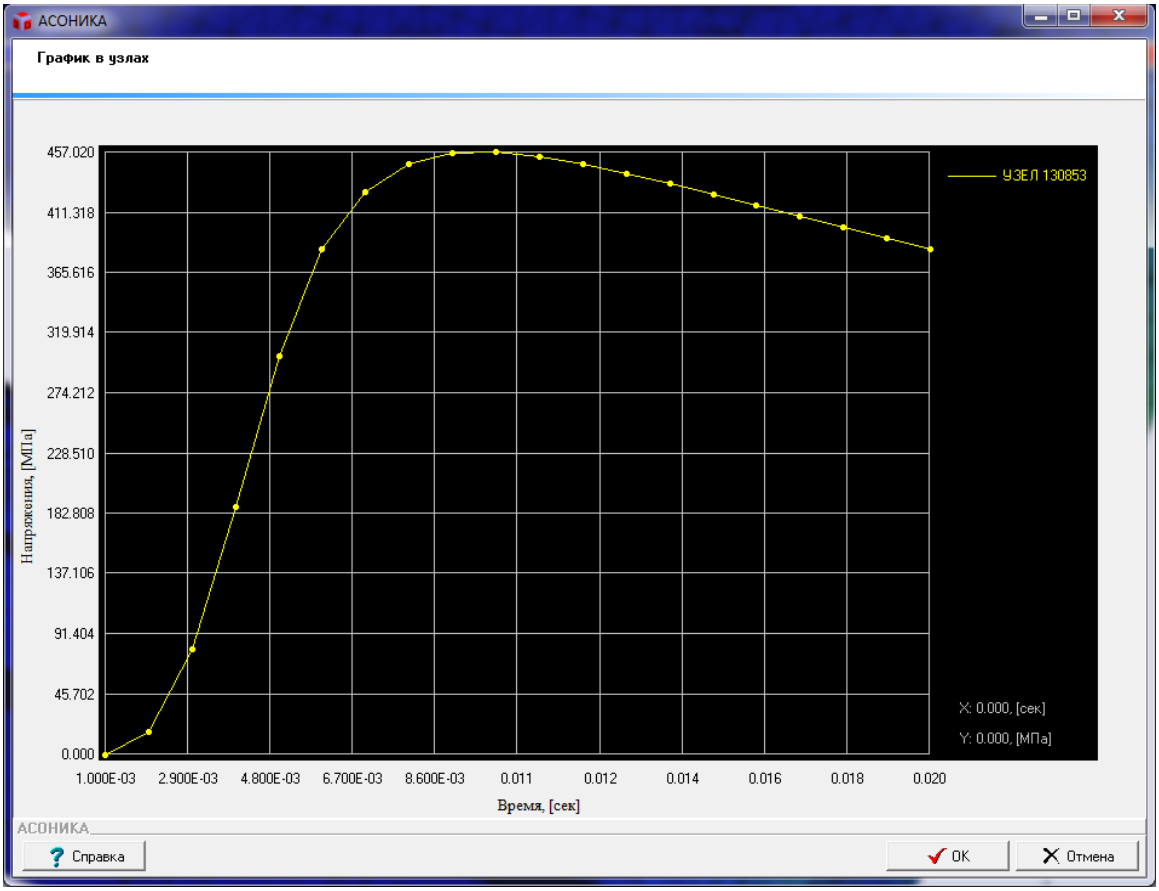


Рис. 1.1.3.20. Зависимость напряжения от времени в точке максимума MX по оси Z

Результаты моделирования на воздействия многократного удара представлены на рис. 1.1.3.21 - 1.1.3.26.

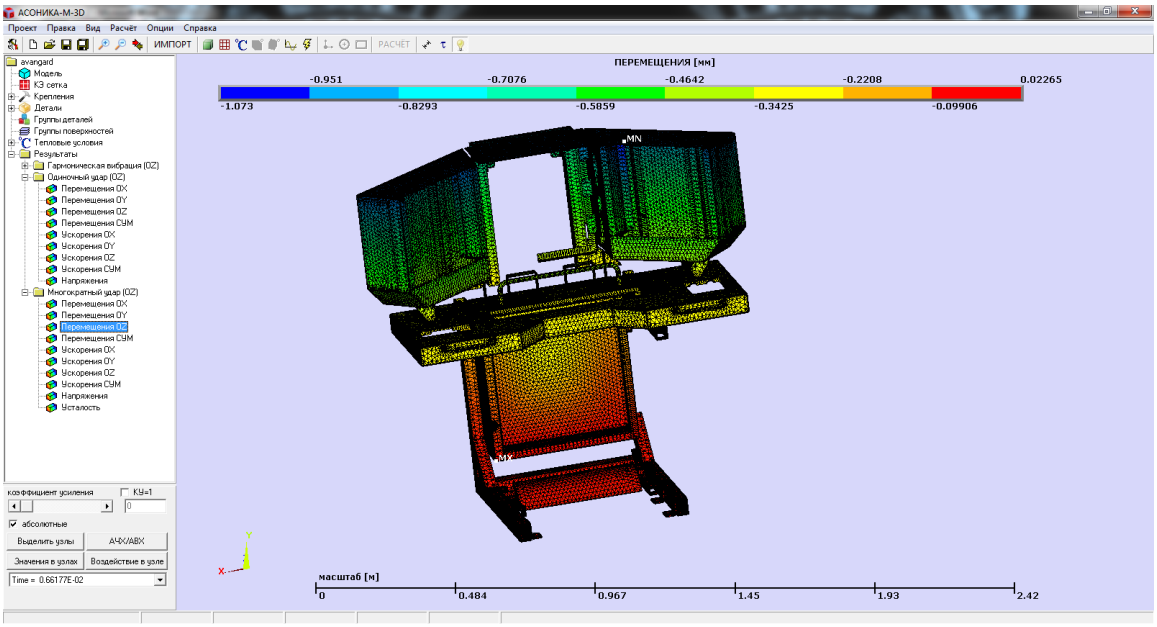


Рис. 1.1.3.21. Перемещения по оси Z в 6 мс

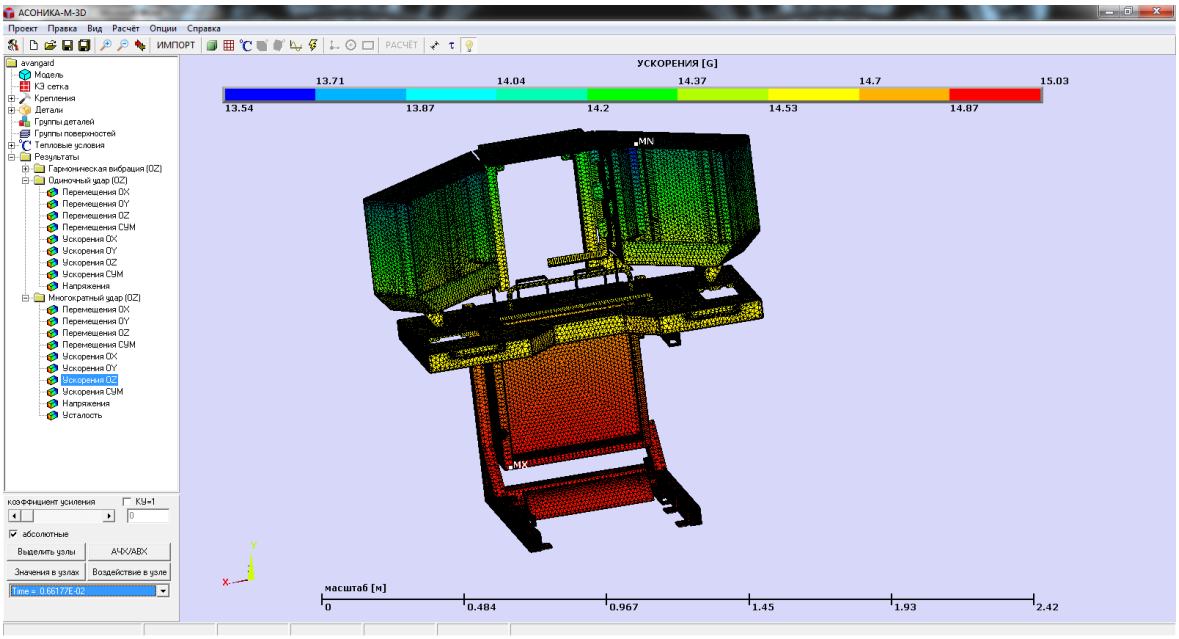


Рис. 1.1.3.22. Ускорения по оси Z в 6 мс

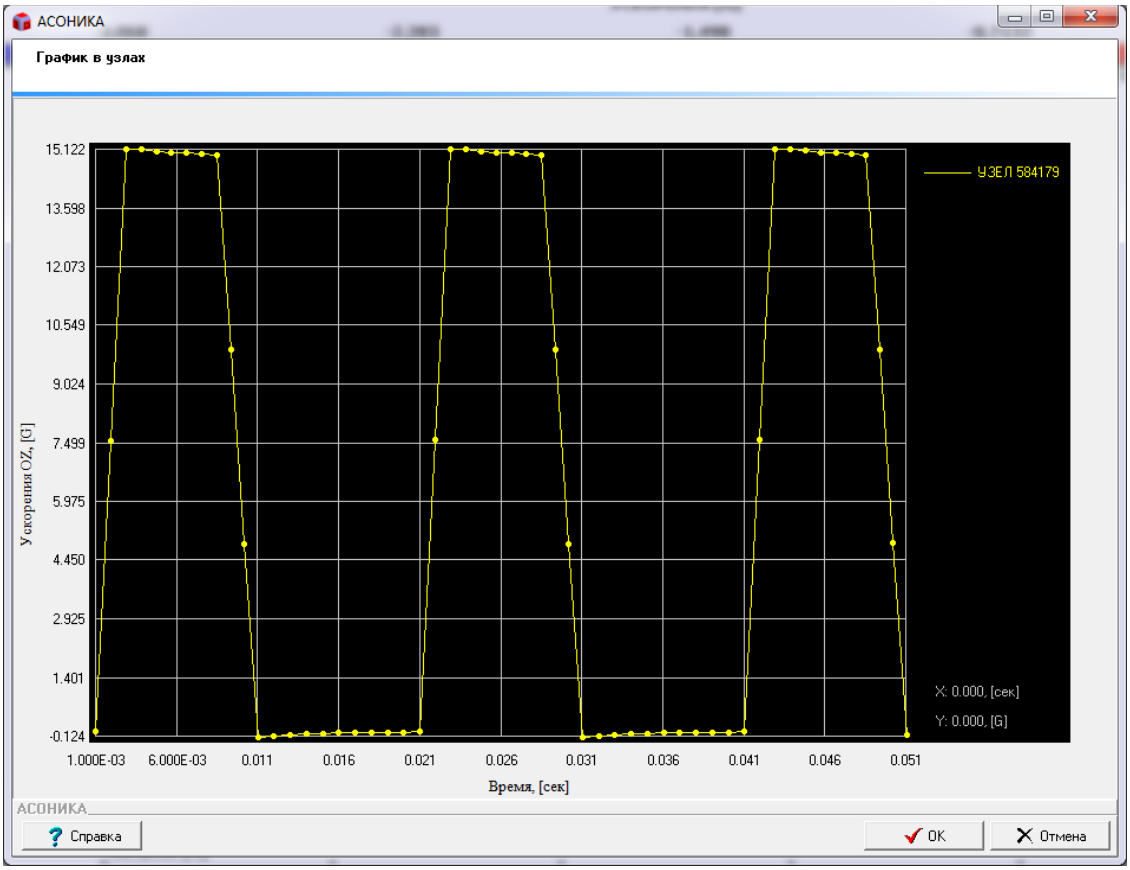


Рис. 1.1.3.23. Зависимость ускорения от времени в точке максимума MX по оси Z

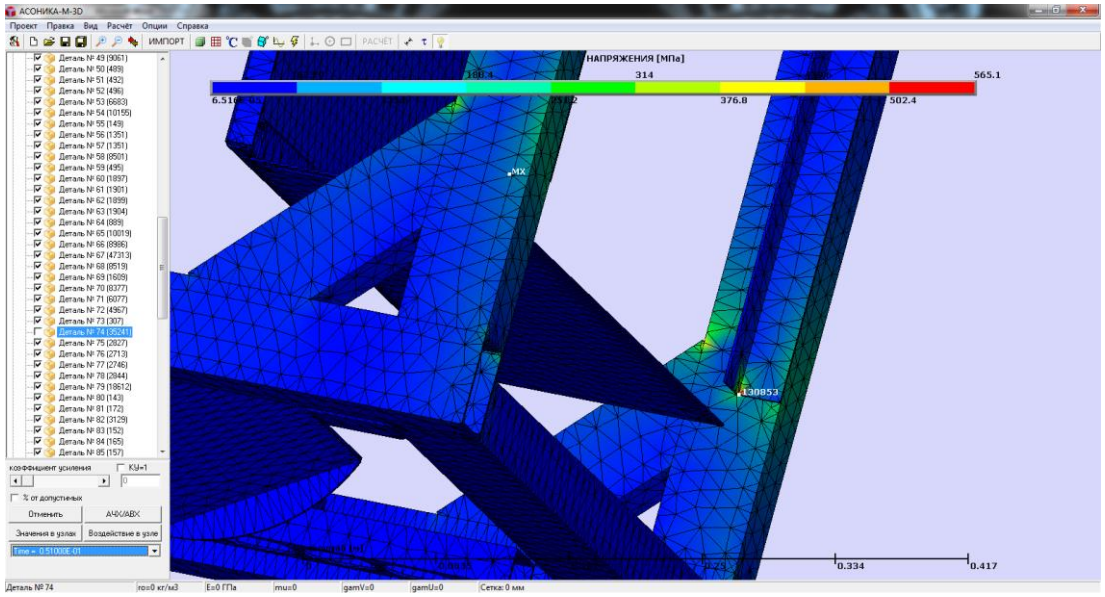


Рис. 1.1.3.24. Напряжения по оси Z в 51 мс

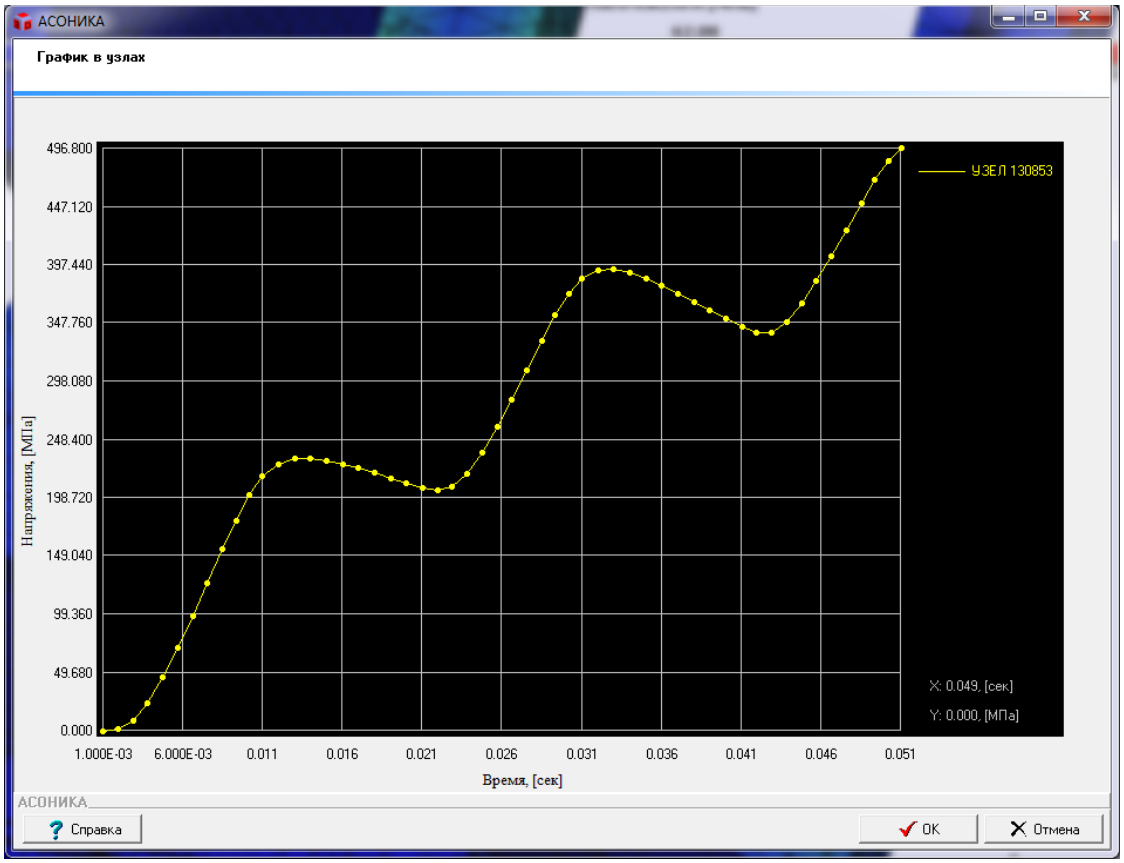


Рис. 1.1.3.25. Зависимость напряжения от времени в точке максимума MX по оси Z

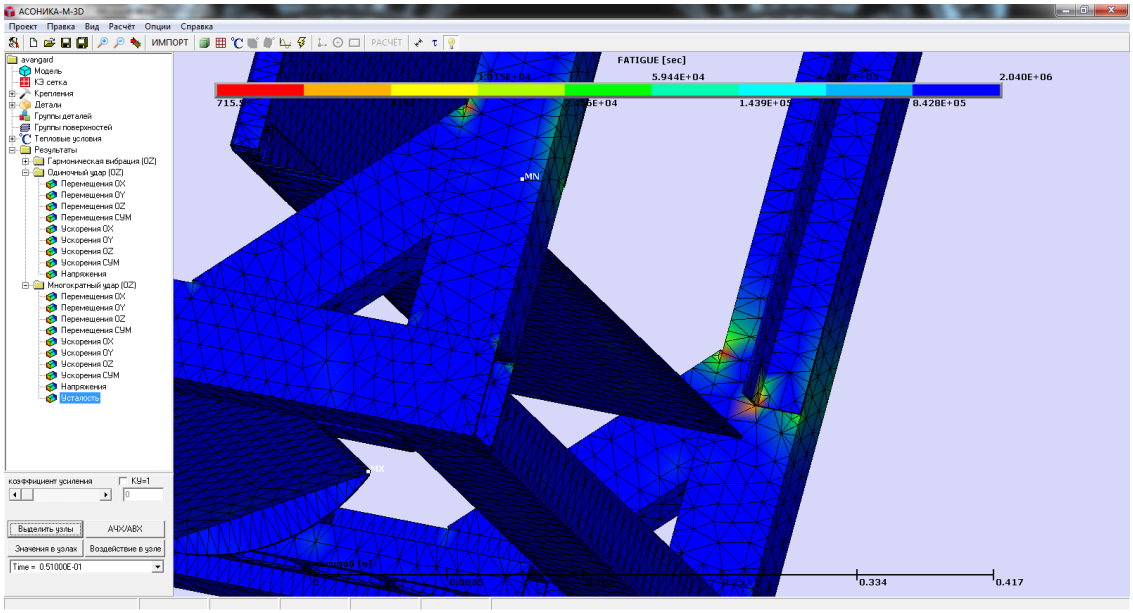


Рис. 1.1.3.26. Время до усталостного разрушения по оси Z в 51 мс

Выводы.

При воздействии гармонической вибрации наблюдаются резонансы на частотах 54 и 100 Гц.

На резонансах максимальные механические (250 МПа) напряжения превышают допустимые (95 МПа).

Время до усталостного разрушения в критических точках конструкции менее 370 с при непрерывном воздействии гармонической вибрации.

При воздействии одиночного удара максимальное механическое напряжение достигается в 9 мс и составляет 457 МПа, что значительно выше допустимого значения (95 МПа).

При воздействии многократного удара максимальное механическое напряжение достигается в 51 мс и составляет 565 МПа, что значительно выше допустимого значения (95 МПа).

Минимальное время до усталостного разрушения в критических точках конструкции 715 с при воздействии многократного удара.

Для снижения механических напряжений в пределах допустимых необходимо использовать виброизоляторы. При принятии заказчиком решения о применении виброизоляторов можно подобрать параметры, количество и координаты расположения виброизоляторов в конструкции с помощью подсистемы АСОНИКА-В.

1.2. Механические расчеты блоков (АСОНИКА-М, АСОНИКА-М-3D, АСОНИКА-ИД)

1.2.1. Расчет блока 002 на механические воздействия

Задача расчета.

Задачей работы является анализ и обеспечение с помощью системы АСОНИКА стойкости к механическим воздействиям блока 002.

Провести расчет с помощью подсистемы АСОНИКА-М-3D перемещений, ускорений и напряжений в конструкции блока, а также зависимостей ускорений (спектральных плотностей ускорений) в местах крепления печатных узлов от частоты (для вибрации) или от времени (для ударов).

Исходные данные.

Блок должен быть прочным и устойчивым в условиях внешних воздействующих факторов (ВВФ), указанных в таблице 1.2.1.1.

Таблица 1.2.1.1

Параметры внешних воздействующих факторов

Воздействующий фактор	Характеристики воздействующего фактора. Наименование и обозначение	Значение ВВФ						
Синусоидальная вибрация, определение критических частот	Диапазон частот, Гц	5 ... 2000						
	Ускорение, g	0,5…12						
Случайная широкополосная вибрация	Диапазон частот, Гц	20…50	50…100	100…200	200…500	500…1000		1000…2000
	Спектральная плотность виброускорений, g^2, Гц	0,04-0,05	0,05-0,06	0,06-0,10	0,10	0,10-0,06		0,06-0,03
		0,02	0,02	0,02	0,020-0,008	0,008-0,004		0,004-0,002
Линейное ускорение	Величина ускорения, g	+/-X: 10 +/-Y: 5 +/-Z: 5 прочность						
Ударно-импульсные нагружения (спектры соответствуют добротности Q = 10, при расчете принимать квалификационный коэффициент 1,5 на уровни ударных спектров)	Диапазон частот, Гц	30-50	50-100	100-200	200-500	500-1000	1000-2000	2000-5000
	Ускорение, g	2-3	3-10	10-30	30-125	125-350	350	350
	Диапазон частот, Гц	30-50	50-100	100-200	200-500	500-1000	1000-2000	2000-5000
	Ускорение, g	15-40	40-160	160-200	200-1000	1000	1000-3000	3000

Синусоидальная вибрация оценивается по трем взаимно перпендикулярным направлениям, как показано на рисунке 1.2.1.1.

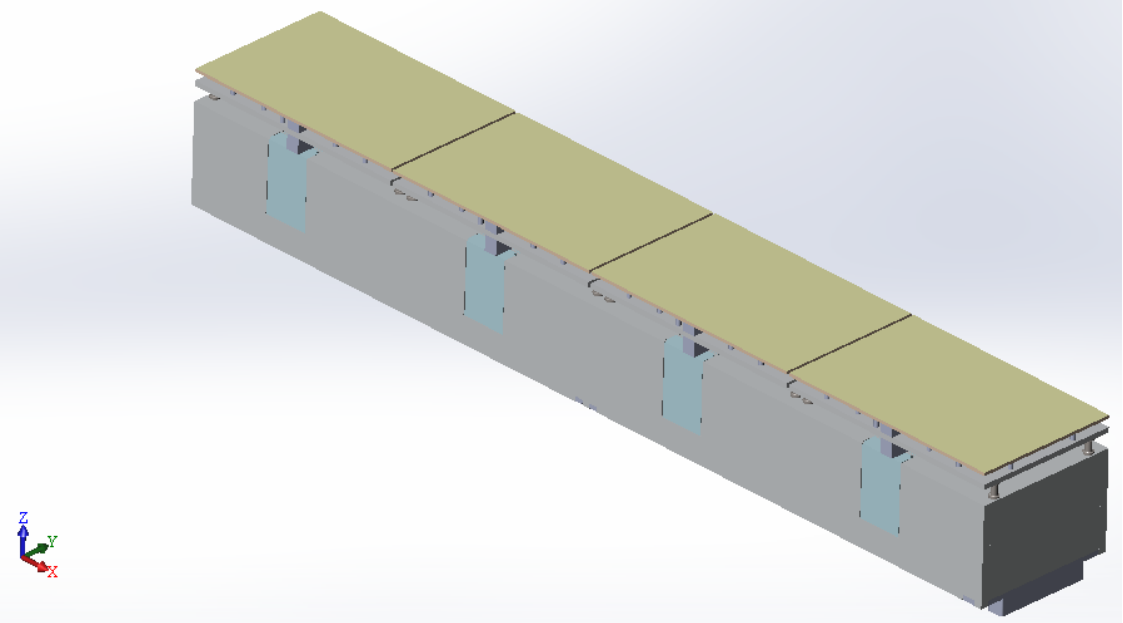


Рис. 1.2.1.1. Внешний вид конструкции блока 002

Блок представляет собой прямоугольную конструкцию (размеры 1119 × 176 × 155 мм). Блок включает в себя 32 модуля ППМ, установленных в 4 ряда по 8 модулей в каждом. В блоке содержатся 2 модуля ВИП, в середине блока установлены модули БУМ и МДО (МДО установлен на БУМ).

Блок имеет точки крепления, которые показаны на рисунках 1.2.1.2 – 1.2.1.4.

Корпус блока изготовлен из материала Д16 12,0 ГОСТ 17232-99.

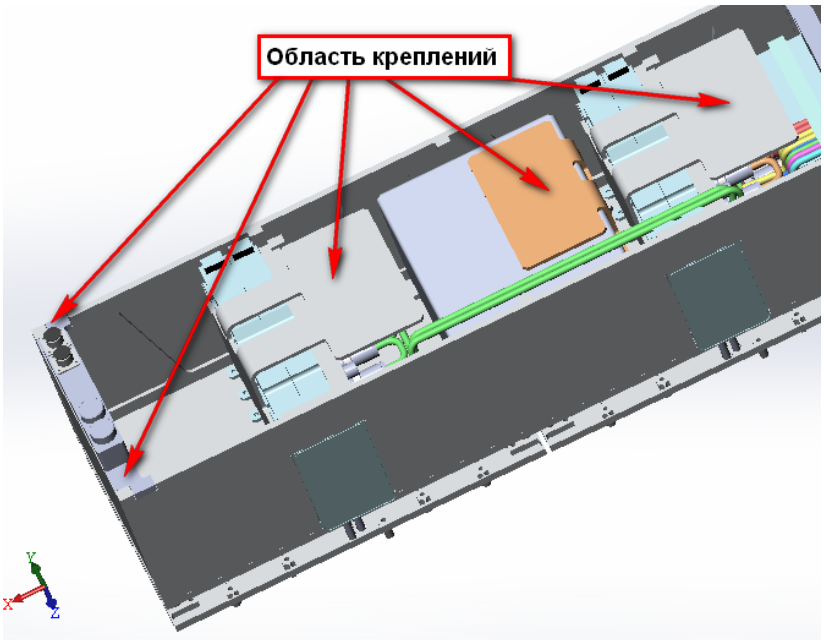


Рис. 1.2.1.2. Области креплений

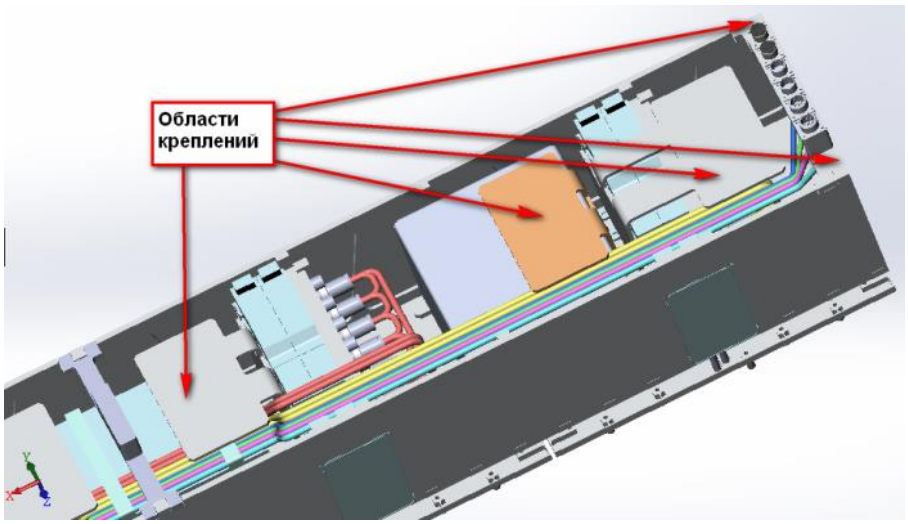


Рис. 1.2.1.3. Области креплений

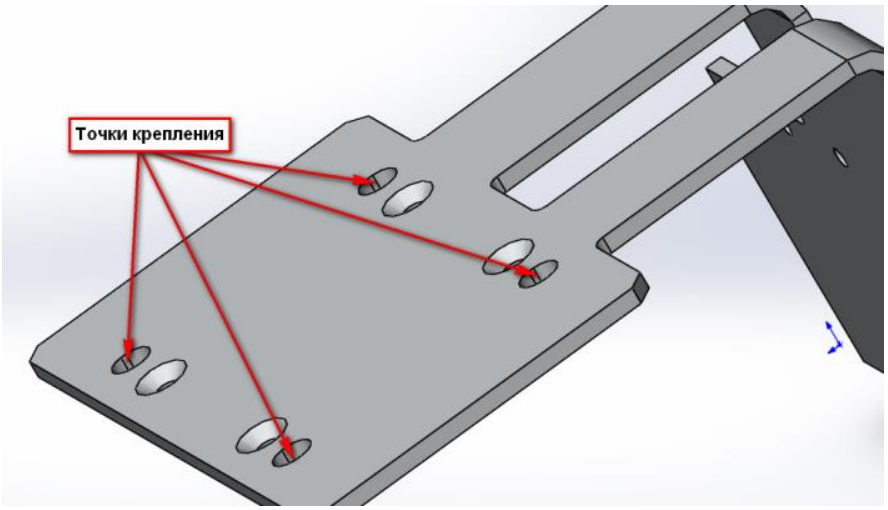


Рис. 1.2.1.4. Области креплений

Результаты моделирования.

Модель конструкции блока 002 импортируется в подсистему АСОНИКА-М-3D. На рис. 1.2.1.5 представлена конечно-элементная сетка блока 002.

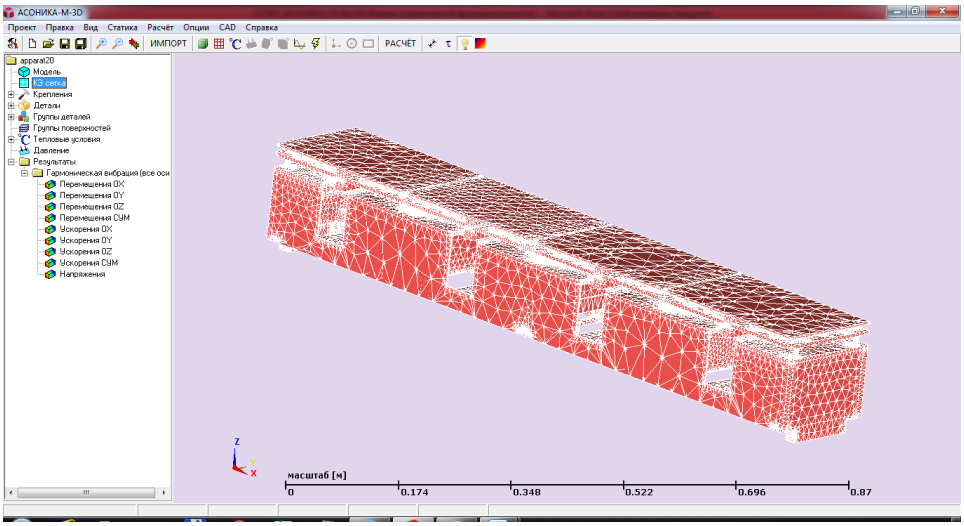


Рис. 1.2.1.5. Конечно-элементная сетка блока 002

Перед импортированием конструкции блока в подсистему АСОНИКА-М-3D в нее вносятся некоторые упрощения, такие как скрытие некоторых электронных компонентов, удаление скруглений, фасок и мелких деталей.

Без упрощения расчет провести невозможно, так как количество конечных элементов достигает нескольких миллионов. Для таких моделей недостаточно производительности используемых компьютеров, прежде всего частоты процессора и оперативной памяти.

На рисунках 1.2.1.6 – 1.2.1.9 представлены графики механических воздействий, созданные в подсистеме АСОНИКА-М-3D. Графики воздействия линейного ускорения по оси X аналогичны по осям Y и Z.

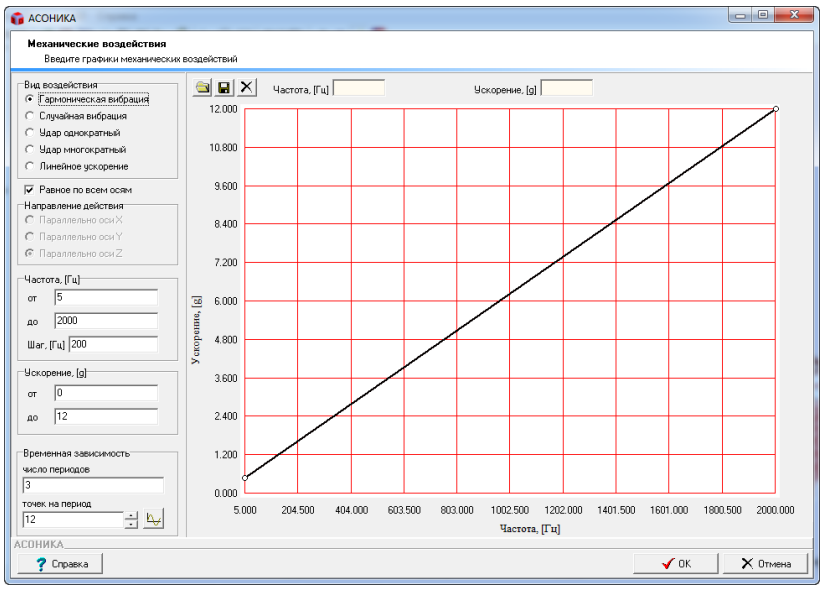


Рис 1.2.1.6. График входного воздействия для синусоидальной вибрации

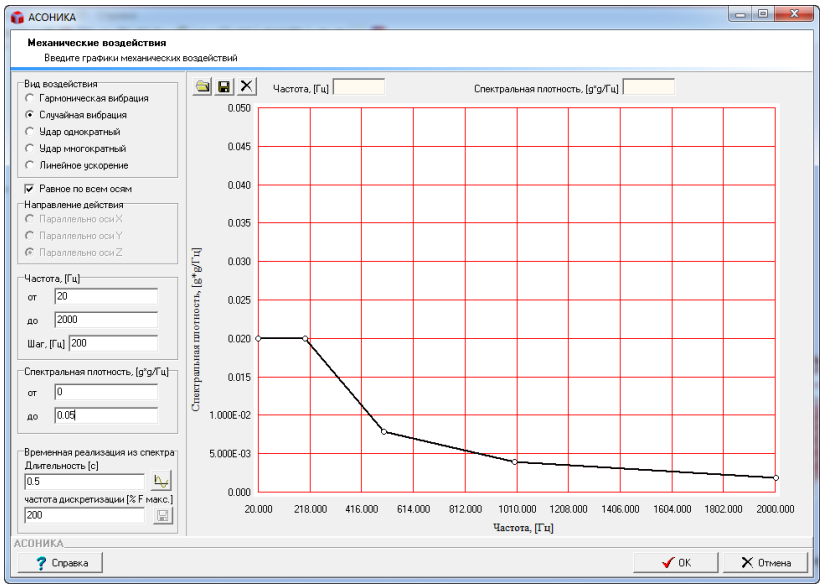


Рис 1.2.1.7. График входного воздействия для случайной вибрации

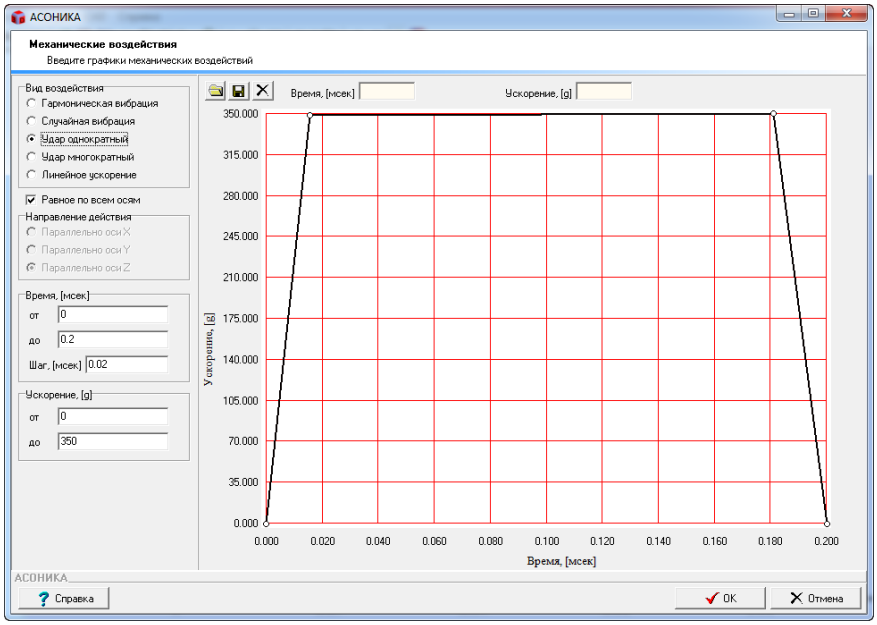


Рис 1.2.1.8. График входного воздействия для одиночного удара

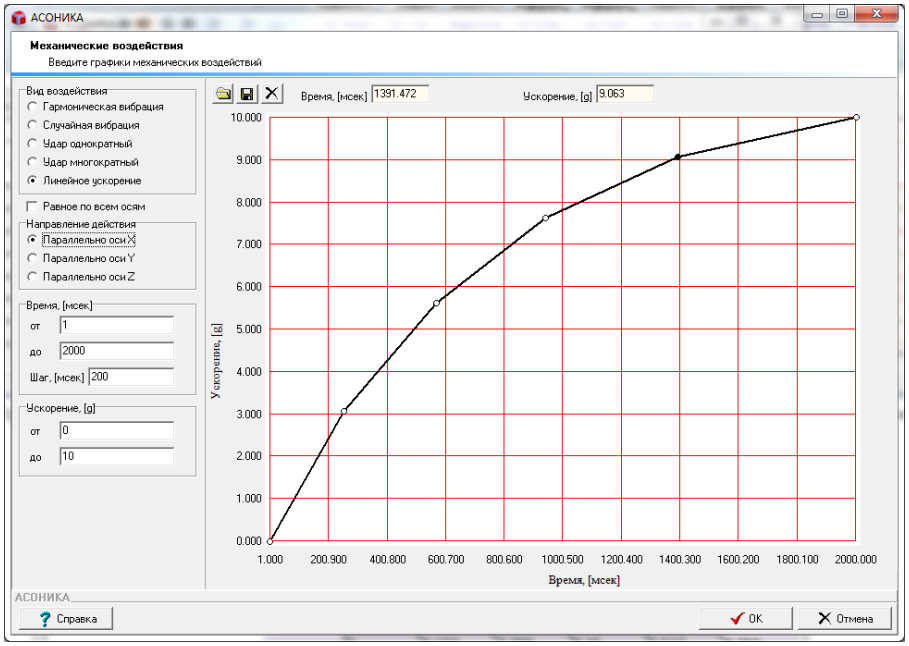


Рис 1.2.1.9. График воздействия линейного ускорения по оси X

Моделирование гармонической вибрации.

На рис. 1.2.1.10 – 1.2.1.16 представлены результаты расчета блока на воздействие синусоидальной вибрации. На рис. 1.2.1.12 показаны максимальные перемещения по оси X при гармонической вибрации (частота резонанса 402 Гц), можно вывести аналогичные результаты по осям Y и Z.

На рис. 1.2.1.14 показаны максимальные ускорения по оси X при гармонической вибрации (частота резонанса 402 Гц), можно вывести аналогичные результаты по осям Y и Z.

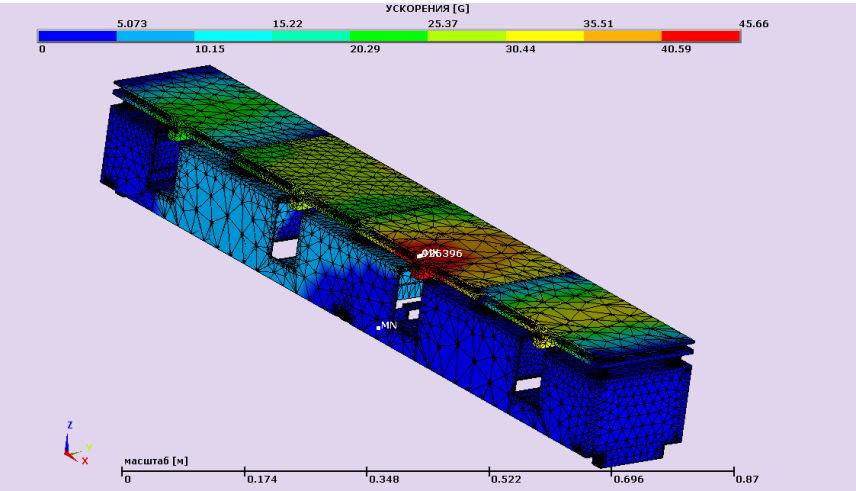


Рис. 1.2.1.10. Поле максимальных суммарных ускорений

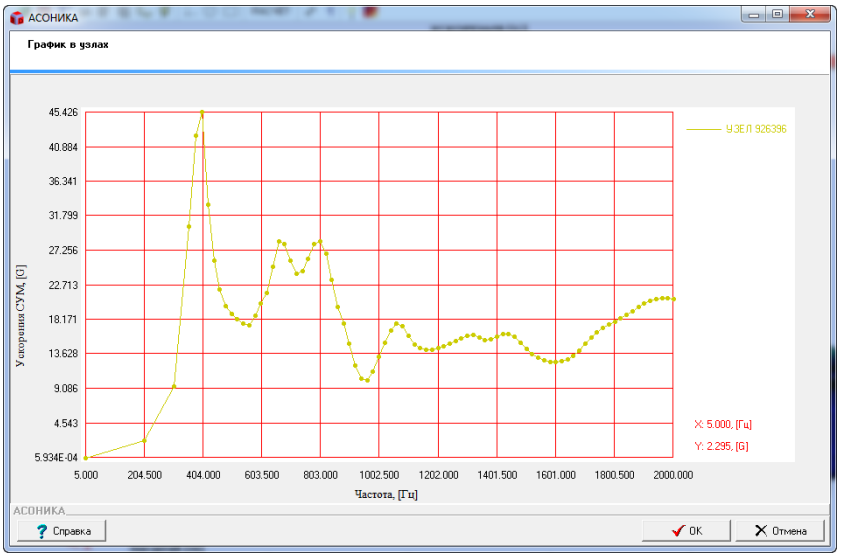


Рис. 1.2.1.11. Зависимость максимального суммарного ускорения от частоты гармонической вибрации (в точке MX на рисунке)

Согласно графику видно, что на частотах 402 Гц – 45,4 g, 680 Гц – 28 g, 800 Гц – 28 g есть резонансы.

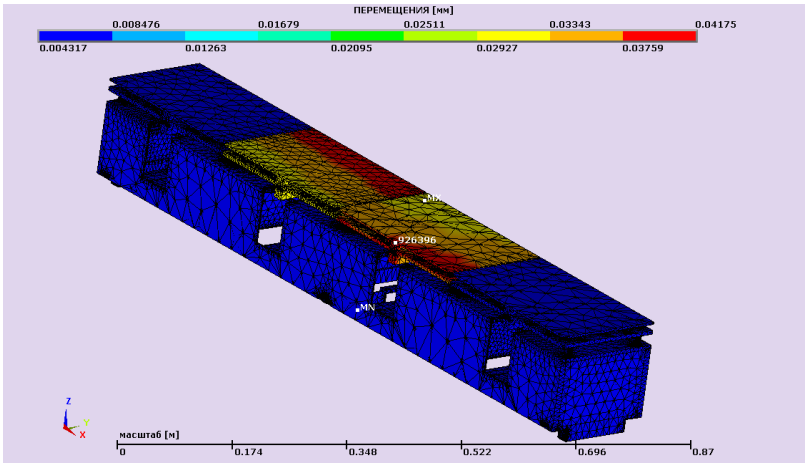


Рис. 1.2.1.12. Максимальные перемещения по оси X при гармонической вибрации (частота резонанса 402 Гц)

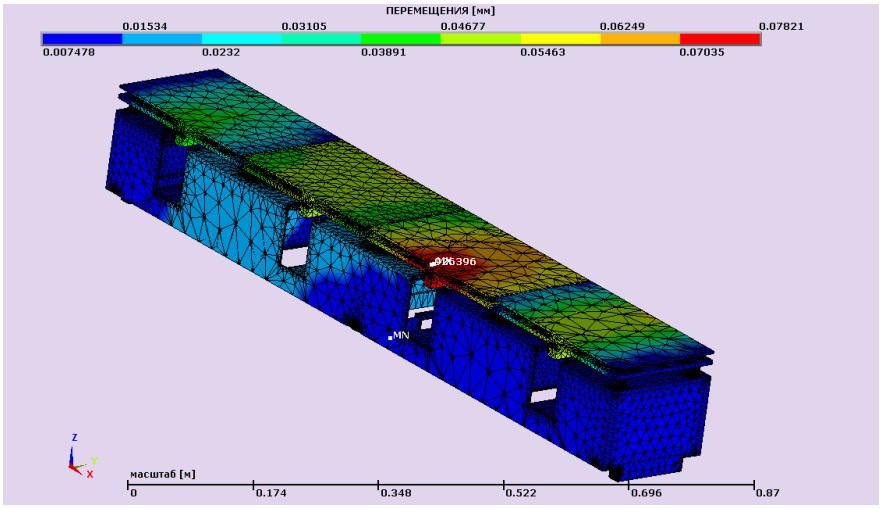


Рис. 1.2.1.13. Максимальные суммарные перемещения при гармонической вибрации (частота резонанса 402 Гц)

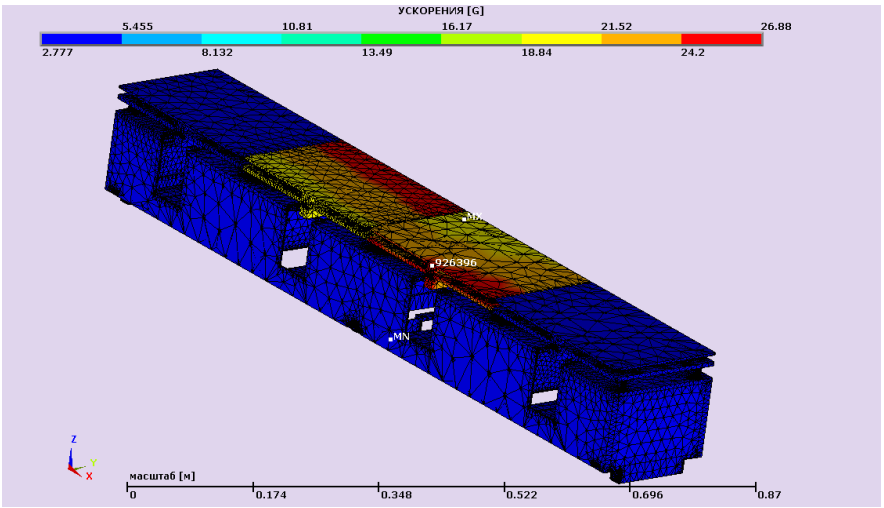


Рис. 1.2.1.14. Максимальные ускорения по оси X при гармонической вибрации (частота резонанса 402 Гц)

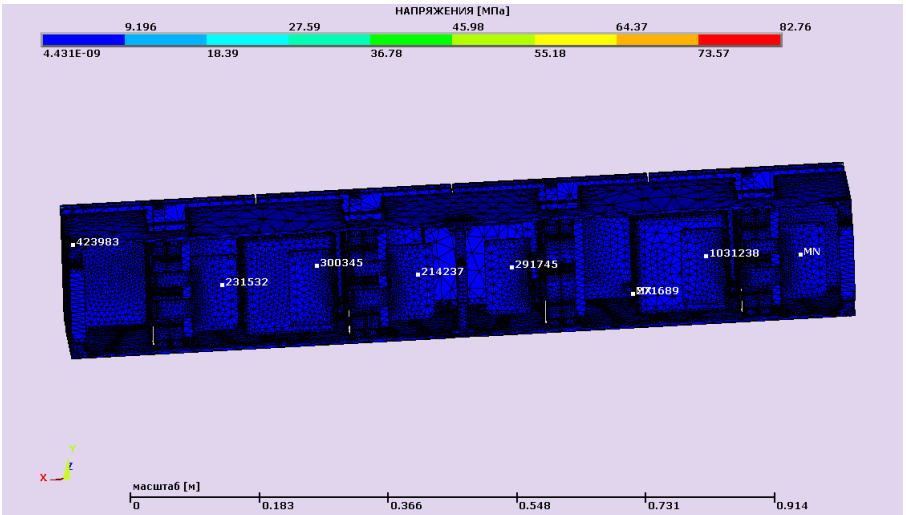


Рис. 1.2.1.15. Максимальные суммарные напряжения при гармонической вибрации (частота 975 Гц)

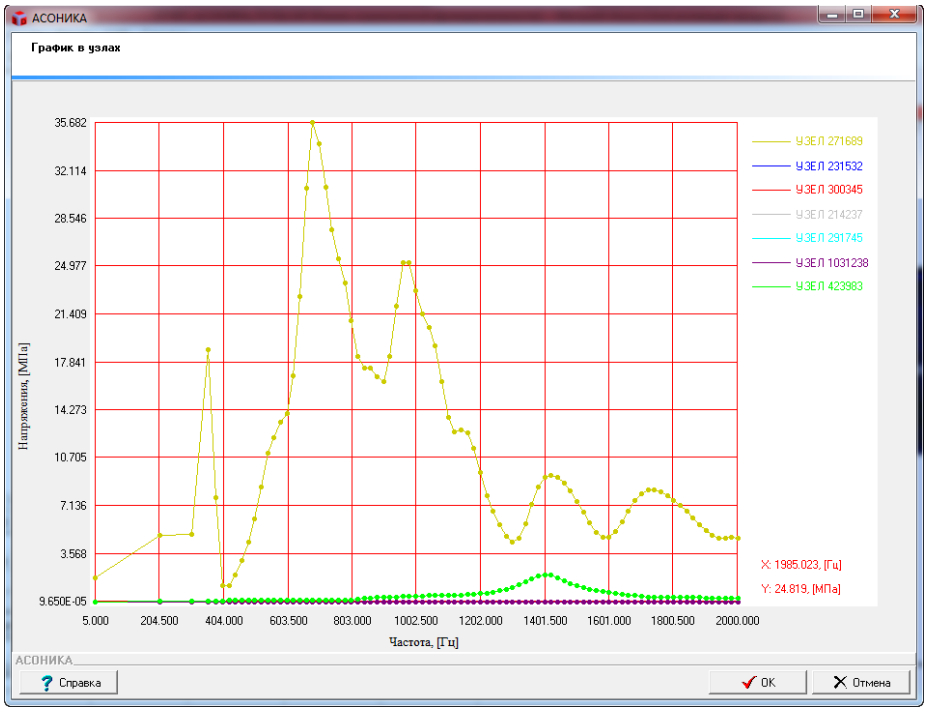


Рис. 1.2.1.16. График суммарных напряжений при гармонической вибрации

Максимальные механические напряжения в группах деталей приведены в табл. 1.2.1.2.

Таблица 1.2.1.2

Максимальные механические напряжения в группах деталей

Группа деталей	Материал изготовления	Предел прочности материала, МПа	Рассчитанное значение, МПа
Пластины	Лист АМц-3,0 ГОСТ 21631-76	110	2,095
ВИП	Сплав Д16 ГОСТ 4784-97	390	4,34
МАР	Лист АМг6 8,0 ГОСТ 21631-76	355	0,9912
Делители	Плита Д16 28 ГОСТ 17232-99	390	2,76
Колодки	Плита Д16 28 ГОСТ 17232-99	390	3,937
ВИП Основание	Сплав Д16 ГОСТ 4784-97	390	4,856
Стенки	Плита Д16 12,0 ГОСТ 17232-99	390	3,91
Втулки	Фторопласт Ф4К20 ТУ 6-05-1413-76	150	1,24
Ал. скобы (Планки)	Лист АМц-3,0 ГОСТ 21631-76	110	2,137

Выводы по гармонической вибрации.

Согласно таблице 1.2.1.2, расчетные напряжения в конструкции при воздействии синусоидальной вибрации не превышают допустимые значения, несмотря на наличие резонансов в конструкции.

Моделирование случайной вибрации.

Результаты расчета блока 002 на воздействие случайной вибрации с учетом нелинейности и с оценкой времени до усталостного разрушения конструкции при воздействии случайной вибрации представлены на рис. 1.2.1.17 - 1.2.1.24.

На рис. 1.2.1.17 представлено поле перемещений вдоль оси X. На рис. 1.2.1.18 выведены максимальные и минимальные значения перемещений по оси X для групп деталей. Аналогичные результаты можно вывести по осям Y и Z, а также для суммарных перемещений.

На рис. 1.2.1.19 представлено поле среднеквадратических ускорений вдоль оси X. На рис. 1.2.1.20 выведены максимальные и минимальные значения среднеквадратических ускорений по оси X для групп деталей. Аналогичные результаты можно вывести по осям Y и Z, а также для суммарных среднеквадратических ускорений.

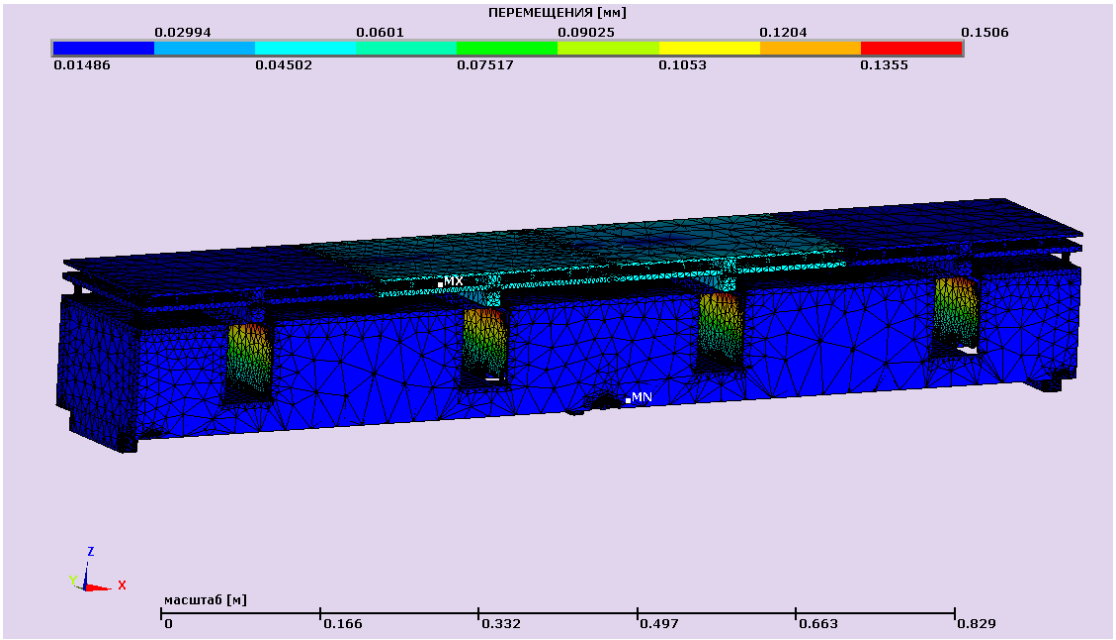
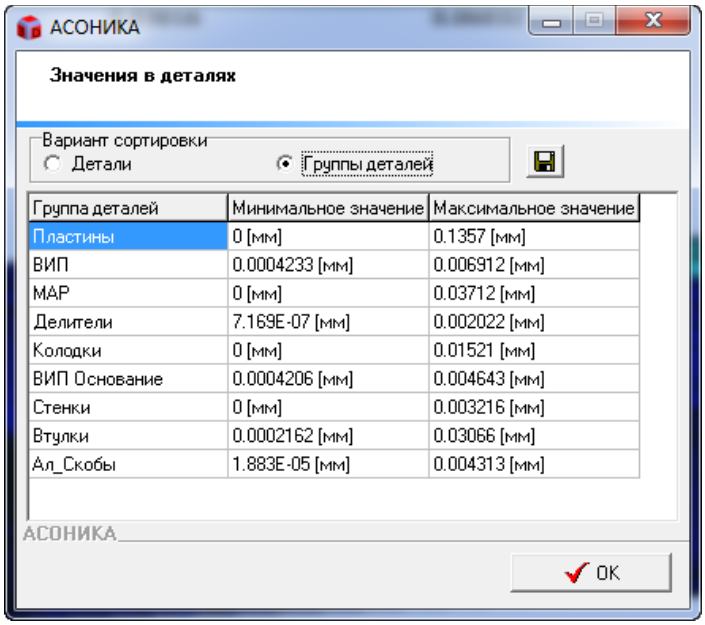


Рис. 1.2.1.17. Поле перемещений вдоль оси X



Группа деталей	Минимальное значение	Максимальное значение
Пластины	0 [мм]	0.1357 [мм]
ВИП	0.0004233 [мм]	0.006912 [мм]
МАР	0 [мм]	0.03712 [мм]
Делители	7.169E-07 [мм]	0.002022 [мм]
Колодки	0 [мм]	0.01521 [мм]
ВИП Основание	0.0004206 [мм]	0.004643 [мм]
Стенки	0 [мм]	0.003216 [мм]
Втулки	0.0002162 [мм]	0.03066 [мм]
Ал_Скобы	1.883E-05 [мм]	0.004313 [мм]

Рис. 1.2.1.18. Максимальные и минимальные значения перемещений по оси X для групп деталей

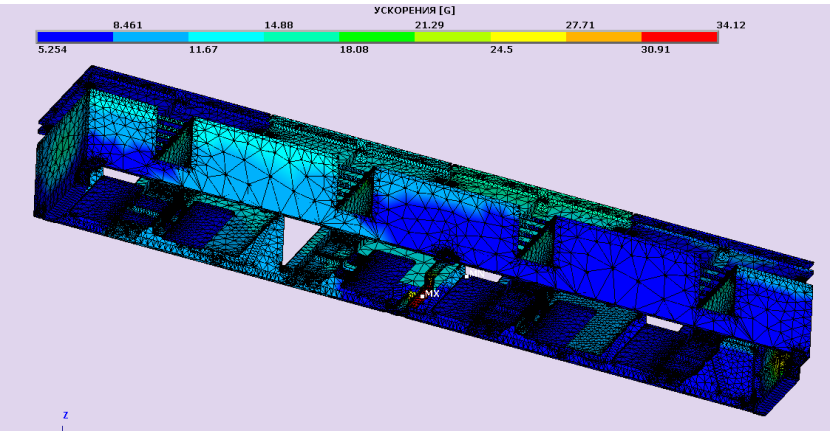
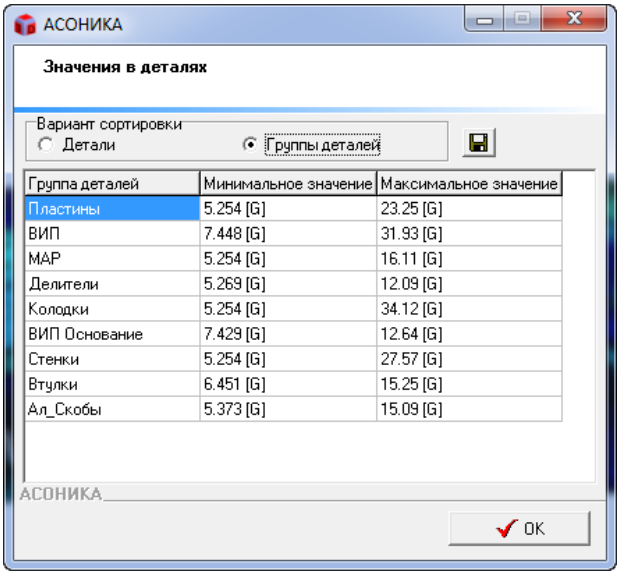


Рис. 1.2.1.19. Поле среднеквадратических ускорений вдоль оси X



Группа деталей	Минимальное значение	Максимальное значение
Пластины	5.254 [G]	23.25 [G]
ВИП	7.448 [G]	31.93 [G]
МАР	5.254 [G]	16.11 [G]
Делители	5.269 [G]	12.09 [G]
Колодки	5.254 [G]	34.12 [G]
ВИП Основание	7.429 [G]	12.64 [G]
Стенки	5.254 [G]	27.57 [G]
Втулки	6.451 [G]	15.25 [G]
Ал_Скобы	5.373 [G]	15.09 [G]

Рис. 1.2.1.20. Значения в группах деталей при воздействии по оси X

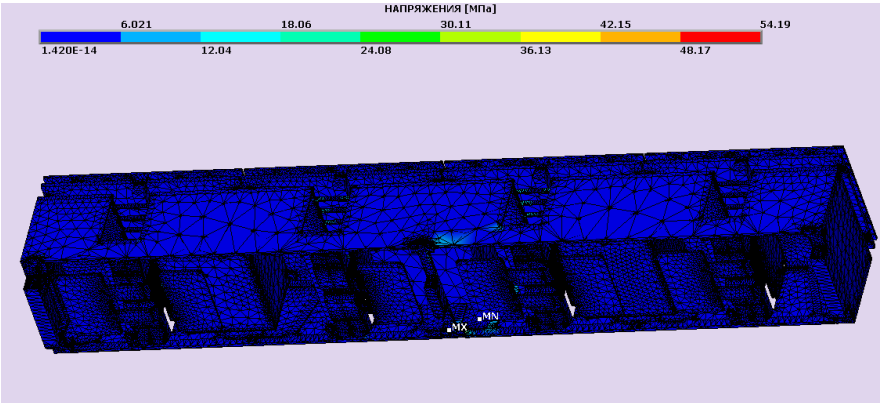
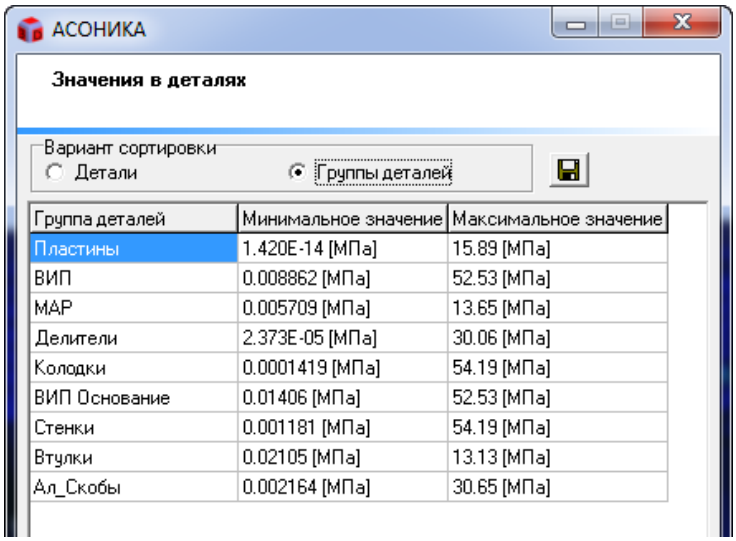


Рис. 1.2.1.21. Поле среднеквадратических напряжений, которые возникают в конструкции при воздействии случайной вибрации



Группа деталей	Минимальное значение	Максимальное значение
Пластины	1.420E-14 [МПа]	15.89 [МПа]
ВИП	0.008862 [МПа]	52.53 [МПа]
МАР	0.005709 [МПа]	13.65 [МПа]
Делители	2.373E-05 [МПа]	30.06 [МПа]
Колодки	0.0001419 [МПа]	54.19 [МПа]
ВИП Основание	0.01406 [МПа]	52.53 [МПа]
Стенки	0.001181 [МПа]	54.19 [МПа]
Втулки	0.02105 [МПа]	13.13 [МПа]
Ал_Скобы	0.002164 [МПа]	30.65 [МПа]

Рис. 1.2.1.22. Значения в группах деталей (среднеквадратические напряжения)

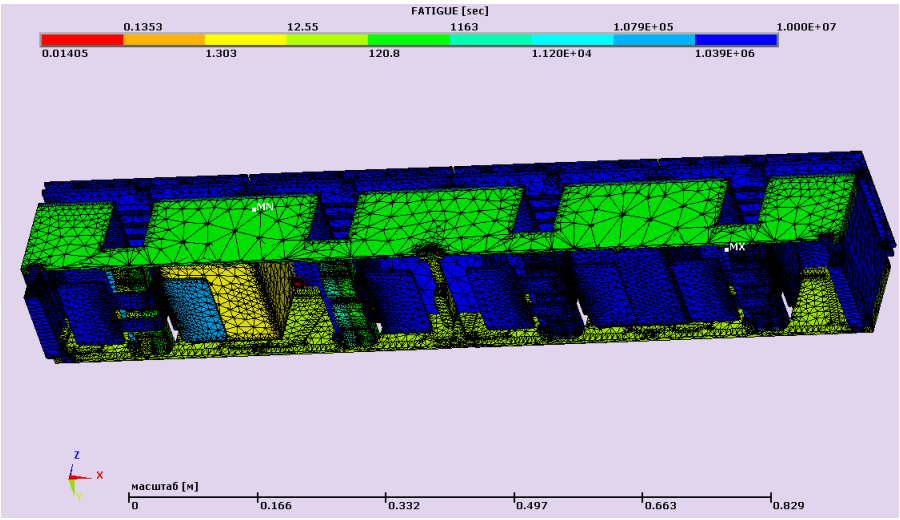


Рис. 1.2.1.23. Поле времени до усталостного разрушения

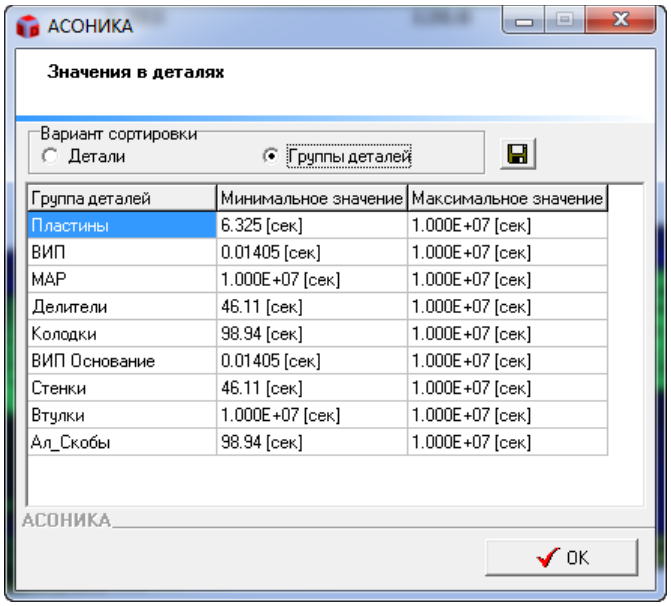


Рис. 1.2.1.24. Таблица времени до усталостного разрушения

В таблице 1.2.1.3 приведены максимальные механические напряжения в группах деталей.

Таблица 1.2.1.3

Максимальные механические напряжения в группах деталей

Группа деталей	Материал изготовления	Предел прочности материала, МПа	Рассчитанное значение, МПа
Пластины	Лист АМц-3,0 ГОСТ 21631-76	110	15,89
ВИП	Сплав Д16 ГОСТ 4784-97	390	52,53
МАР	Лист АМг6 8,0 ГОСТ 21631-76	355	13,65
Делители	Плита Д16 28 ГОСТ 17232-99	390	30,06
Колодки	Плита Д16 28 ГОСТ 17232-99	390	54,19
ВИП Основание	Сплав Д16 ГОСТ 4784-97	390	52,53
Стенки	Плита Д16 12,0 ГОСТ 17232-99	390	54,19
Втулки	Фторопласт Ф4К20 ТУ 6-05-1413-76	150	13,13
Ал. скобы (планки)	Лист АМц-3,0 ГОСТ 21631-76	110	30,65

Выводы по случайной вибрации.

Согласно таблице 1.2.1.3, расчетные напряжения в конструкции при воздействии случайной вибрации не превышают допустимые значения.

Моделирование удара одиночного действия.

На рисунках 1.2.1.25 – 1.2.1.33 представлены результаты моделирования, полученные при расчете удара одиночного действия по оси X. Можно вывести аналогичные результаты вдоль осей Y и Z, а также результаты ударного воздействия одновременно по 3 осям.

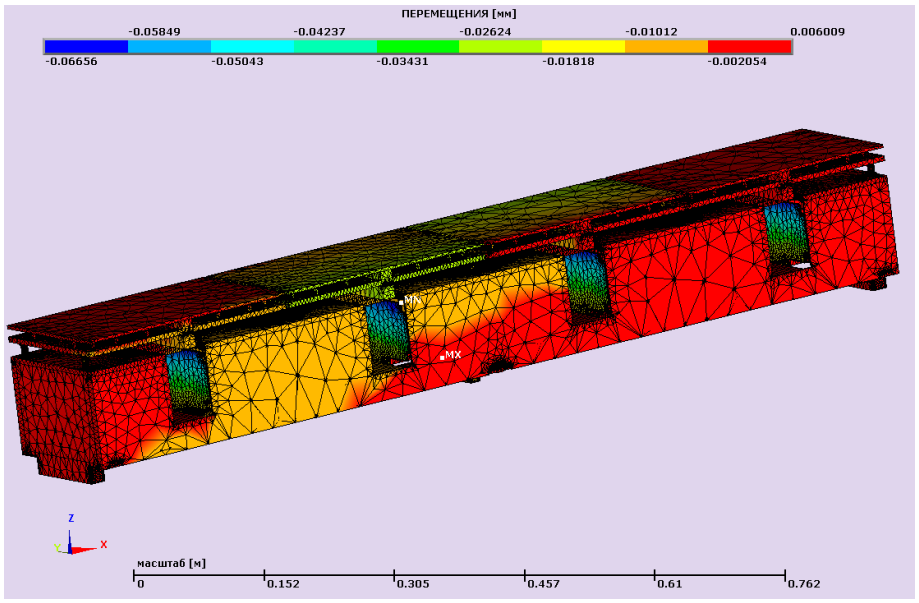


Рис. 1.2.1.25. Поле максимальных перемещений, ось X

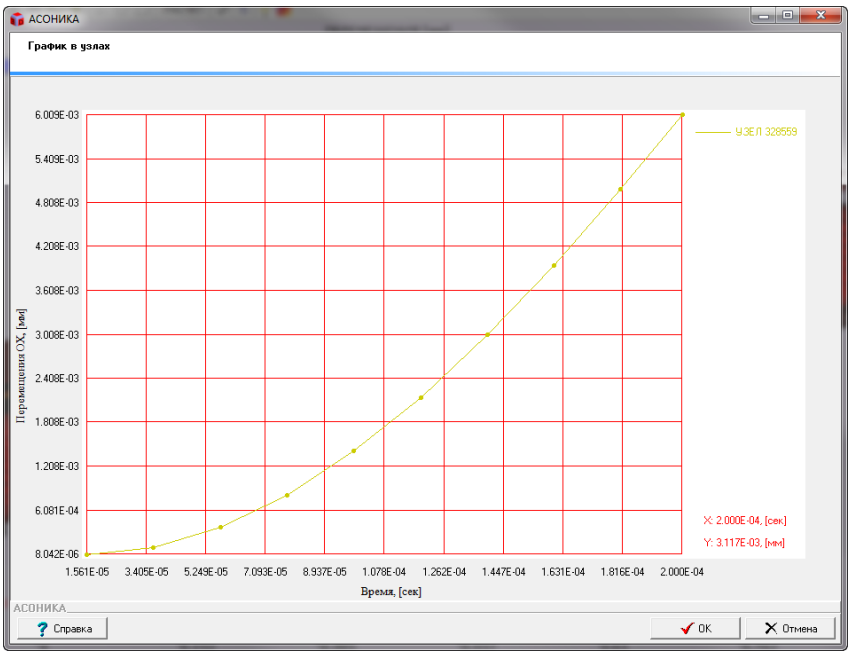


Рис. 1.2.1.26. График зависимости максимального перемещения от времени вдоль оси X (точка MX)

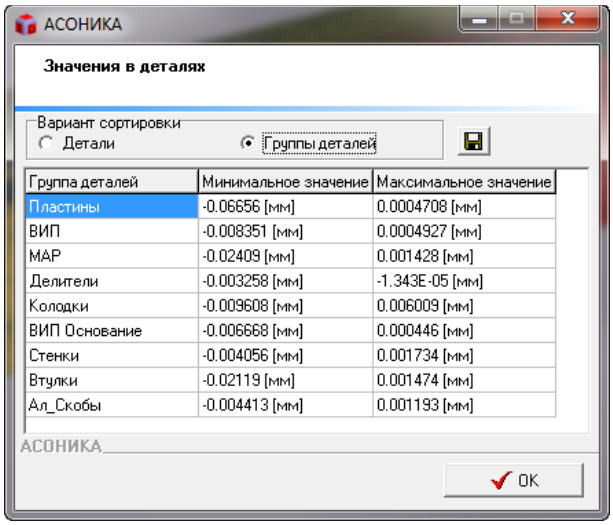


Рис. 1.2.1.27. Значения перемещений в группах деталей (вдоль оси X)

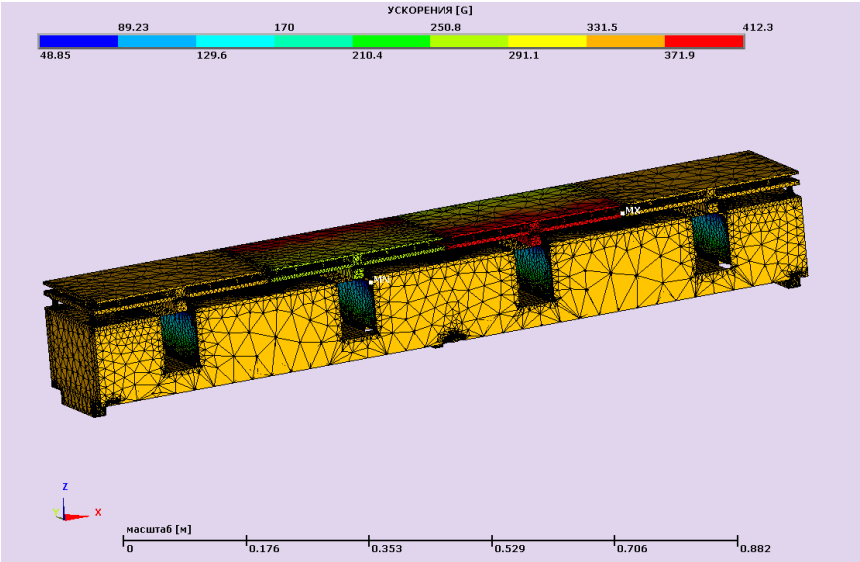


Рис. 1.2.1.28. Поле максимальных ускорений, ось X

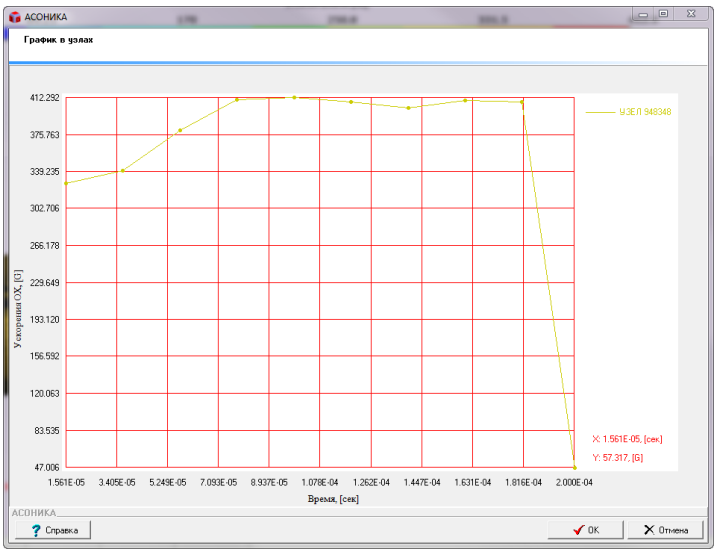
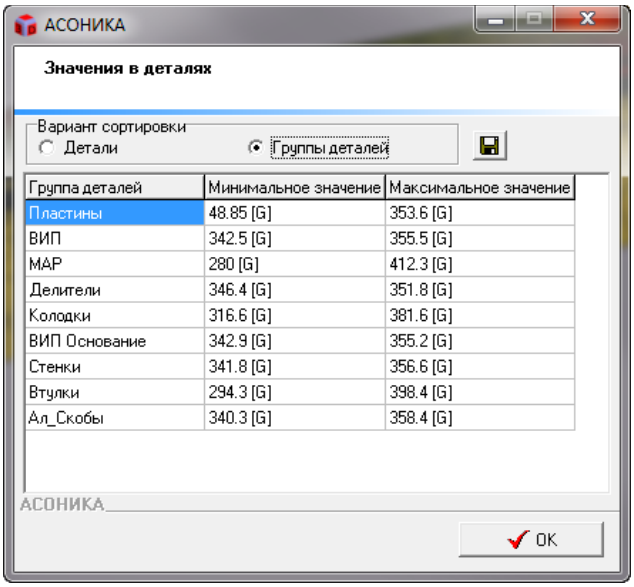


Рис. 1.2.1.29. График зависимости максимального ускорения от времени вдоль оси X (точка MX)



Группа деталей	Минимальное значение	Максимальное значение
Пластины	48.85 [G]	353.6 [G]
ВИП	342.5 [G]	355.5 [G]
МАР	280 [G]	412.3 [G]
Делители	346.4 [G]	351.8 [G]
Колодки	316.6 [G]	381.6 [G]
ВИП Основание	342.9 [G]	355.2 [G]
Стенки	341.8 [G]	356.6 [G]
Втулки	294.3 [G]	398.4 [G]
Ал_Скобы	340.3 [G]	358.4 [G]

Рис. 1.2.1.30. Значения ускорений в группах деталей (вдоль оси X)

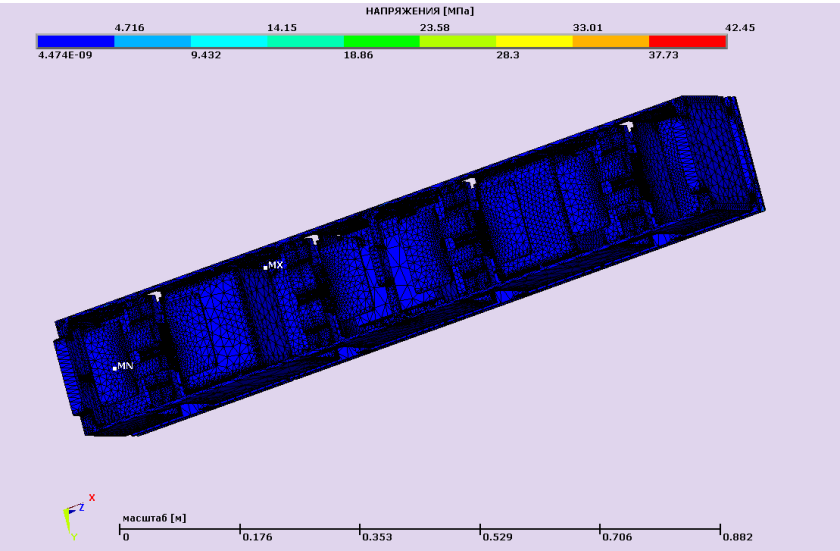


Рис. 1.2.1.31. Поле напряжений

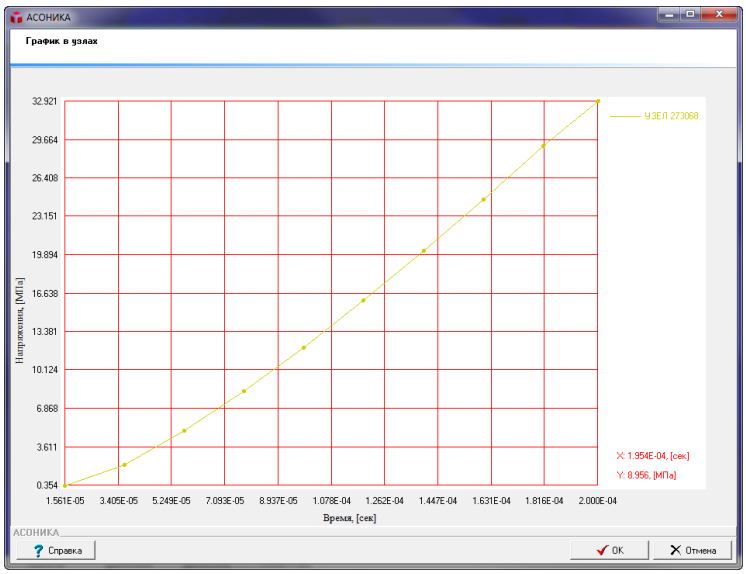
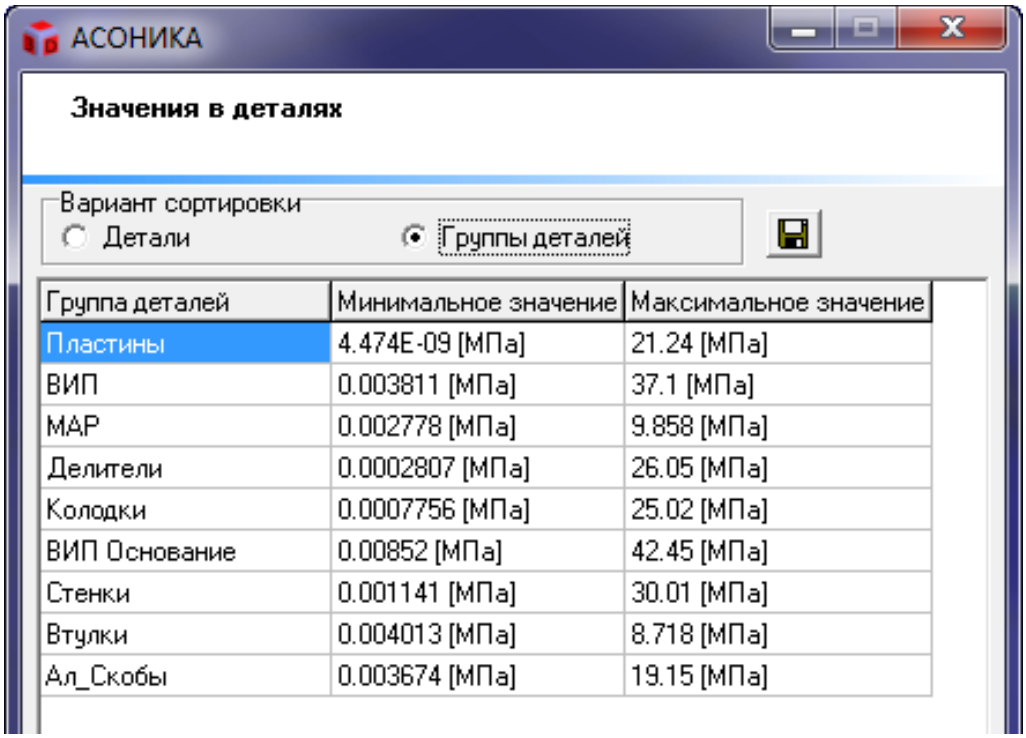


Рис. 1.2.1.32. График зависимости напряжения от времени (точка MX)



Группа деталей	Минимальное значение	Максимальное значение
Пластины	4.474E-09 [МПа]	21.24 [МПа]
ВИП	0.003811 [МПа]	37.1 [МПа]
МАР	0.002778 [МПа]	9.858 [МПа]
Делители	0.0002807 [МПа]	26.05 [МПа]
Колодки	0.0007756 [МПа]	25.02 [МПа]
ВИП Основание	0.00852 [МПа]	42.45 [МПа]
Стенки	0.001141 [МПа]	30.01 [МПа]
Втулки	0.004013 [МПа]	8.718 [МПа]
Ал_Скобы	0.003674 [МПа]	19.15 [МПа]

Рис. 1.2.1.33. Значения напряжений в группах деталей

В таблице 1.2.1.4 приведено сравнение пределов прочности материалов с расчетными значениями.

Таблица 1.2.1.4

Максимальные напряжения в группах деталей при воздействии одиночного удара

Группа деталей	Материал изготовления	Предел прочности материала, МПа	Рассчитанное значение, МПа
Пластины	Лист АМц-3,0 ГОСТ 21631-76	110	21,24
ВИП	Сплав Д16 ГОСТ 4784-97	390	37,1
МАР	Лист АМг6 8,0 ГОСТ 21631-76	355	9,858
Делители	Плита Д16 28 ГОСТ 17232-99	390	26,05
Колодки	Плита Д16 28 ГОСТ 17232-99	390	25,02
ВИП Основание	Сплав Д16 ГОСТ 4784-97	390	42,45
Стенки	Плита Д16 12,0 ГОСТ 17232-99	390	30,01
Втулки	Фторопласт Ф4К20 ТУ 6-05-1413-76	150	8,718
Ал. скобы (Планки)	Лист АМц-3,0 ГОСТ 21631-76	110	19,15

Выводы по моделированию одиночного удара.

Согласно таблице 1.2.1.4, расчетные напряжения в конструкции при воздействии одиночного удара не превышают допустимые значения.

Моделирование линейного ускорения.

Для просмотра результатов моделирования блока на воздействие линейного ускорения можно вывести аналогичные поля перемещений, ускорений и напряжений тем, что показаны при моделировании одиночного удара. Также можно рассмотреть таблицу максимальных напряжений в группах деталей при воздействии линейного ускорения.

Выводы по моделированию линейного ускорения.

Согласно таблице максимальных напряжений в группах деталей при воздействии линейного ускорения, расчетные напряжения в конструкции при воздействии линейного ускорения не превышают допустимые значения.

Общие выводы по результатам моделирования.

При моделировании механических воздействий в подсистеме АСОНИКА-М-3D следует отметить отсутствие превышений пределов прочности материалов. На основании этого можно сделать вывод, что конструкция блока 002 удовлетворяет требованиям технического задания по прочности.

1.2.2. Прочностной расчет конструктивного элемента блока СУ

Задача расчета.

Провести прочностной расчет крышки блока СУ при воздействии давления внутри блока 1 атм для двух вариантов конструкции. На основании анализа механических характеристик сделать выводы о соответствии требованиям по прочности и в случае необходимости дать рекомендации по обеспечению прочности крышки с учетом того, что коэффициент запаса прочности должен быть больше 3.

Исходные данные.

сборочный чертеж первого варианта блока СУ (эскиз на рис. 1.2.2.1);

сборочный чертеж второго варианта блока СУ (эскиз на рис. 1.2.2.2);

параметры механических воздействий.

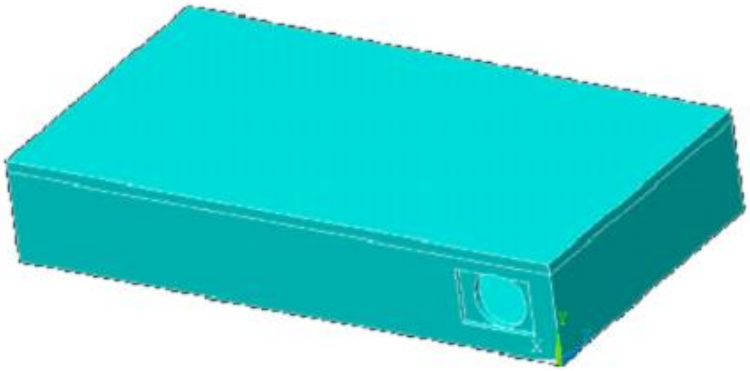


Рис. 1.2.2.1. Эскиз первого варианта конструкции блока СУ

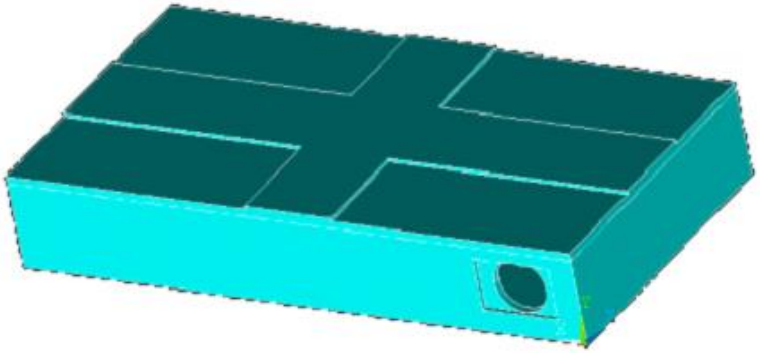


Рис. 1.2.2.2. Эскиз второго варианта конструкции блока СУ

Анализ исходных данных.

Крышка блока имеет размеры 380 × 200 мм.

В первом варианте конструкции толщина крышки составляет 3 мм. Кроме того, имеются ребра жесткости, высота которых составляет 2 мм.

Во втором варианте конструкции толщина крышки составляет 5 мм. Кроме того, сверху имеются 2 ребра жесткости, расположенные перпендикулярно друг другу, высота которых составляет 2 мм.

В обоих случаях крышка закреплена винтами М3 по контуру.

Необходимо обеспечить прочность крышки при давлении 1 атм (10^5 Па). Кроме того, необходимо рассчитать прочность крышки при давлении 3 атм.

Необходимо рассчитать перемещения и напряжения в крышке для двух вариантов конструкции и для двух значений давлений. Конструкция считается прочной, если максимальное напряжение $\sigma \le \frac{\sigma_B}{3}$, где σ_B - предел прочности материала конструкции. Так как для материала Д16 $\sigma_B = 5{,}2 \times 10^8\, Па$, то $\sigma \le 1{,}73 \times 10^8\, Па$.

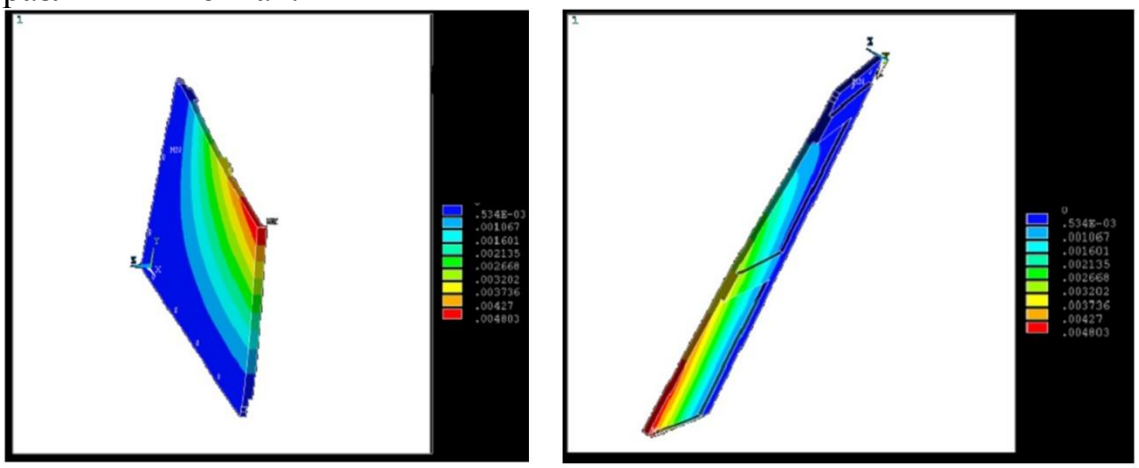
Нужно также проверить, как влияет крепеж на прочностные характеристики крышки, а именно: при увеличении в 2 раза количества винтов.

Результаты расчета.

С целью экономии памяти ЭВМ и в силу симметричности конструкции приводятся результаты для 1/4 части крышки.

Расчет первого варианта конструкции.

На рис. 1.2.2.3 представлены результаты расчета перемещений в крышке при давлении 1 атм. Как видно, максимальное перемещение приходится на центр крышки и составляет от 2,6 мм до 4,8 мм в различных точках.



а) б)

Рис. 1.2.2.3. Перемещения в крышке (1-й вариант, давление 1 атм): а) – сверху, б) – снизу

На рис. 1.2.2.4 представлены результаты расчета изгибных напряжений в крышке при давлении 1 атм. Как видно, максимальные напряжения возникают в местах креплений крышки и составляют 11,4 × 108, что в 2,2 раза превышает предел прочности. Напряжения по полю крышки составляют 3,79 × 108, что в 1,37 раза меньше предела прочности.

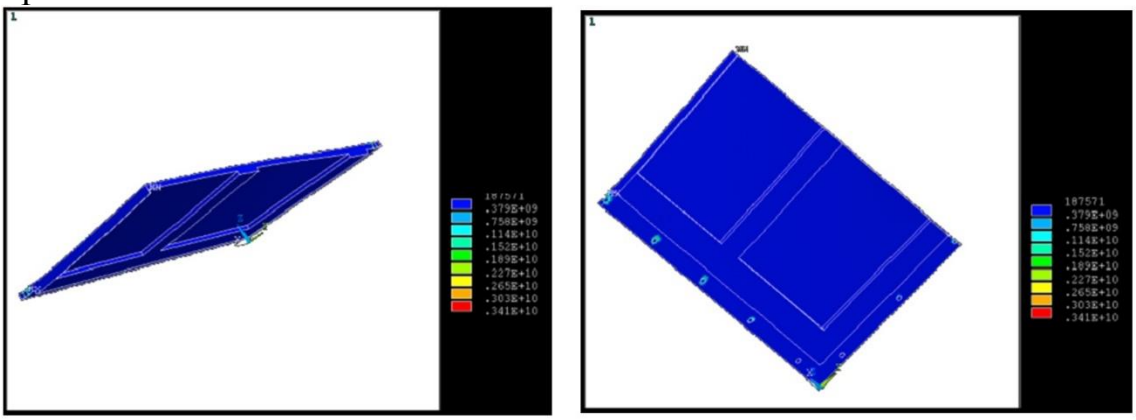


Рис. 1.2.2.4. Максимальные напряжения в крышке (1-й вариант, давление 1 атм)

На рис. 1.2.2.5 представлены результаты расчета перемещений в крышке при давлении 3 атм. Как видно, максимальное перемещение приходится на центр крышки и составляет 14,2 мм.

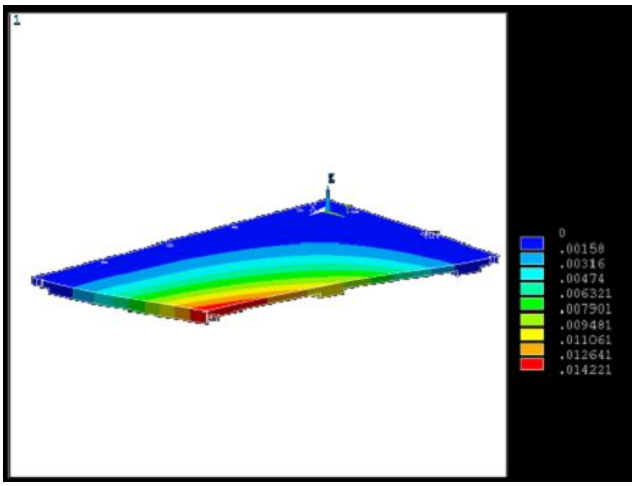


Рис. 1.2.2.5. Перемещения в крышке (1-й вариант, давление 3 атм)

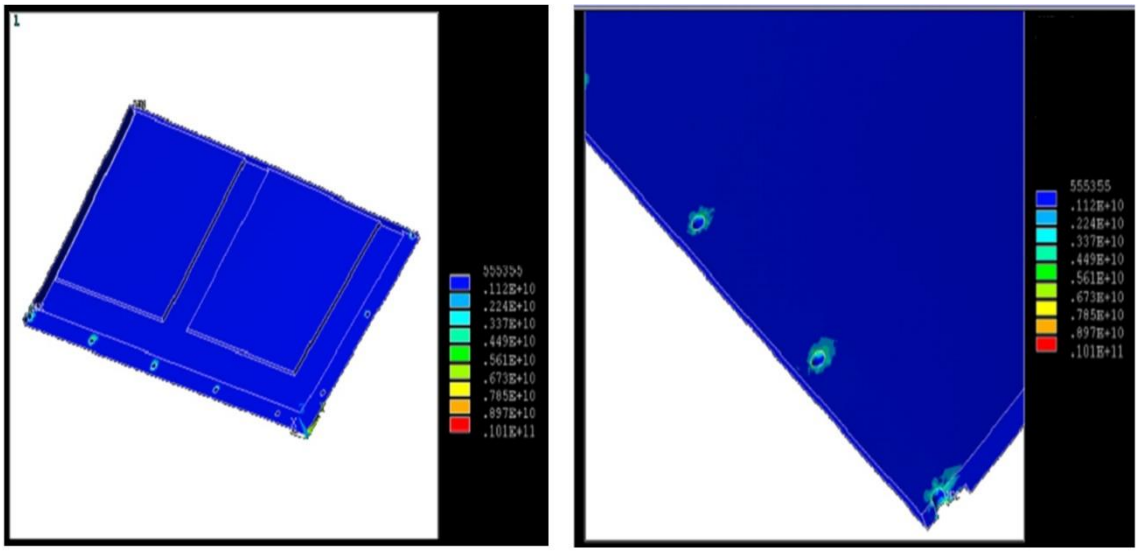


Рис. 1.2.2.6. Максимальные напряжения в крышке (1-й вариант, давление 3 атм)

На рис. 1.2.2.6 представлены результаты расчета изгибных напряжений в крышке при давлении 3 атм. Как видно, максимальные напряжения возникают в местах креплений крышки и составляют 33,7 × 108, что в 6,48 раза превышает предел прочности. Напряжения по полю крышки составляют 11,2 × 108, что в 2,15 раза больше предела прочности.

Расчет второго варианта конструкции.

Скрины экранов аналогичны представленным для первого варианта конструкции, поэтому не приводятся.

Результаты расчета перемещений в крышке при давлении 1 атм показали, что максимальное перемещение приходится на центр крышки и составляет 0,679 мм.

По результатам расчета изгибных напряжений в крышке при давлении 1 атм видно, что максимальные напряжения возникают в местах креплений крышки и составляют 7,98 × 108, что в 1,53 раза превышает предел прочности. Напряжения по полю крышки составляют 2,66 × 108, что в 1,95 раза меньше предела прочности.

Результаты расчета перемещений в крышке при давлении 3 атм показали, что максимальное перемещение приходится на центр крышки и составляет 2,27 мм.

Результаты расчета изгибных напряжений в крышке при давлении 3 атм показали, что максимальные напряжения возникают в местах креплений крышки и составляют 12,7 × 108, что в 2,44 раза превышает предел прочности. Напряжения по полю крышки составляют 4,24 × 108, что в 1,22 раза меньше предела прочности.

Расчет второго варианта конструкции с увеличением в 2 раза количества креплений.

Результаты расчета перемещений в крышке при давлении 1 атм показали, что максимальное перемещение приходится на центр крышки и составляет 0,576 мм.

Результаты расчета изгибных напряжений в крышке при давлении 1 атм показали, что максимальные напряжения возникают в местах креплений крышки и составляют 2,06 × 108, что в 2,53 раза меньше предела прочности. Напряжения по полю крышки составляют 1 × 108, что в 5,2 раза меньше предела прочности.

По результатам расчета перемещений в крышке при давлении 3 атм видно, что максимальное перемещение приходится на центр крышки и составляет 1,78 мм.

Результаты расчета изгибных напряжений в крышке при давлении 3 атм дали следующий результат: максимальные напряжения возникают в местах креплений крышки и составляют 8,34 × 108, что в 1,6 раза превышает предел прочности. Напряжения по полю крышки составляют 4,17 × 108, что в 1,24 раза меньше предела прочности.

Расчет второго варианта конструкции с увеличением толщины крышки на 2 мм.

Результаты расчета перемещений в крышке при давлении 3 атм показали, что максимальное перемещение приходится на центр крышки и составляет 1,39 мм; максимальные напряжения возникают в местах креплений крышки и составляют 6,78 × 108, что в 1,3 раза превышает предел прочности; напряжения по полю крышки составляют 3,37 × 108, что в 1,54 раза меньше предела прочности.

Выводы.

Расчеты прочности блока СУ показали, что для 1-го варианта при 1 атм напряжения по полю крышки в 1,37 раза меньше предела прочности (а должно быть в 3 раза), а при 3 атм – в 2,15 раза больше.

2-й вариант позволил повысить прочность: при 1 атм напряжения по полю крышки в 1,95 раза меньше предела прочности (а должно быть в 3 раза), а при 3 атм – в 1,22 раза меньше.

Увеличение в 2 раза количества креплений во 2-м варианте конструкции позволило также повысить прочность: при 1 атм напряжения по полю крышки в 5,2 раза меньше предела прочности (достаточно), а при 3 атм – в 1,24 раза меньше.

Увеличение на 2 мм толщины крышки без увеличения количества креплений во 2-м варианте конструкции позволило также повысить прочность: при 3 атм напряжения по полю крышки в 1,54 раза меньше предела прочности.

Таким образом, расчеты показали, что для того, чтобы выполнялись требования к блоку СУ по прочности при давлении 1 атм, необходимо использовать 2-й вариант конструкции с увеличением в 2 раза количества точек крепления. При 3 атм рекомендуется дополнительно увеличить толщину крышки еще на 2 мм.

1.2.3. Идентификация параметров моделей механических процессов в блоках радиоэлектронных средств

Задача расчета.

Провести идентификацию следующих параметров блока цилиндрического: модуля упругости корпуса блока, модуля упругости печатной платы, коэффициента механических потерь в материале корпуса блока, коэффициента механических потерь в материале платы.

Исходные данные.

чертежи экспериментального макета блока (эскиз на рис. 1.2.3.1);

массы конструктивных элементов;

параметры механических воздействий.

Анализ исходных данных.

Для идентификации используются экспериментально полученные характеристики блока при воздействии случайной вибрации. В таблице 1.2.3.1 приведены входные воздействия по трем осям координат. Значения спектральных плотностей, приведенные в таблице, были пересчитаны исходя из среднеквадратических значений ускорений.

Таблица 1.2.3.1

Параметры заданной случайной вибрации

Частотный поддиапазон, Гц	Спектральная плотность по оси X, g^2/Гц	Спектральная плотность по оси X, g^2/Гц	Спектральная плотность по оси X, g^2/Гц
80 - 100	0,05	0,05	0,037
100 - 125	0,04	0,053	0,04
160 - 200	0,038	0,048	0,048
200 - 250	0,026	0,04	0,04
250 - 315	0,027	0,05	0,054
315 - 400	0,05	0,053	0,062
400 - 500	0,052	0,053	0,06
500 - 630	0,052	0,05	0,052
630 - 800	0,052	0,055	0,052
800 - 1000	0,053	0,058	0,051
1000 - 1250	0,053	0,055	0,052
1250 - 1600	0,048	0,048	0,048
1600 - 2000	0,036	0,037	0,034

В качестве исходных данных также были даны чертежи экспериментального макета блока и массы.

Изображение блока, полученное в графическом редакторе подсистемы АСОНИКА-М, представлено на рис.1.2.3.1.

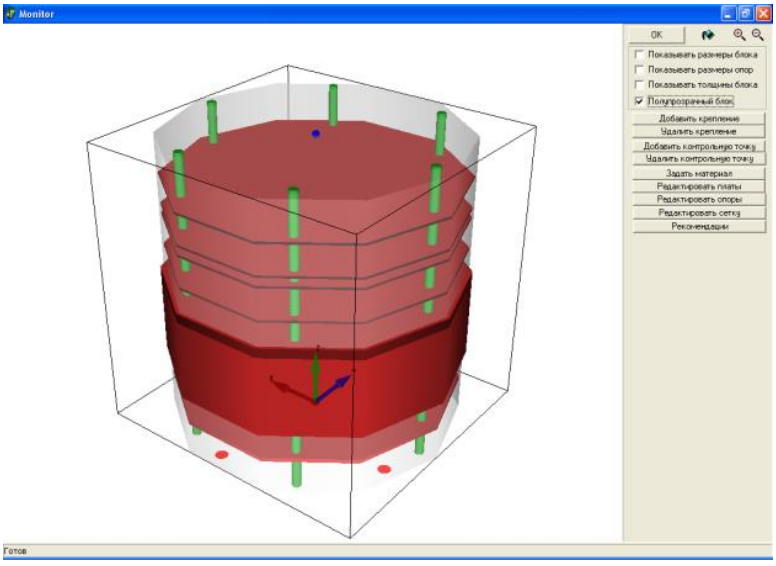


Рис. 1.2.3.1. Графическое изображение открытого блока в подсистеме АСОНИКА-М

Результаты расчета.

На рис. 1.2.3.2 – 1.2.3.7 представлены результаты моделирования механических процессов в блоке при воздействии случайной вибрации.

Результаты испытаний (среднеквадратические ускорения, g):

Датчик 3479 (по оси X) – крышка блока: 26g
Датчик 3692 (по оси Y) – плата усилителя генератора: 44g
Датчик 3710 (по оси Z) – крышка блока: 41g
Датчик 3752 (по оси Z) – плата усилителя генератора: 61g

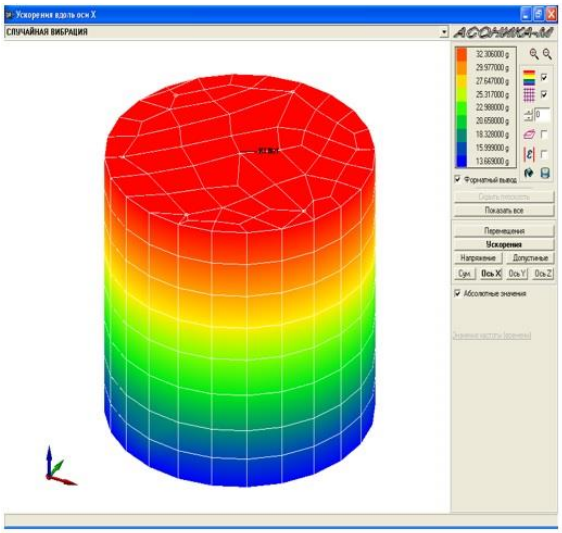


Рис. 1.2.3.2. Поле среднеквадратических ускорений в конструкции блока по оси X: показан корпус блока

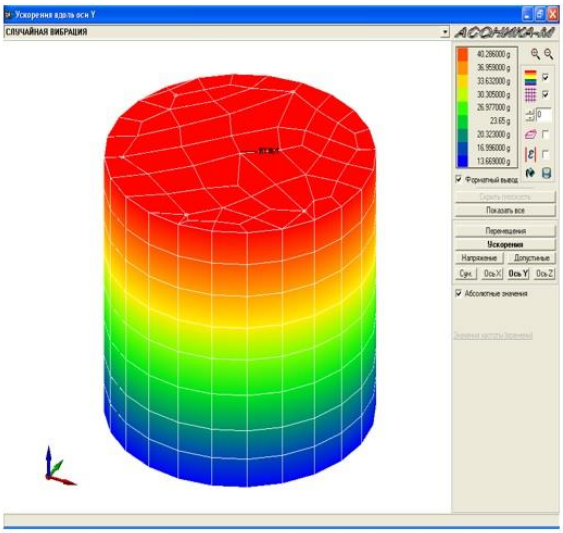


Рис. 1.2.3.3. Поле среднеквадратических ускорений в конструкции блока по оси Y: показан корпус блока

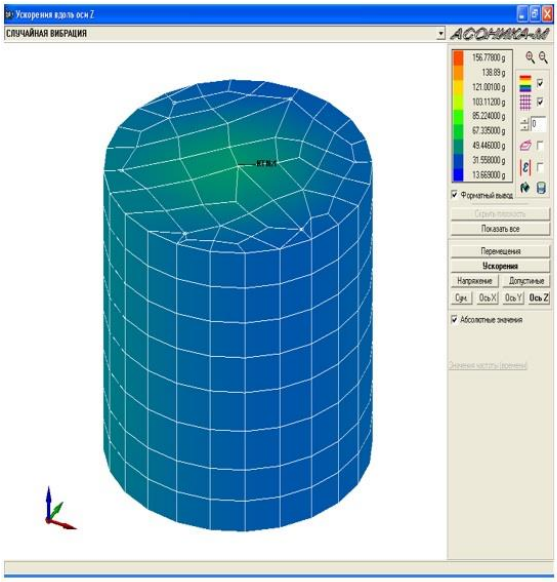


Рис. 1.2.3.4. Поле среднеквадратических ускорений в конструкции блока по оси Z: показан корпус блока

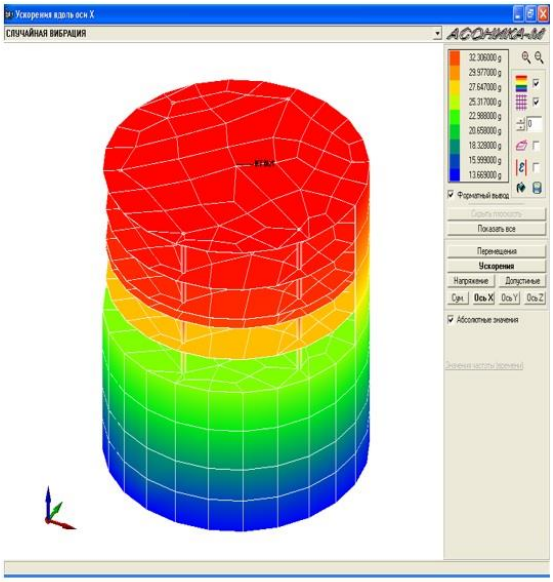


Рис. 1.2.3.5. Поле среднеквадратических ускорений в конструкции блока по оси X: показана верхняя плата усилителя-генератора

Моделирование проводилось при значениях физико-механических параметров материалов корпуса блока, печатных плат и шпилек, заложенных в базу данных подсистемы АСОНИКА-М.

В таблице 1.2.3.2 приведены численные значения экспериментальных и расчетных результатов и проведено их сравнение. Как видно, особенно сильно отличаются результаты для датчика 3479. Идеальные результаты получились для датчика 3710.

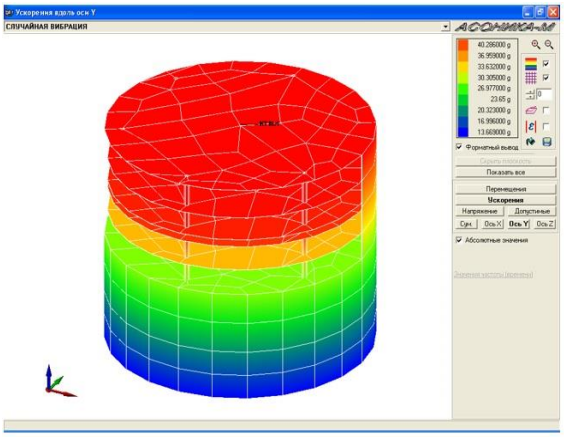


Рис. 1.2.3.6. Поле среднеквадратических ускорений в конструкции блока по оси Y: показана верхняя плата усилителя-генератора

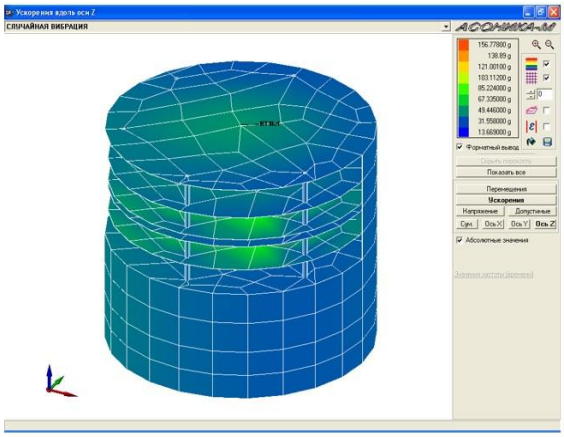


Рис. 1.2.3.7. Поле среднеквадратических ускорений в конструкции блока по оси Z: показана верхняя плата усилителя-генератора

Таблица 1.2.3.2

Сравнение экспериментальных и расчетных результатов

Наименование датчика	Экспериментальное значение среднеквадрати-ческого ускорения, g	Расчетное значение среднеквадрати-ческого ускорения, g	Абсолютная погрешность, g	Относительная погрешность, %
Датчик 3479 (по оси X)	26	32	6	23
Датчик 3692 (по оси Y)	44	40	4	9
Датчик 3710 (по оси Z)	41	41	0	0
Датчик 3752 (по оси Z)	61	66	5	8

Результаты, полученные после решения задачи идентификации, приведены в таблице 1.2.3.3. Идентифицированные параметры материалов конструкции приведены в таблице 1.2.3.4. На рис. 1.2.3.8 – 1.2.3.13 представлены результаты моделирования механических процессов в блоке с идентифицированными параметрами.

Таблица 1.2.3.3

Сравнение экспериментальных и расчетных результатов

Наименование датчика	Экспериментальное значение среднеквадрати-ческого ускорения, g	Расчетное значение среднеквадрати-ческого ускорения, g	Абсолютная погрешность, g	Относительная погрешность, %
Датчик 3479 (по оси X)	26	26	0	0
Датчик 3692 (по оси Y)	44	44	0	0
Датчик 3710 (по оси Z)	41	41	0	0
Датчик 3752 (по оси Z)	61	62,2	1,2	1,96

Таблица 1.2.3.4

Идентифицированные параметры материалов конструкции

	Модуль упругости, Па	Коэффициент механических потерь, отн. ед.
Материал корпуса блока	6,96E+10	0,09 – по оси X 0,005 – по оси Y 0,028 – по оси Z
Материал шпилек	2,03E+11	0,05
Материал платы	1,69E+10	0,009

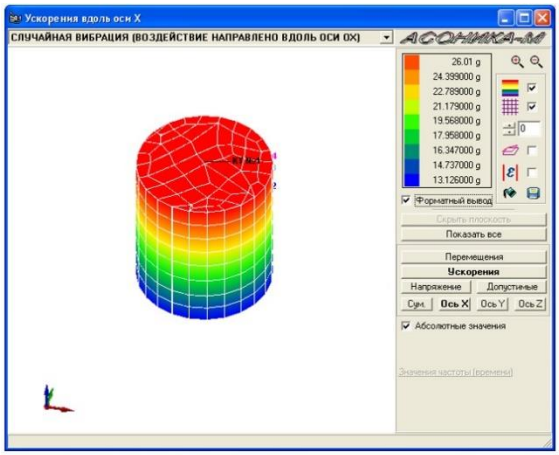


Рис. 1.2.3.8. Поле среднеквадратических ускорений в конструкции блока по оси X: показан корпус блока

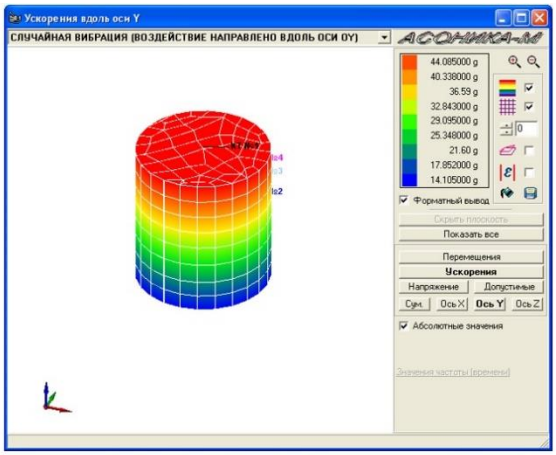


Рис. 1.2.3.9. Поле среднеквадратических ускорений в конструкции блока по оси Y: показан корпус блока

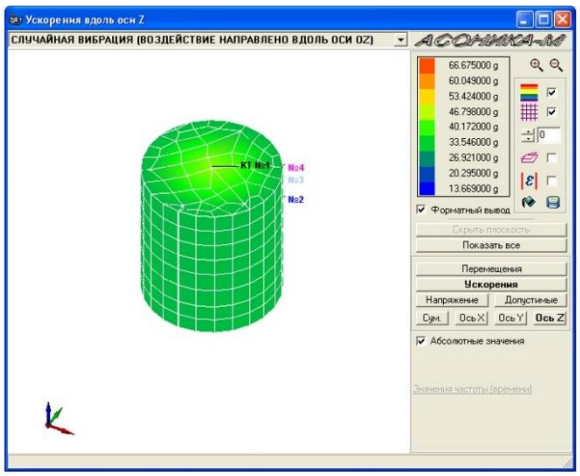


Рис. 1.2.3.10. Поле среднеквадратических ускорений в конструкции блока по оси Z: показан корпус блока

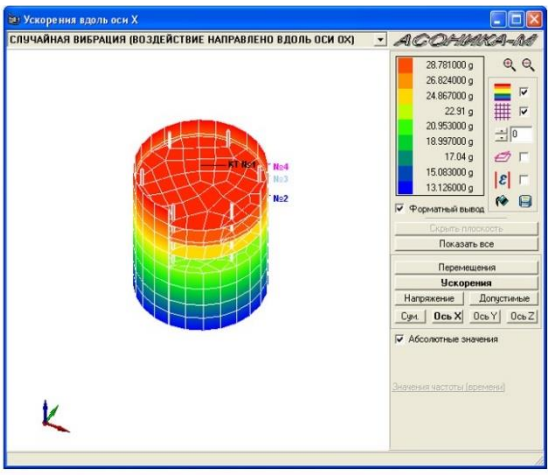


Рис. 1.2.3.11. Поле среднеквадратических ускорений в конструкции блока по оси X: показана верхняя плата усилителя-генератора

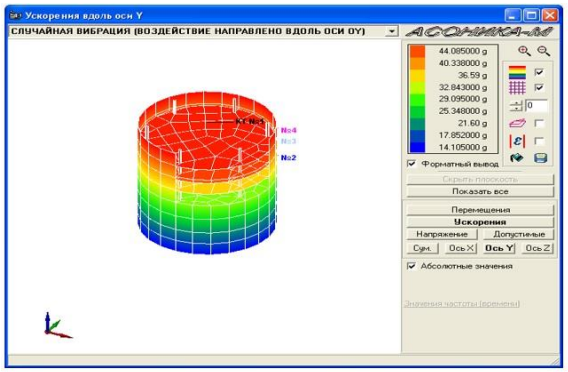


Рис. 1.2.3.12. Поле среднеквадратических ускорений в конструкции блока по оси Y: показана верхняя плата усилителя-генератора

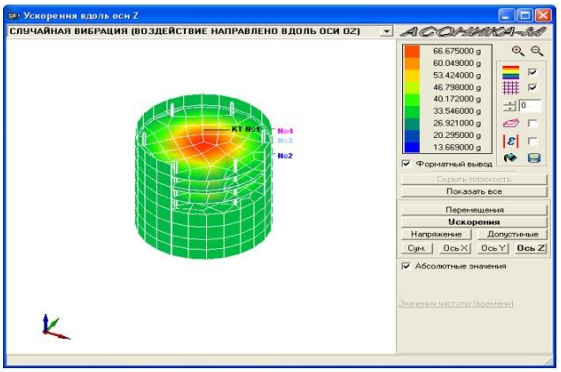


Рис. 1.2.3.13. Поле среднеквадратических ускорений в конструкции блока по оси Z: показана верхняя плата усилителя-генератора

Выводы.

По результатам проведенной идентификации получены следующие параметры материалов:

для корпуса блока: коэффициент механических потерь – по оси X 0,09, по оси Y 0,005, по оси Z 0,028; модуль упругости – 6,96E+10 Па;

для шпильки: коэффициент механических потерь – 0,05; модуль упругости - 2,03E+11 Па.

для платы: коэффициент механических потерь – 0,009; модуль упругости - 1,69E+10 Па.

1.2.4. Моделирование механических процессов в приборе КСР при воздействии внешних нагрузок

Задача расчета.

Провести анализ динамических свойств конструкции прибора КСР с целью определения уровней механических нагружений, приходящихся на каждое из примененных в приборе ЭРИ.

Анализ проводится на максимальные, заданные в ТУ, нагрузки с учетом согласованных коэффициентов безопасности (квалификационный уровень).

Анализ проводится по иерархической схеме:

первый этап – выполняется моделирование конструкции прибора, где печатные узлы (ПУ) представлены в виде конструктивов с распределенной массой, учитывающей массу ЭРИ. Цель этапа – определить параметры ускорений, перемещений и напряжений в местах крепления ПУ (граничные условия);

второй этап – моделирование ПУ с целью определения уровней механических нагружений, приходящихся на каждое из примененных в приборе электрорадиоизделие. В качестве входного воздействия на ПУ используются параметры граничных условий, определенных в первом этапе.

Сделать вывод о возможности использования разрабатываемой конструкции в условиях представленных механических нагружений или (при необходимости) дать рекомендации о парировании выявленных несоответствий.

Исходные данные.

При проведении моделирования использовать значения и виды механических нагрузок, приведенных в ТУ. Значения низкочастотных синусоидальных вибраций указаны в таблице 1.2.4.1 Значения широкополосных случайных вибраций указаны в таблице 1.2.4.2.

Таблица 1.2.4.1

Низкочастотные синусоидальные вибрации

Диапазон частот, Гц	Амплитуды виброускорений низкочастотных синусоидальных вибраций, g	
	продольной	поперечной
2,0 – 5,0	н/д	0,2 – 0,5
5,0 –10,0	0,8	0,5
10,0 – 15,0	0,8 – 1,0	0,5 – 1,0
15,0 –20,0	1,0 – 1,2	1,0 – 0,5

Таблица 1.2.4.2

Широкополосные случайные вибрации

Поддиапазоны частот, Гц						Продолжительность воздействия, с
20-50	50-100	100-200	200-500	500-1000	1000-2000	
Спектральная плотность виброускорения, g^2/Гц						
0,020	0,020	0,020-0,050	0,050	0,050-0,025	0,025-0,013	600

Максимальные эксплуатационные квазистатические перегрузки при выведении:

в продольном направлении ny = -7,8 + 0,5;

в поперечных направлениях nx,z = +1,6 (старт).

Значения максимального среднеквадратического уровня акустического давления приведены в таблице 1.2.4.3.

Таблица 1.2.4.3

Максимальный среднеквадратический уровень акустического давления

Центральные частоты октавных диапазонов частот, Гц	Максимальный среднеквадратический уровень акустического давления в октавном диапазоне частот, дБ
31,5	130,0
63,0	132,0
125,0	135,0
250,0	136,0
500,0	136,0
1000,0	132,0
2000,0	127,0
4000,0	124,0
8000,0	119,0
Суммарный среднеквадратический уровень, дБ	142,0
Длительность воздействия, с	60,0

Значения ударно-импульсных нагружений приведены в таблице 1.2.4.4.

Таблица 1.2.4.4

Ударно-импульсные нагружения

Пиковое ударное ускорение, g	Длительность действия ударного ускорения, мс	Количество ударов
150	1-3	3

Описание моделируемого прибора.

Несущей конструкцией прибора КСР является передняя панель, выполненная фрезерованием из плиты магналия АМг6. В передней панели выполнены 4 отверстия для закрепления прибора на изделии, на ней снаружи установлены все внешние соединители и клемма металлизации, изнутри на приклепанных планках для привязки закреплены жгуты проводного монтажа и на 6 стальных стойках установлен печатный узел. Прибор закрыт сварным кожухом из листа алюминия АМг6, на наибольшей поверхности кожуха выполнены 2 выдавки для увеличения жесткости. Печатный узел представляет собой двухслойную печатную плату конструктива 100 × 200 мм, выполненную из стеклотекстолита СОНФМ-2-35-2,0 с двусторонним монтажом ЭРИ.

Прибор КСР имеет следующие габаритно-массовые характеристики: 246 × 124 × 76 мм, общая масса прибора составляет 1 кг. Массы отдельных деталей прибора следующие: панель в сборе 0,1 кг; печатная плата с ЭРИ 0,2 кг; стойки 6 шт. – 0,09 кг; кожух 0,21 кг; соединители 0,18 кг; вспомогательные материалы 0,2 кг.

Общий вид прибора представлен на рис. 1.2.4.1.



Рис. 1.2.4.1. Общий вид прибора КСР

Состав прибора: передняя панель 1 шт.; печатный узел 1 шт.; стойки 6 шт.; кожух 1 шт.; внешние соединители 18 шт.; клемма металлизации 1 шт.

Компоновка прибора представлена на рис. 1.2.4.2.

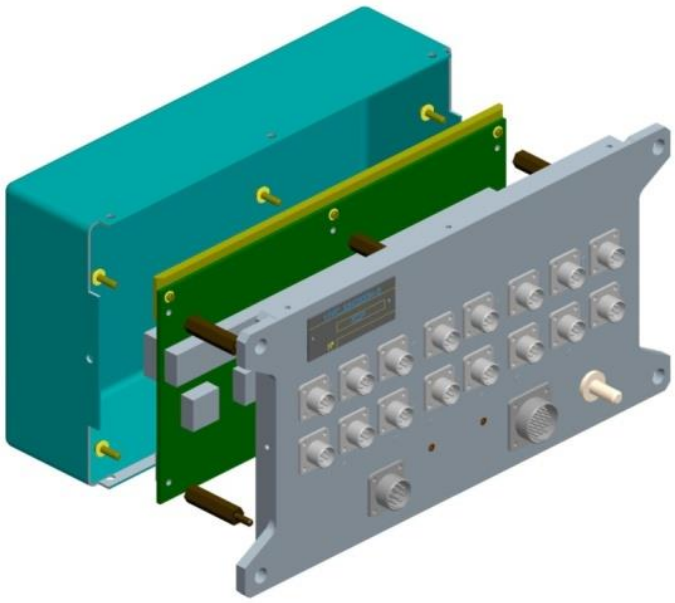


Рис. 1.2.4.2. Компоновка прибора

Ориентация осей координат. Ось X – перпендикулярно передней панели, ось Y – вдоль большей стороны передней панели, ось Z – вдоль меньшей стороны передней панели.

Масса электрической части прибора (соединители, реле, ячейки, жгут) моделировалась путем подбора удельных масс соответствующих элементов. Характеристики материалов, используемых для моделирования на прочность, приведены в таблице 1.2.4.5.

Таблица 1.2.4.5

Характеристики материалов, используемых для моделирования на прочность

Материал	Плотность, кг/м^3	Модуль упругости, ГПа	Коэффициент Пуассона, μ	Коэффициент денфирования Λ	Предел прочности σ_b, МПа	Предел текучести σ_{02}, МПа
Пенополиуретан жесткий МЕДИОРТ-13 (крепл. шины, жгуты)	211,00	0,044	0,050	0,245	210,00	-
Лист АМг6.М (панель, кожух)	2560,0	39,600	0,330	0,019	275,00	147,000
СОНФМ-2-35 (плата, колодки)	1660,0	21,100	0,270	0,094	260,00	200,000
Сталь 45 (стойки, планки, соединители)	7460,0	102,100	0,270	0,057	780,00	313,600
Медь (шина)	8930	12,7	0,32	0,009		

Моделирование конструкции прибора.

Моделирование резонансных частот и форм колебаний.

Моделирование резонансных частот и форм колебаний проводится для проверки соблюдения требований по частотным характеристикам (отсутствие механических резонансов до 40 Гц), а также с целью дальнейшего определения динамических нагрузок прибора в качестве исходных данных, описывающих конструкцию прибора.

Моделирование резонансных частот проводится в интервале от 20 до 1000 Гц.

В расчете учитываются габаритно-массовые параметры каждого элемента конструкции (печатная плата с ЭРИ, панель, стойки, кожух, соединители).

В результате моделирования определена первая резонансная частота, равная 317 Гц. Поля ускорений в конструкции на первой резонансной частоте 317 Гц представлены на рисунке 1.2.4.3 (на рисунке кожух не показан).

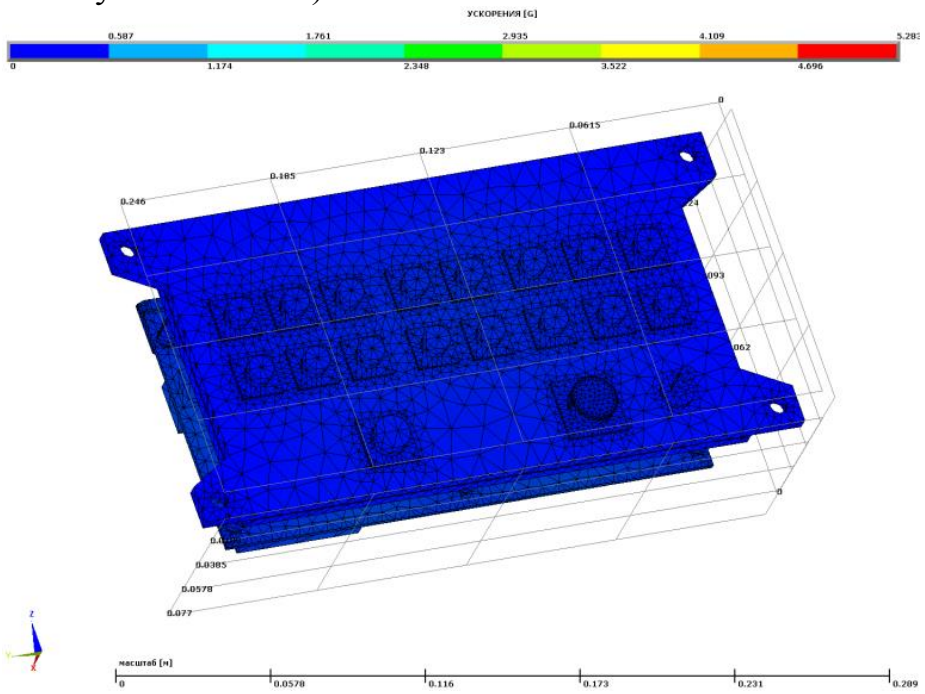


Рис. 1.2.4.3. Поля ускорений в конструкции на первой резонансной частоте 317 Гц

Моделирование на случайную вибрацию.

Моделирование проведено при воздействии случайной вибрации в направлении осей X, Y, Z по данным, указанным в таблице 1.2.4.2. Поля расчетных среднеквадратических значений напряжений прибора КСР при воздействии случайной вибрации вдоль осей X, Y, Z приведены на рисунке 1.2.4.4 (на рисунке кожух не показан).

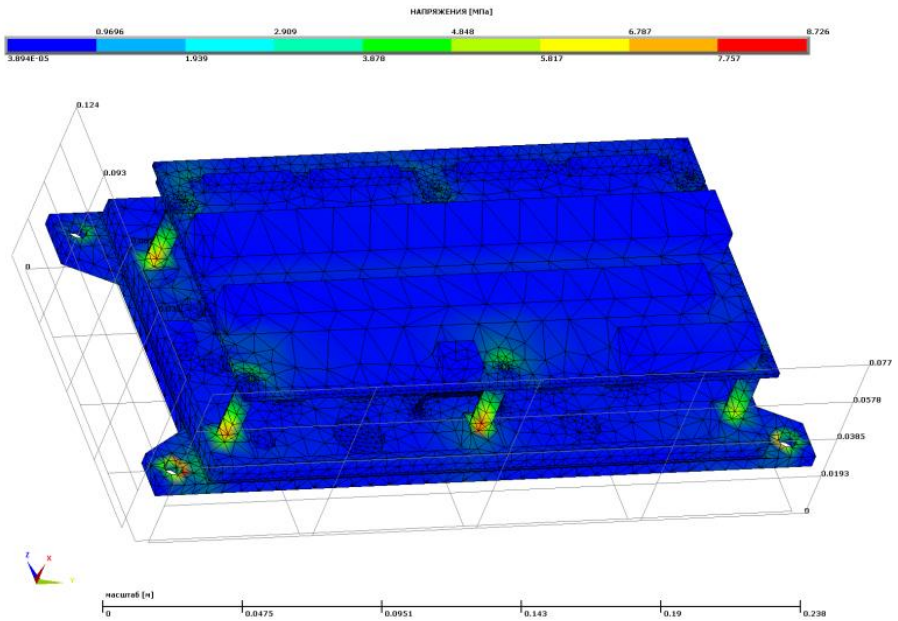


Рис. 1.2.4.4. Поля расчетных среднеквадратических значений напряжений прибора КСР при воздействии случайной вибрации

Поля расчетных среднеквадратических значений ускорений прибора КСР при воздействии случайной вибрации вдоль оси X приведены на рисунке 1.2.4.5 (на рисунке кожух не показан). Можно вывести аналогичные результаты по осям Y и Z.

Можно также вывести поля расчетных среднеквадратических значений перемещений прибора КСР при воздействии случайной вибрации вдоль каждой из осей (скрины экранов не приведены).

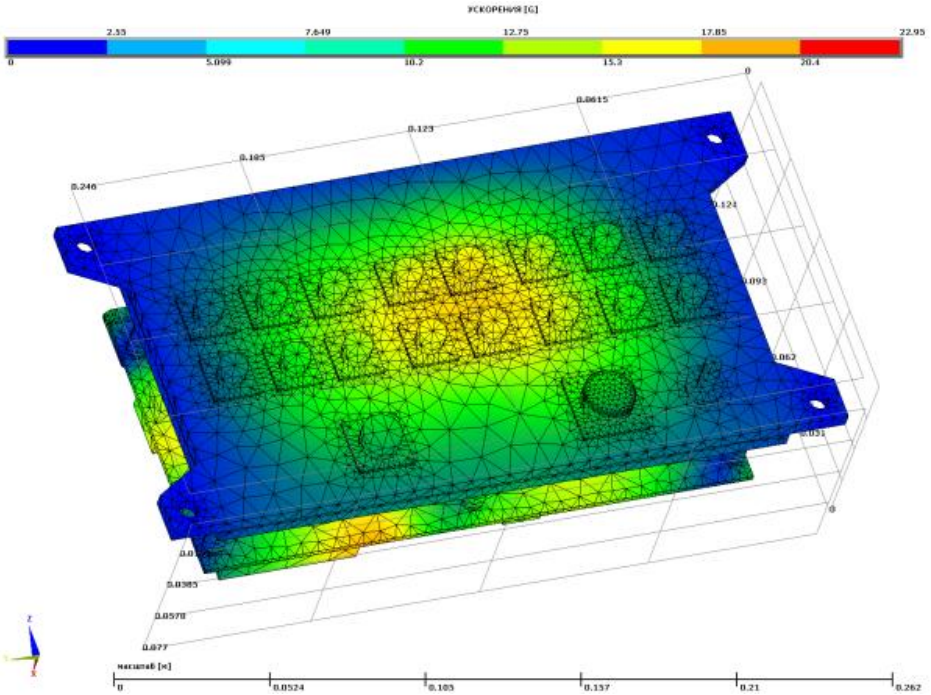


Рис. 1.2.4.5. Поля расчетных среднеквадратических значений ускорений прибора КСР при воздействии случайной вибрации вдоль оси

Расположение контрольных точек на печатном узле (плате) показано на рис. 1.2.4.6.

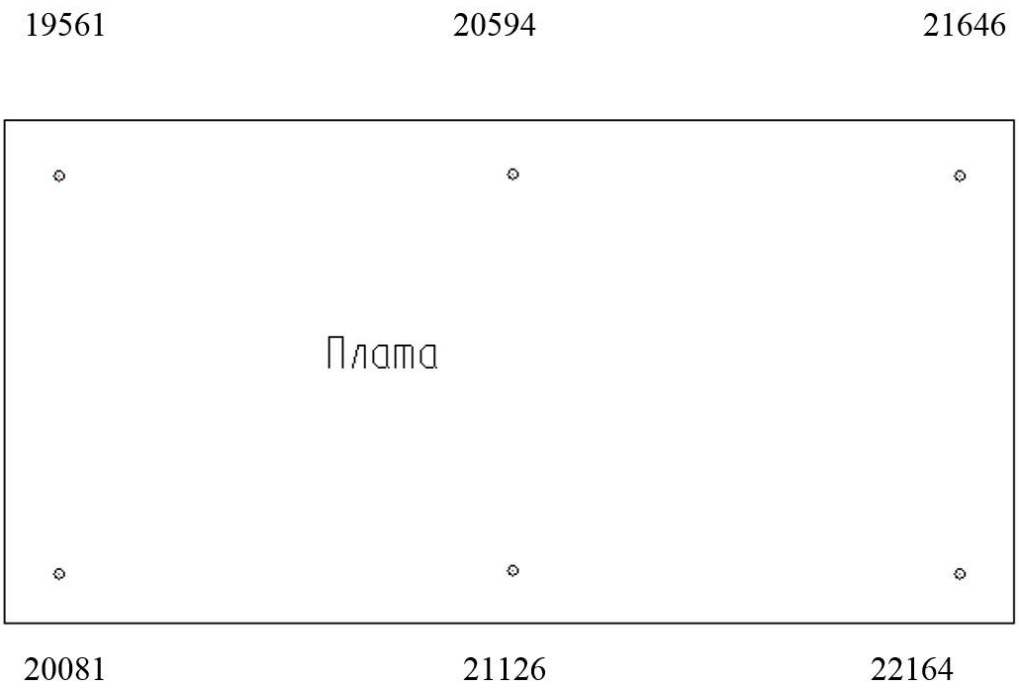


Рис. 1.2.4.6. Расположение контрольных точек на печатном узле

Полученные значения ускорений в контрольных точках приведены в таблице 1.2.4.6 и служат для дальнейшего расчета платы с целью определения нагрузок на ЭРИ, входящих в состав платы.

Таблица 1.2.4.6

Полученные значения ускорений в контрольных точках при воздействии случайной вибрации

№ контрольной точки	Ускорение (g)
20081	15,28
21126	16,72
22164	13,82
21646	14,95
20594	19,25
19561	14,94

Моделирование на устойчивость при ударно-импульсных нагружениях.

Для расчета ударного воздействия рассматривался одиночный удар, приложенный по осям X, У, Z. Ударное воздействие задается как импульс треугольной формы с максимально возможной амплитудой и длительностью согласно таблице 1.2.4.4. Максимальное значение напряжений конструкции прибора КСР при ударном воздействии в момент времени 2 мс, по осям X, У, Z приведено на рис. 1.2.4.7.

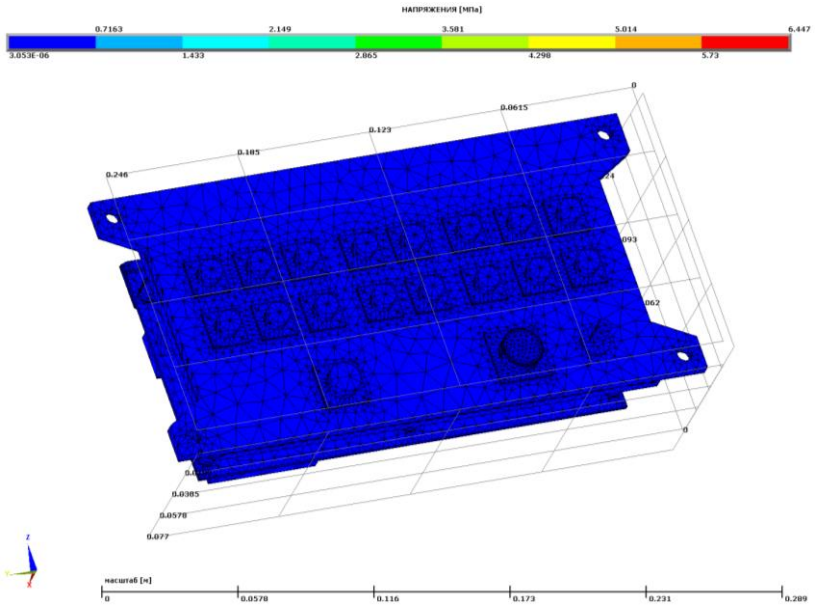


Рис. 1.2.4.7. Максимальное значение напряжений конструкции прибора КСР при ударном воздействии в момент времени 2 мс, по осям X, У, Z

Максимальные значения ускорений прибора КСР при ударно-импульсных нагружениях в момент времени 1,5 мс вдоль оси X приведены на рис. 1.2.4.8 (на рисунке кожух не показан). Можно также вывести аналогичные результаты по другим осям.

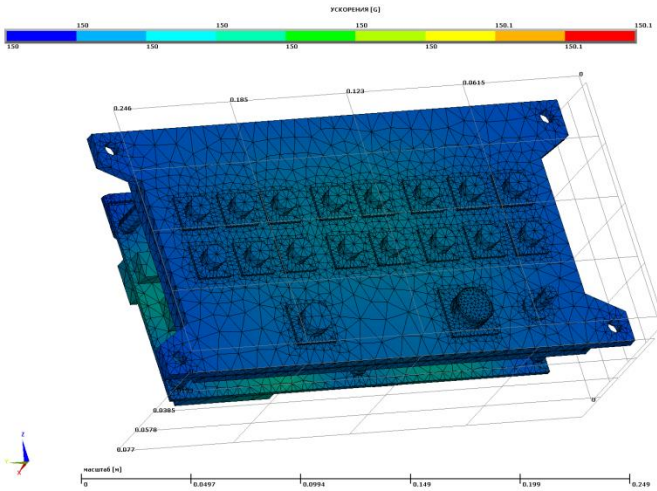


Рис. 1.2.4.8. Максимальные значения ускорений прибора КСР при ударно-импульсных нагружениях в момент времени 1,5 мс вдоль оси X

Максимальные значения перемещений прибора КСР при ударно-импульсных нагружениях в момент времени 3 мс вдоль оси X приведены на рисунке 1.2.4.9 (на рисунке кожух не показан). Можно также вывести аналогичные результаты по другим осям.

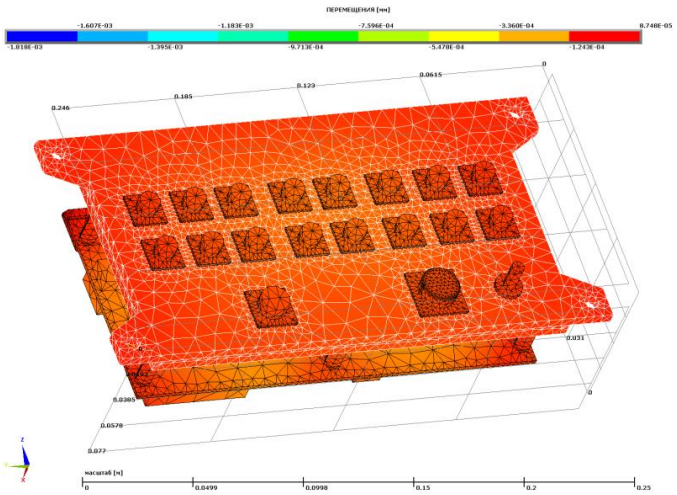


Рис. 1.2.4.9. Максимальные значения перемещений прибора КСР при ударно-импульсных нагружениях в момент времени 3 мс вдоль оси X

Полученные значения ускорений при ударно-импульсных нагружениях в контрольных точках приведены в таблице 1.2.4.7 и служат для дальнейшего расчета печатного узла (платы) с целью определения ударно-импульсных нагрузок на ЭРИ, входящих в состав платы.

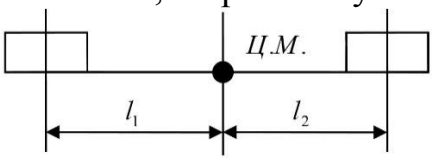
Таблица 1.2.4.7

Полученные значения ускорений при ударно-импульсных нагружениях в контрольных точках

№ контрольной точки	Ускорение (g)
20081	150
21126	150
22164	150
21646	150
20594	150
19561	150

Анализ на квазистатические перегрузки при выведении.

Для проведения анализа рассмотрим наиболее нагруженный участок конструкции – консоль, закрепленную в двух местах.



При воздействии перегрузки на Ц.М., на крепление прибора будет действовать изгибающий момент

$$M_{max} = lF = lkgm,$$

где l – длина балки, m – масса, k – коэффициент перегрузки, при котором достигается предел текучести материала, g – ускорение свободного падения; при этом возникающее напряжение будет

$$\sigma = \frac{M_{\max}}{W};$$

где σ – предел текучести; $M_{\max}$ – изгибающий момент; W – сечение.

$$\sigma = \frac{lkgm}{W}.$$

Для прямоугольного сечения

$$W = \frac{ab^2}{6},$$

где a – ширина, b – высота лапки.

Таким образом

$$\sigma = \frac{6lkgm}{ab^2}.$$

Для сторон:

$$\sigma_{1.2} = \frac{6 \times 0{,}1 \times 7{,}8 \times 9{,}8 \times 0{,}1}{0{,}02 \times 0{,}002^2} = 57{,}3 \times 10^6 \, Па = 57{,}3 МПа$$

Анализ акустического воздействия.

Наиболее подвержены воздействию акустического шума элементы, находящиеся на внешней поверхности прибора.

Соединители, согласно ТУ, выдерживает уровень звукового давления 170 дБ; а максимальное воздействие равно 136 дБ. Крепеж кожуха и панели законтрен, возможные резонансные явления не приведут к отворачиванию винтов. Внутри прибора не содержится нестойких к акустическому шуму элементов.

Выводы.

Прибор КСР имеет первую резонансную частоту колебаний элементов конструкции, равную 317 Гц, т.е. удовлетворяет требованиям по ОСТ 92-5100-2002 (группа 5.1.2.4.1).

Прибор КСР при воздействии случайной вибрации по оси X имеет на соединителях максимальное ускорение равное 14g, что не превышает допустимое по ТУ на соединители (ОСРС) нагрузки 15g.

При действии квазистатических перегрузок максимальное значение напряжения составляет 57,3 МПа, что также составляет требованиям прочности.

Прибор КСР устойчив к акустическим нагружениям.

При воздействии ударного нагружения максимальное расчетное значение ускорения элементов конструкции, на которых установлены ЭРИ, составляет 150g, что не превышает требования ТУ. Максимальное расчетное напряжение в конструкции составляет 6,4 МПа, что не превышает предела прочности материала конструктивных элементов. Прибор КСР отвечает требованиям прочности.

1.2.5. Моделирование механических процессов в приборе УС при воздействии внешних нагрузок

Задача расчета.

Провести анализ динамических свойств конструкции прибора УС с целью определения уровней механических нагружений, приходящихся на каждое из примененных в приборе ЭРИ.

Анализ проводится на максимальные, приведенные в ТУ нагрузки с учетом согласованных коэффициентов безопасности (квалификационный уровень).

Анализ проводится следующим образом: выполняется моделирование конструкции прибора, где ячейки представлены в виде конструктивов, состоящих из рамок и печатных плат с закрепленными ЭРИ.

Сделать вывод о возможности использования разрабатываемой конструкции в условиях представленных механических нагружений или (при необходимости) дать рекомендации о парировании выявленных несоответствий.

Исходные данные.

См. исходные данные в п. 1.2.4.

Описание моделируемого прибора.

Конструкция прибора выполнена в виде 19 однотипных ячеек, блока электропитания и двух крышек, стянутых между собой в единый конструктивный блок и установленных на несущее теплоотводящее основание. Ячейки представляют собой конструкцию из металлических рамок с закрепленными печатными платами, на которых установлены ЭРИ. На верхней части прибора установлены соединители.

Прибор УС имеет следующие габаритно-массовые характеристики: 211 × 192 × 166,5 мм, масса 6,45 кг. Общий вид прибора представлен на рис. 1.2.5.1.

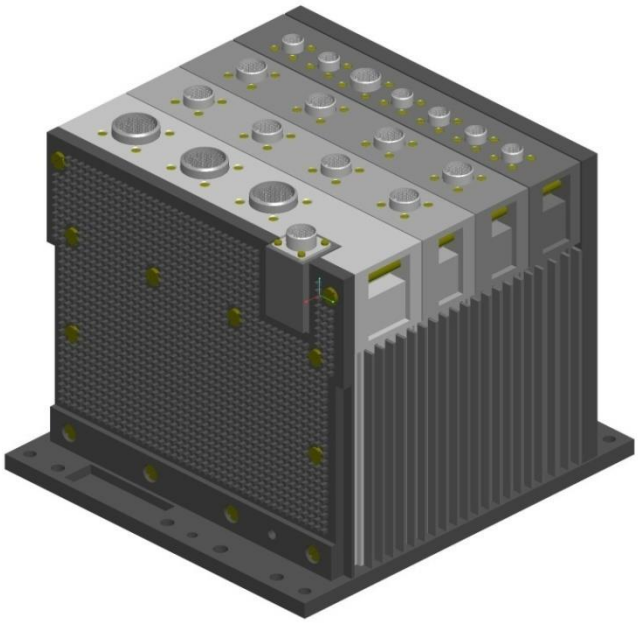


Рис. 1.2.5.1. Общий вид прибора УС

Состав прибора: корпус, основание, блок питания, ячейка (19 шт.), винт (12 шт.), внешние соединители (19 шт.). Компоновка прибора представлена на рис. 1.2.5.2. Ориентация осей координат. Ось X – вдоль большей стороны основания, ось Y – вдоль меньшей стороны основания, ось Z – перпендикулярно основанию.

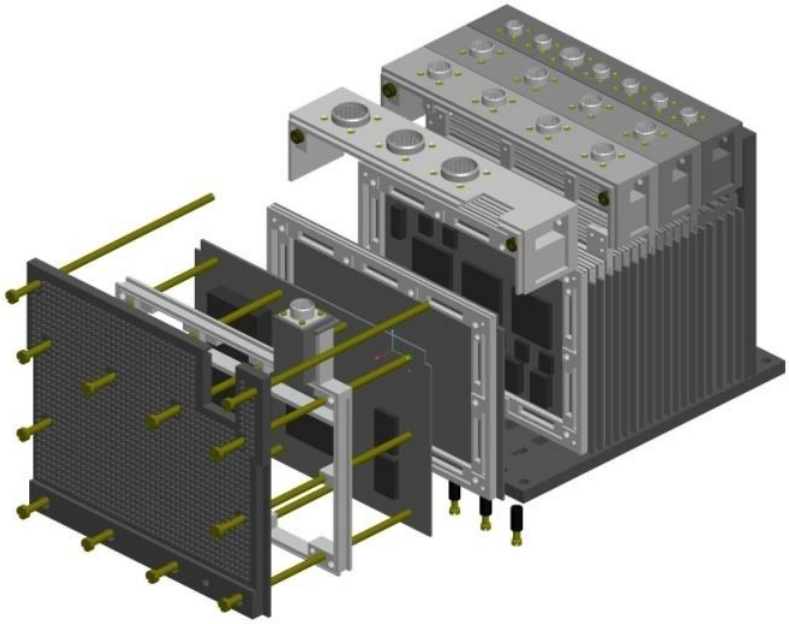


Рис. 1.2.5.2. Компоновка прибора УС

Конечно-элементная модель УС представлена на рисунке 1.2.5.3. Масса электрической части прибора (соединители, модуль питания, ЭРИ) моделировалась путем подбора удельных масс соответствующих элементов.

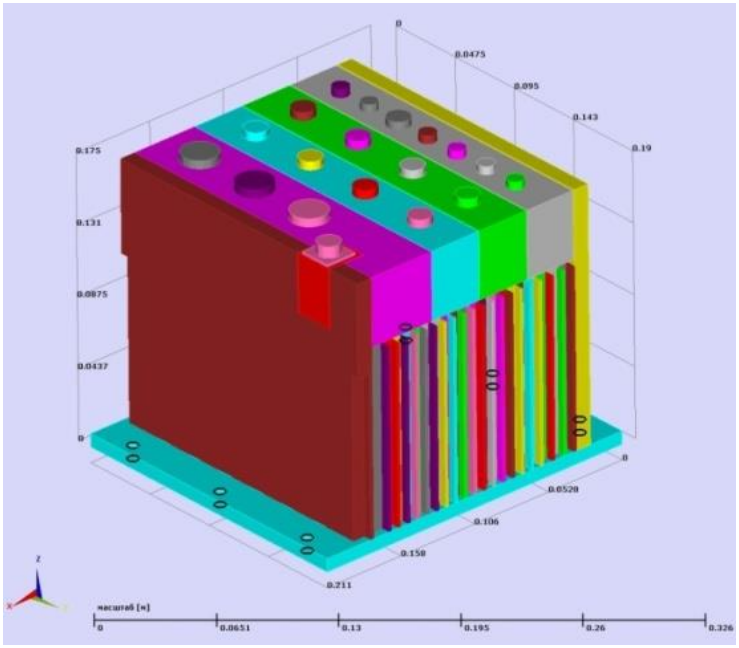


Рис. 1.2.5.3. Конечно-элементная модель УС

Моделирование конструкции прибора.

Моделирование резонансных частот.

Моделирование резонансных частот проводится для проверки соблюдения требований по частотным характеристикам (отсутствие механических резонансов до 40 Гц). Моделирование резонансных частот проводится в интервале от 20 до 2000 Гц. В расчете учитываются габаритно-массовые параметры каждого элемента конструкции (ячейки с ЭРИ, основание, соединители, винты, блок питания).

Общая масса прибора составляет 6,45 кг. Массы отдельных деталей прибора приведены в таблице 1.2.5.1.

Таблица 1.2.5.1

Массы отдельных деталей прибора УС

Составляющие прибора	Масса, кг
Корпус (суммарно)	1,12
Основание	0,7
Блок питания	0,7
Ячейки (суммарно)	3,5
Соединители	0,1
Винты	0,25

Результаты моделирования собственных частот (фрагмент результатов) приведены в таблице 1.2.5.2.

Таблица 1.2.5.2

Результаты моделирования собственных частот

Собственная частота, Гц	Собственная частота, Гц	Собственная частота, Гц	Собственная частота, Гц
1 508.2626529813	18 910.2491560609	34 1348.222532249	50 1731.2.5.184006531
2 545.0573224901	19 927.3122620952	35 1368.540902966	51 1732.847952725
3 593.0758059189	20 938.2534431694	36 1422.517222385	52 1755.193512582
4 613.2858588592	21 966.7302027320	37 1436.835972279	53

Моделирование на случайную вибрацию.

Моделирование проведено при воздействии случайной вибрации в направлении осей X, Y, Z по заданным исходным данным.

Можно вывести поля расчетных среднеквадратических значений напряжений прибора при воздействии случайной вибрации вдоль осей X, Y, Z (рис. 1.2.5.4).

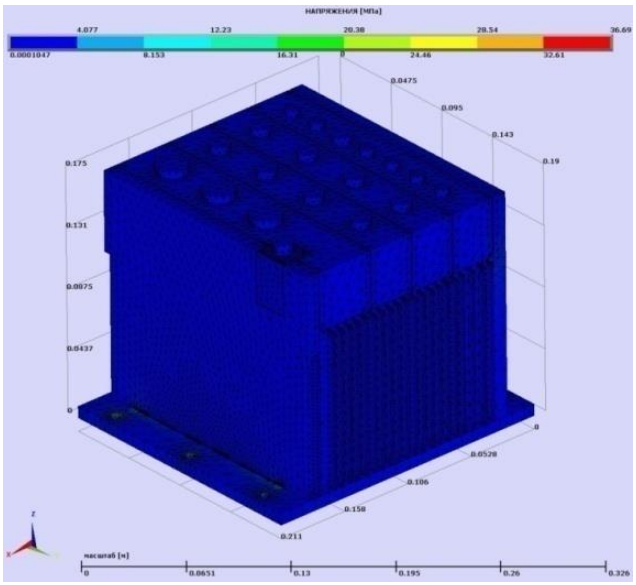


Рис. 1.2.5.4. Поля расчетных среднеквадратических значений напряжений прибора при воздействии случайной вибрации

Можно вывести поля расчетных среднеквадратических значений ускорений, перемещений прибора при воздействии случайной вибрации вдоль осей X, Y, Z (данные не приводятся из-за экономии печатных площадей).

Моделирование на устойчивость при ударно-импульсных нагружениях.

Для расчета ударного воздействия рассматривался одиночный удар, приложенный по осям X, У, Z. Ударное воздействие задается как импульс треугольной формы с максимально возможной амплитудой и длительностью согласно исходным данным.

Максимальные значения напряжений конструкции прибора при ударном воздействии по осям X, У, Z приведены на рис. 1.2.5.5.

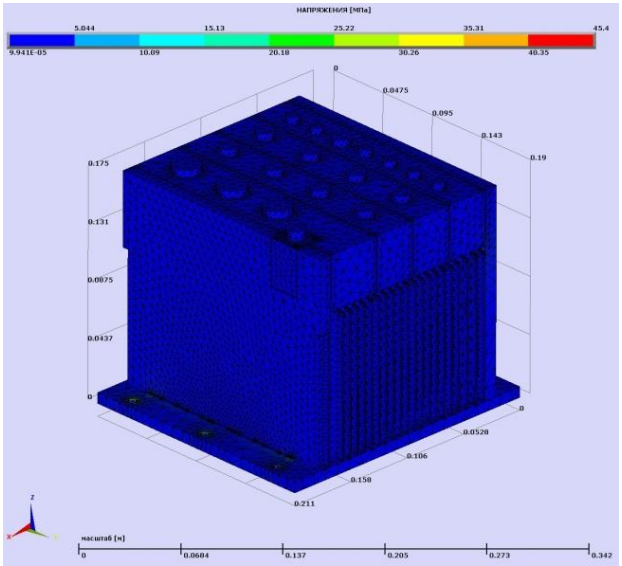


Рис. 1.2.5.5. Максимальные значения напряжений конструкции прибора при ударном воздействии

Можно вывести максимальные значения ускорений, перемещений, напряжений прибора при воздействии случайной вибрации вдоль осей X, Y, Z (некоторые скрины экранов приведены на рис. 1.2.5.6 – 1.2.3.9).

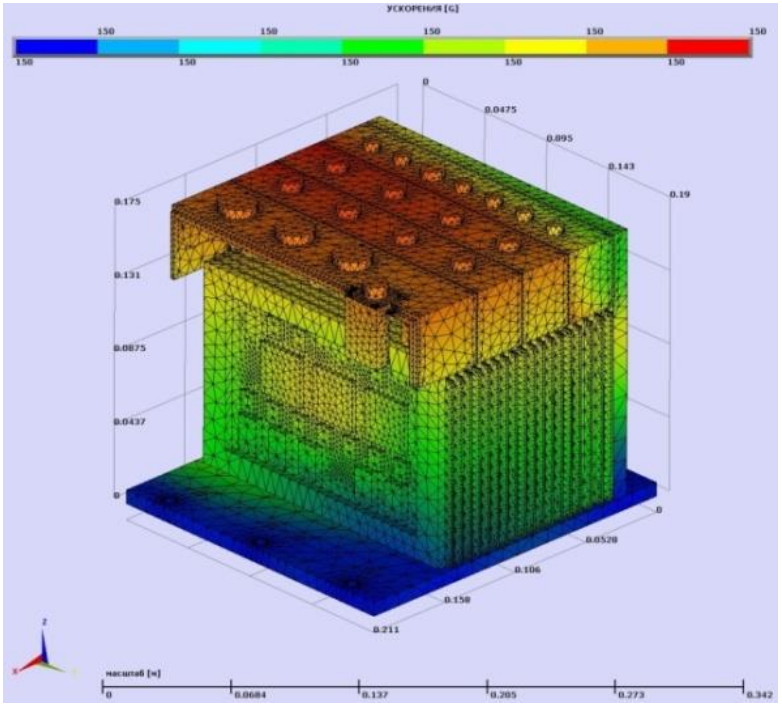


Рис. 1.2.5.6. Максимальные значения ускорений прибора при ударно-импульсных нагружениях вдоль осей X, Y, Z

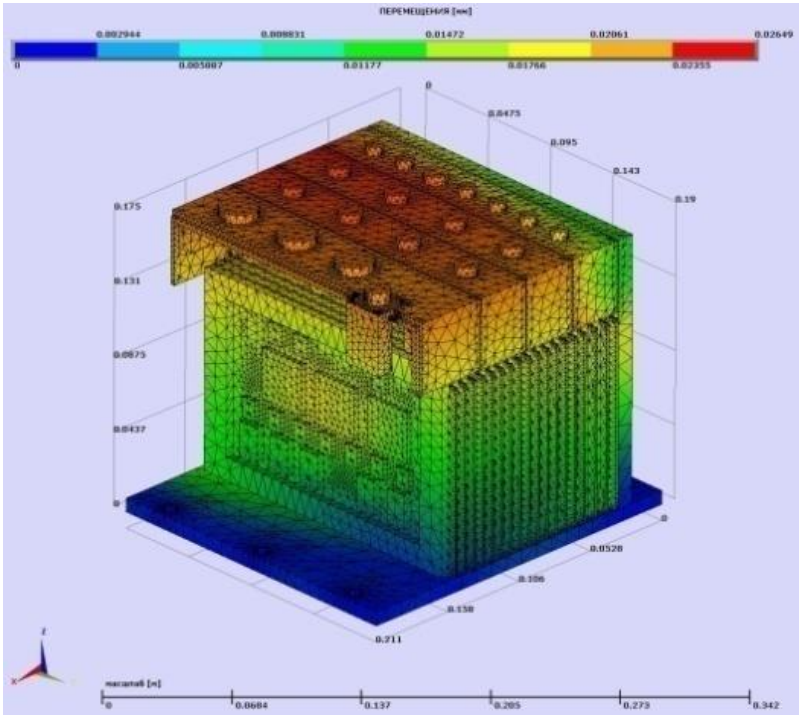


Рис. 1.2.5.7. Максимальные значения перемещений прибора при ударно-импульсных нагружениях вдоль осей X, Y, Z

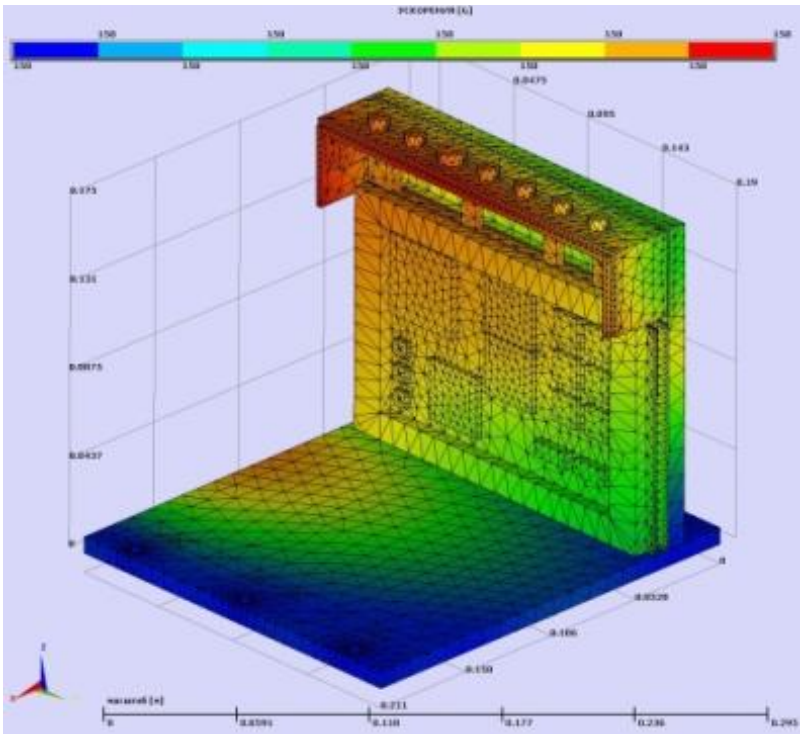


Рис. 1.2.5.8. Максимальные значения ускорений прибора при ударно-импульсных нагружениях вдоль осей X, Y, Z (вид на ячейку E1)

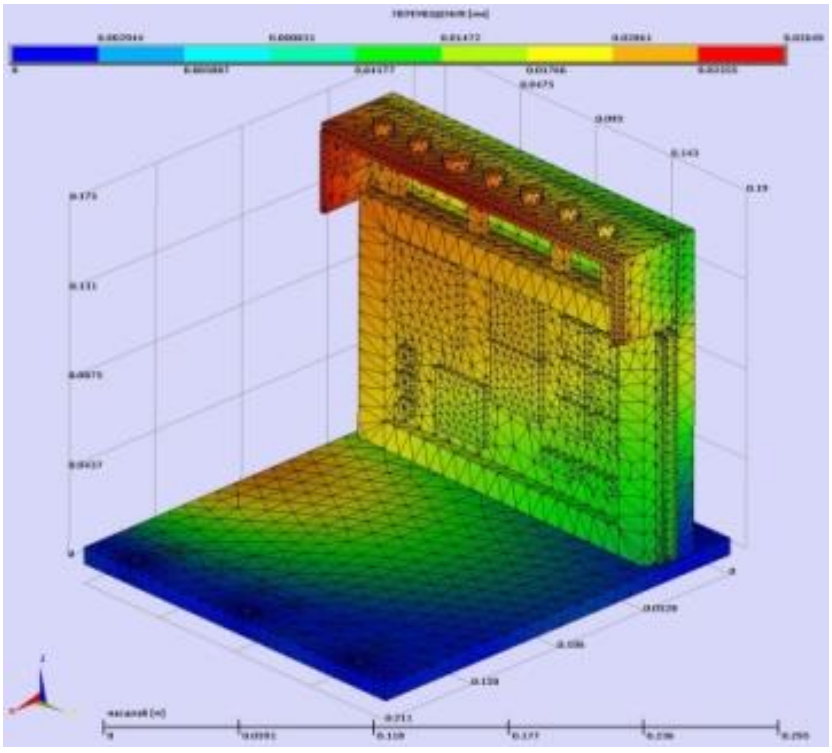


Рис. 1.2.5.9. Максимальные значения перемещений прибора при ударно-импульсных нагружениях вдоль осей X, Y, Z (вид на ячейку E1)

Анализ акустического воздействия.

Наиболее подвержены воздействию акустического шума элементы, находящиеся на внешней поверхности прибора. Соединители – вилки согласно ТУ выдерживает уровень звукового давления 170 дБ; а максимальное воздействие равно 136 дБ. Крепежные детали застопорены, возможные резонансные явления не приведут к отворачиванию винтов. Внутри прибора не содержится нестойких к акустическому шуму элементов.

Общие результаты моделирования.

Общие результаты моделирования ячеек с ЭРИ при воздействии случайной вибрации и одиночного удара.

При воздействии случайной вибрации:

установленные в ячейках ЭРИ работают в допустимых режимах;

установленные в приборе соединители работают в допустимых режимах.

При воздействии одиночного удара:

установленные в ячейках ЭРИ работают в допустимых режимах;

установленные в приборе соединители работают в допустимых режимах.

Как видно из рис. 1.2.5.10, 1.2.5.11, расчетные значения перегрузок на ЭРИ и разъемах (150g) не превышают максимально допустимых (150g).

Как видно из рис. 1.2.5.10, 1.2.5.11, расчетные значения перегрузок на ЭРИ и разъемах (150g) не превышают максимально допустимых (150g).

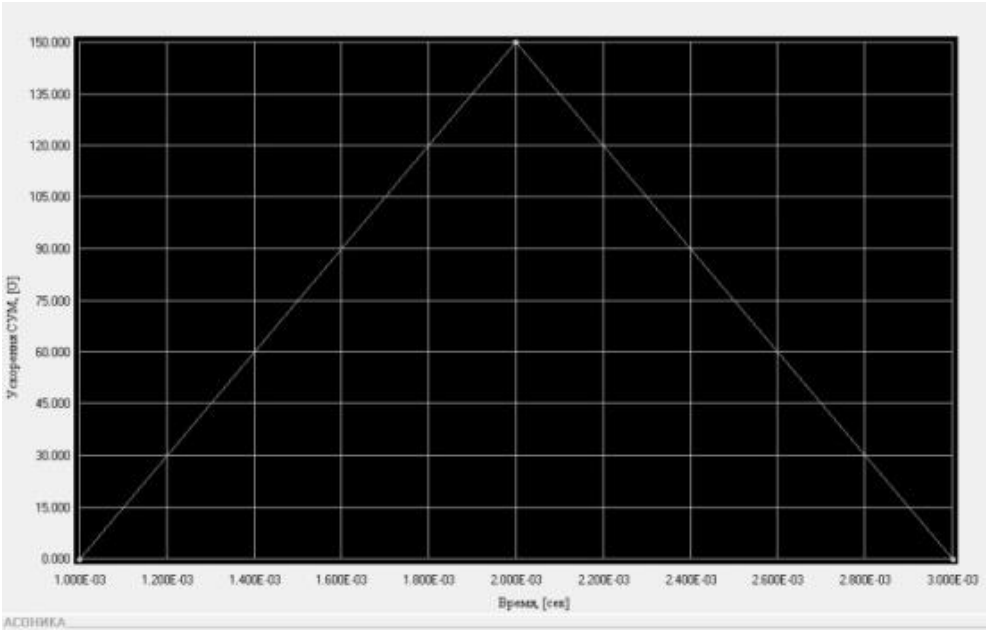


Рис. 1.2.5.10. АЧХ в контрольных точках ЭРИ при ударно-импульсных воздействиях

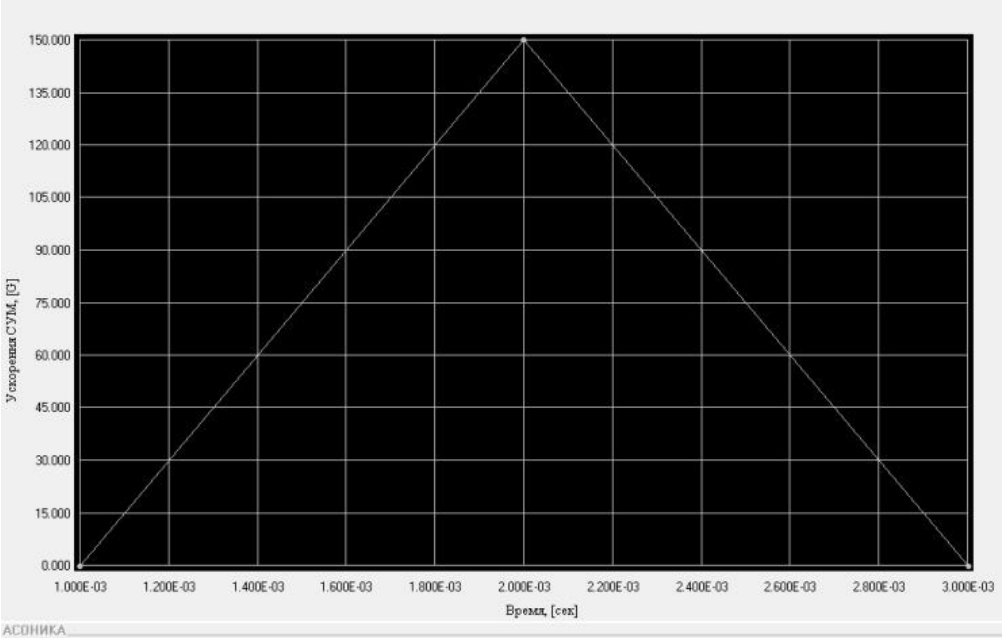


Рис. 1.2.5.11. АЧХ в контрольных точках разъемов при ударно-импульсных воздействиях

Выводы.

Прибор УС имеет первую резонансную частоту колебаний элементов конструкции, равную 508,26 Гц, т.е. удовлетворяет требованиям по ОСТ 92-5100-2002 (группа 5.3.1).

Прибор УС при воздействии случайной вибрации по осям X, Y и Z на соединителях имеет максимальное ускорение, равное 12g, что не превышает допустимое по ТУ на соединители (ОС МР1) нагрузки 15g.

Прибор УС устойчив к акустическим нагружениям.

При воздействии ударного нагружения максимальное расчетное значение ускорения элементов конструкции, на которых установлены ЭРИ, составляет 150g, что не превышает требования ТУ.

Максимальное расчетное напряжение в конструкции при воздействии случайной вибрации составляет 36,69 МПа, а при воздействии ударного нагружения 45,4 МПа, что не превышает предела прочности материала конструктивных элементов, равного 275 МПа.

Прибор УС отвечает требованиям прочности.

2. МЕХАНИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ НА ВИБРОИЗОЛЯТОРАХ (АСОНИКА-В)

2.1. Расчеты шкафов на виброизоляторах

2.1.1. Автоматизированный анализ механического режима генераторного устройства (оценка эффекта от применения виброизоляторов)

Задача расчета.

Провести расчет конструкции шкафа генераторного устройства при воздействии гармонической вибрации и удара. На основании анализа механических характеристик сделать выводы о соответствии техническим требованиям на генераторное устройство: в диапазоне частот 1…15 Гц не должно быть резонансов. Оценить возможность применения виброизоляторов при транспортировании шкафа.

Данные для расчета:

сборочный чертеж генераторного устройства (общий вид на рис. 2.1.1.1);

параметры механических воздействий.

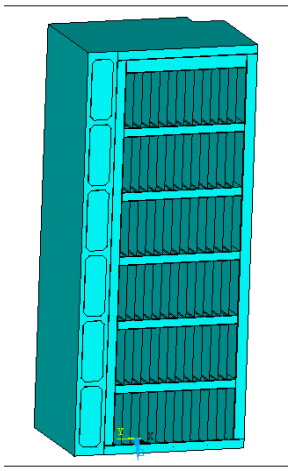


Рис. 2.1.1.1. Общий вид конструкции генераторного устройства

Исходные данные.

Генераторное устройство должно быть рассчитано на следующие механические воздействия:

1. Гармоническая вибрация с ускорением 2g в диапазоне частот 1-35 Гц.

2. Механический удар одиночного действия с амплитудой 100g и длительностью 0,5 мс.

3. Механический удар многократного действия при транспортировании с амплитудой 10g и длительностью 6 мс.

Размеры шкафа: x = 810 мм, y = 517 мм, z = 1689 мм.

Масса шкафа 309 кг.

В конструкции используются виброизоляторы типа АКСС-120ИХ.

Согласно справочной литературе, виброизоляторы типа АКСС-120ИХ имеют следующие характеристики:

динамическая жесткость по оси X 1300000 Н/м;

динамическая жесткость по оси Y 950000 Н/м;

динамическая жесткость по оси Z 1200000 Н/м;

коэффициент механических потерь 0,19.

Результаты расчета.

1. Анализ собственных частот колебаний шкафа без виброизоляторов (при жестком креплении пульта).

Расчет шкафа без виброизоляторов на собственные частоты показал, что первая собственная частота составляет 68,7 Гц. На рис. 2.1.1.2 представлена 1-я форма колебаний. Вторая собственная частота колебаний составляет 86.2 Гц, третья – 94 Гц, четвертая – 103,5 Гц (скрины экранов аналогичны рисунку 2.1.1.2). Таким образом, в диапазоне частот 1…15 Гц собственные частоты у шкафа отсутствуют.

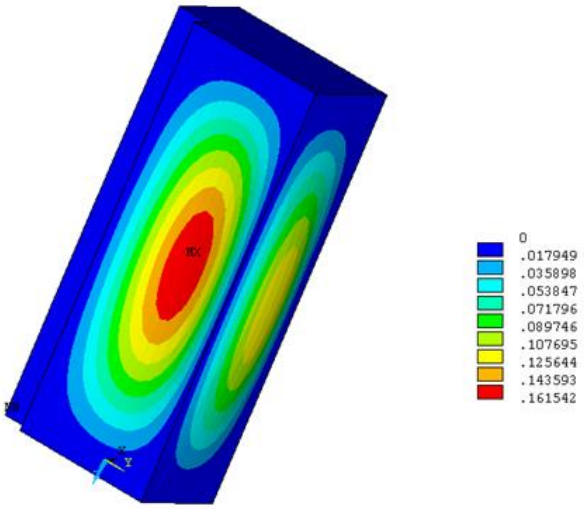


Рис. 2.1.1.2. 1-я собственная форма колебаний шкафа (частота 68,7 Гц)

2. Анализ с помощью системы АСОНИКА-В шкафа на виброизоляторах при воздействии гармонической вибрации с амплитудой 2g в диапазоне 1…35 Гц.

2.1. Первый вариант конструкции на 4 виброизоляторах.

Зависимость виброускорения шкафа от частоты представлена на рис. 2.1.1.3. Как видно, в диапазоне частот 1…15 Гц резонансы отсутствуют. Резонансные частоты составляют 21,4 Гц (по осям X, Y) и 23 Гц (по оси Z). Максимальная амплитуда составляет 8,4g.

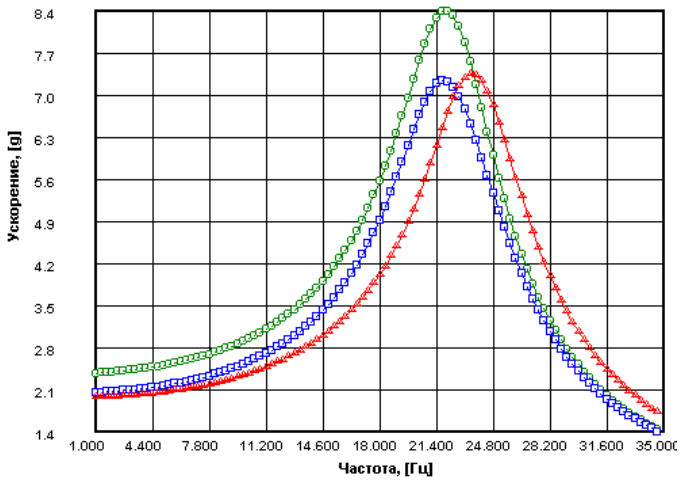


Рис. 2.1.1.3. Зависимость ускорения шкафа от частоты при воздействии гармонической вибрации (первый вариант конструкции на 4 виброизоляторах) по осям X, Y, Z

2.2. Второй вариант конструкции на 3 виброизоляторах.

Установка шкафа на 3 виброизолятора вместо 4 (снизу) позволяет снизить ускорения, в особенности при ударных воздействиях. На рис. 2.1.1.4 показано размещение виброизоляторов по второму варианту.

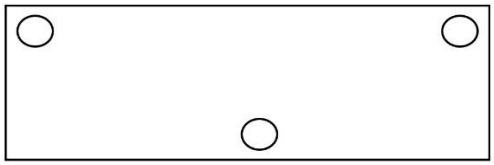


Рис. 2.1.1.4. Размещение виброизоляторов по второму варианту

Зависимость виброускорения шкафа от частоты для второго варианта представлена на рис. 2.1.1.5. Как видно, в диапазоне частот 1…15 Гц резонансы по-прежнему отсутствуют. Резонансные частоты по всем осям составляют 21 Гц. Максимальная амплитуда снизилась и составляет 7,4g.

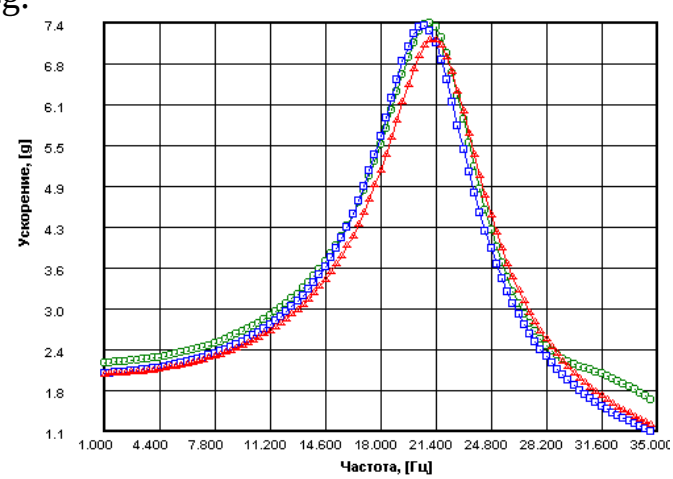


Рис. 2.1.1.5. Зависимость ускорения шкафа от частоты при воздействии гармонической вибрации (второй вариант конструкции) по осям X, Y, Z

3. Анализ с помощью системы АСОНИКА-В шкафа на виброизоляторах при воздействии механического удара одиночного действия с амплитудой 100g и длительностью 0,5 мс.

Зависимость ускорения шкафа от времени при воздействии одиночного удара для первого варианта представлена на рис. 2.1.1.6. Как видно, максимальное ударное ускорение составляет 83,6g.

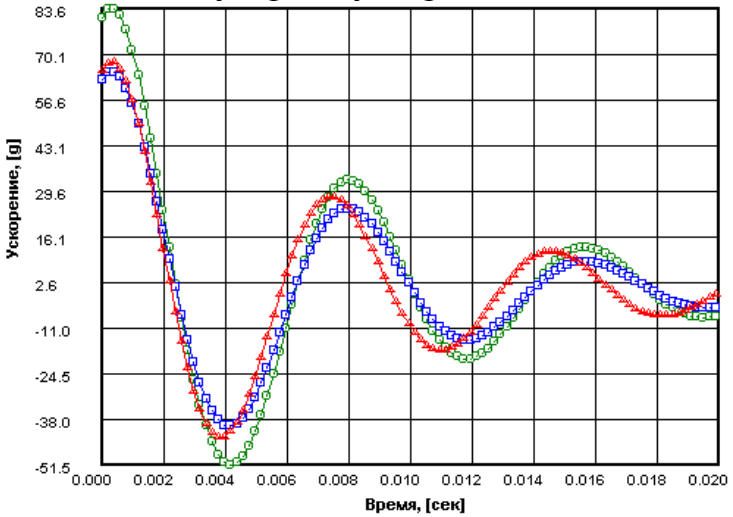


Рис. 2.1.1.6. Зависимость ускорения шкафа от времени при воздействии одиночного удара (первый вариант конструкции) по осям X, Y, Z

Зависимость ускорения шкафа от времени при воздействии одиночного удара для второго варианта представлена на рис. 2.1.1.7. Как видно, максимальное ударное ускорение снизилось и составляет 64,9g.

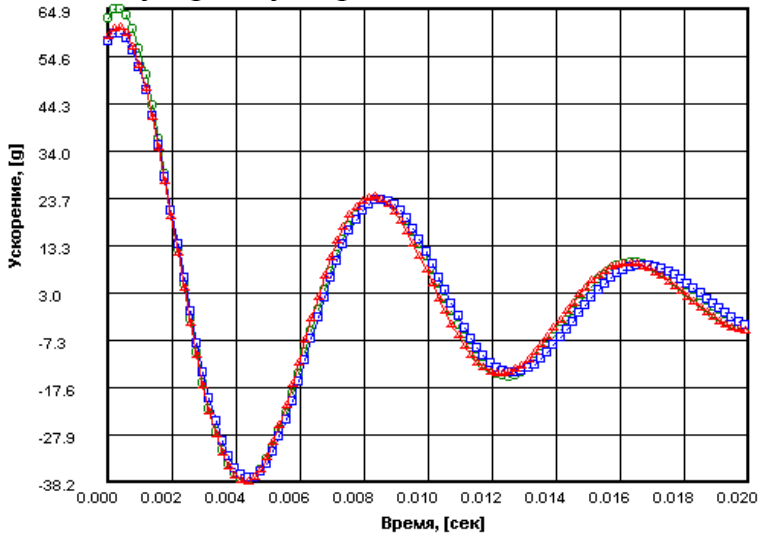


Рис. 2.1.1.7. Зависимость ускорения шкафа от времени при воздействии одиночного удара (второй вариант конструкции) по осям X, Y, Z

Таким образом, применение виброизоляторов при одиночном ударе дает эффект: ускорения снижаются.

4. Анализ с помощью системы АСОНИКА-В шкафа на виброизоляторах при воздействии механического удара многократного действия при транспортировании с амплитудой 10g и длительностью 6 мс.

Зависимость ускорения шкафа от времени при воздействии многократного удара для первого варианта представлена на рис. 2.1.1.8. Как видно, максимальное ударное ускорение составляет 35,3g.

Зависимость ускорения шкафа от времени при воздействии многократного удара для второго варианта представлена на рис. 2.1.1.9. Как видно, максимальное ударное ускорение снизилось и составляет 30,3g.

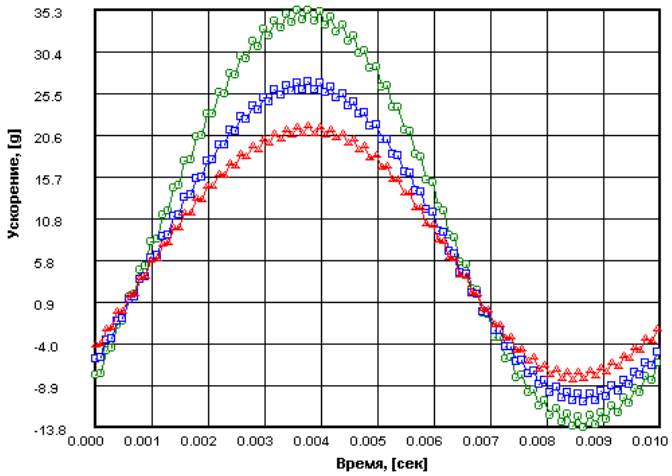


Рис. 2.1.1.8. Зависимость ускорения шкафа от времени при воздействии многократного удара (первый вариант конструкции) по осям X, Y, Z

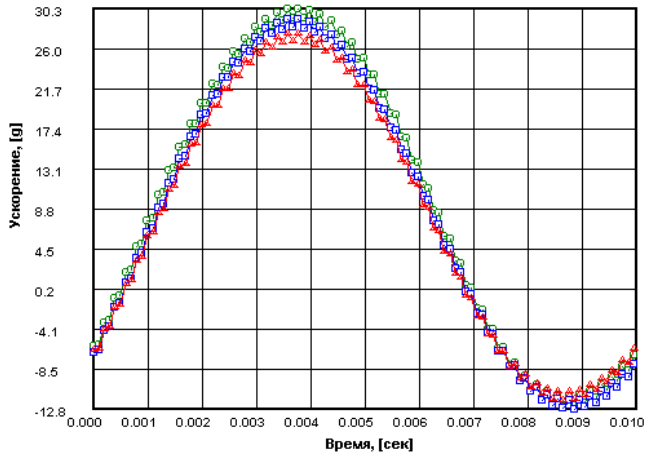


Рис. 2.1.1.9. Зависимость ускорения шкафа от времени при воздействии многократного удара (второй вариант конструкции) по осям X, Y, Z

Расчеты показывают, что при жестком креплении шкафа (без виброизоляторов) при транспортировании механические напряжения находятся в норме (не превышают предел прочности, который составляет 520 МПа; максимальное расчетное напряжение составляет 76,1 МПа).

Ускорения находятся в пределах заданных (в диапазоне частот 1…35 Гц нет резонансов несущей конструкции шкафа; см. п. 4.1).

Таким образом, при транспортировании нельзя устанавливать шкаф на виброизоляторах, так как при этом амплитуды колебаний возрастают более чем в 3 раза. Нужно либо жестко крепить шкаф (если нет перегрузок ЭРИ), либо изготавливать специальную тару (в случае наличия перегрузок ЭРИ), которая обладала бы демпфирующими свойствами. В связи с этим отпадает необходимость расчета печатных узлов в составе шкафа на виброизоляторах на воздействие многократного удара. Расчет печатных узлов в данном случае должен проводиться только для жестко закрепленного шкафа.

Выводы.

Расчеты показали, что требования по механическим воздействиям на генераторное устройство выполняются: 1) в диапазоне частот 1…15 Гц нет резонансов; 2) виброускорения ЭРИ в конструкции шкафа не превышают максимально допустимых значений по ТУ.

Применение виброизоляторов дает эффект прежде всего при одиночном ударе: ускорения снижаются. Предлагаемая установка шкафа на 3 виброизолятора вместо 4 (снизу) позволяет дополнительно снизить ускорения при воздействии одиночного удара. При транспортировании нельзя устанавливать шкаф на виброизоляторах, так как при этом амплитуды колебаний возрастают более чем в 3 раза. Нужно либо жестко крепить шкаф (если нет перегрузок ЭРИ), либо изготавливать специальную тару (в случае наличия перегрузок ЭРИ), которая обладала бы демпфирующими свойствами.

2.1.2. Расчет устойчивости и прочности конструктивных элементов изделия «Л-01» к воздействию механических воздействующих факторов: стеллаж пятистоечный усеченный на виброизоляторах, стеллаж двухстоечный на виброизоляторах

Задача расчета.

Провести моделирование на ЭВМ механических процессов с помощью системы АСОНИКА и оценить устойчивость и прочность следующих стеллажных конструктивов:

стеллаж пятистоечный усеченный на виброизоляторах;

стеллаж двухстоечный на виброизоляторах.

Исходные данные.

сборочные чертежи конструкции стеллажей;

вибрация синусоидальная: диапазон частот, Гц – 5...35; амплитуда ускорения, м/с^2 (g) – 10 (1);

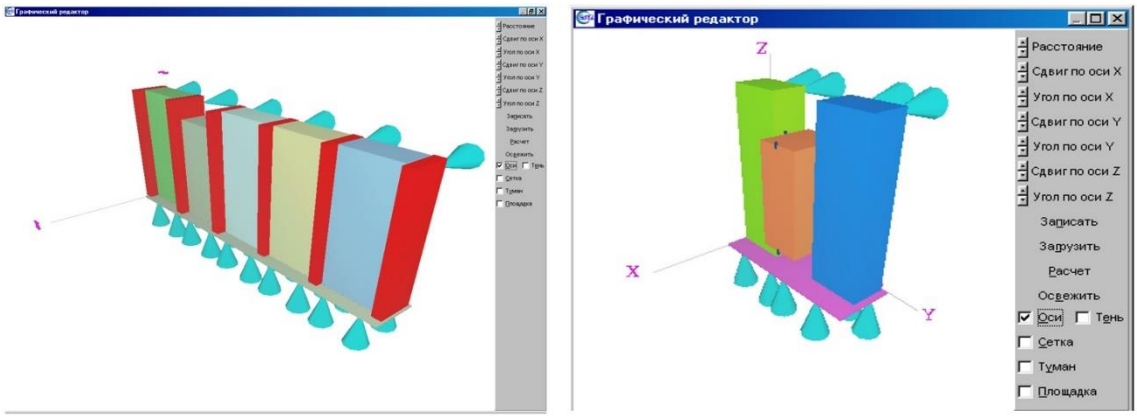
механический удар одиночного действия: пиковое ударное ускорение, м/с^2 (g) – 1000 (100); длительность действия ударного ускорения, мс – 0,5...2;

механический удар многократного действия (имитация вибраций при транспортировании): пиковое ударное ускорение, м/с^2 (g) – 100 (10); длительность действия ударного ускорения, мс – 6.

Анализ исходных данных.

Эскиз конструкции стеллажа пятистоечного усеченного, введенного с помощью графического интерфейса системы АСОНИКА, представлен на рис. 2.1.2.1а.

Эскиз конструкции стеллажа двухстоечного, введенного с помощью графического интерфейса системы АСОНИКА, представлен на рис. 2.1.2.1б.



а) *б)*

Рис. 2.1.2.1. Графическое изображение рассчитываемых стеллажей: а) – пятистоечного усеченного и б) – двухстоечного: в виде конусов показаны виброизоляторы

Зависимость входного ускорения гармонической вибрации от частоты представлена на рис. 2.1.2.2.

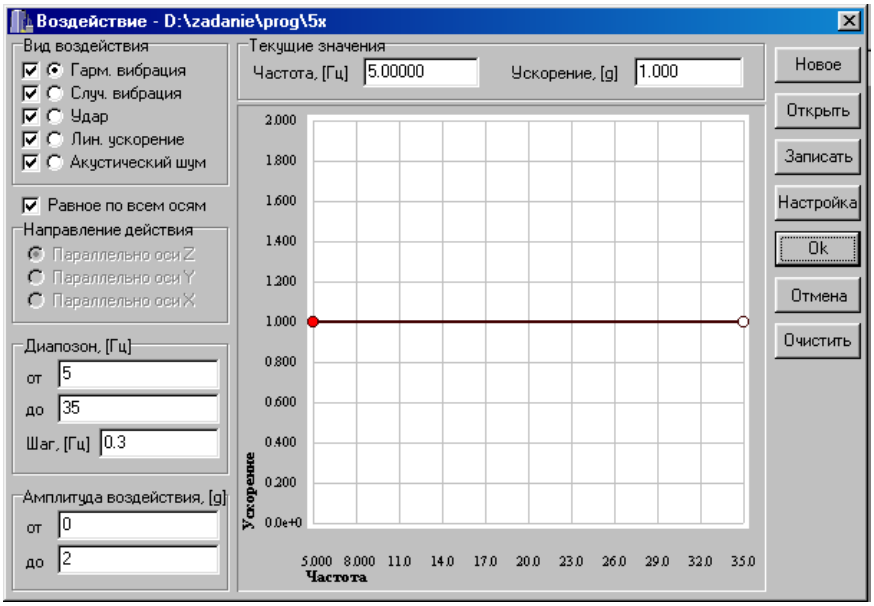


Рис. 2.1.2.2. Зависимость входного ускорения гармонической вибрации от частоты

Зависимость входного механического удара одиночного действия от времени представлена на рис. 2.1.2.3.

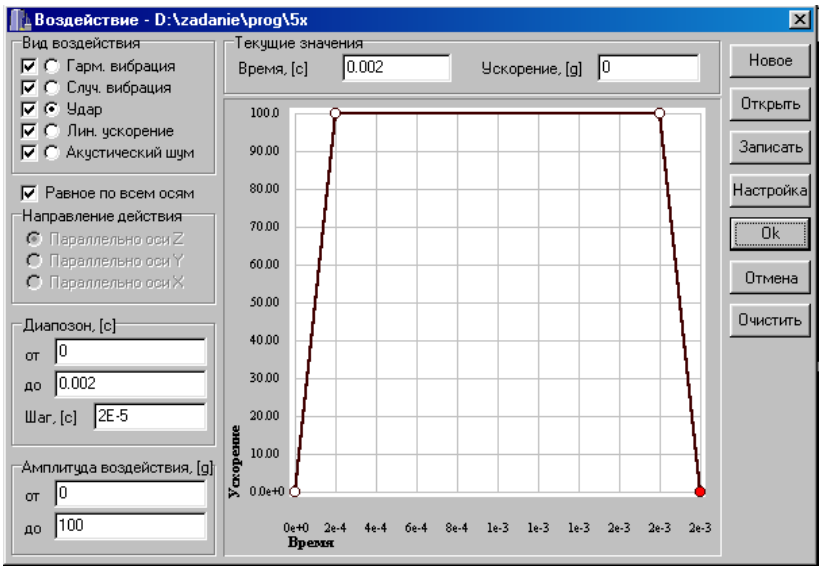


Рис. 2.1.2.3. Зависимость входного механического удара одиночного действия от времени

Зависимость входного механического удара многократного действия от времени представлена на рис. 2.1.2.4.

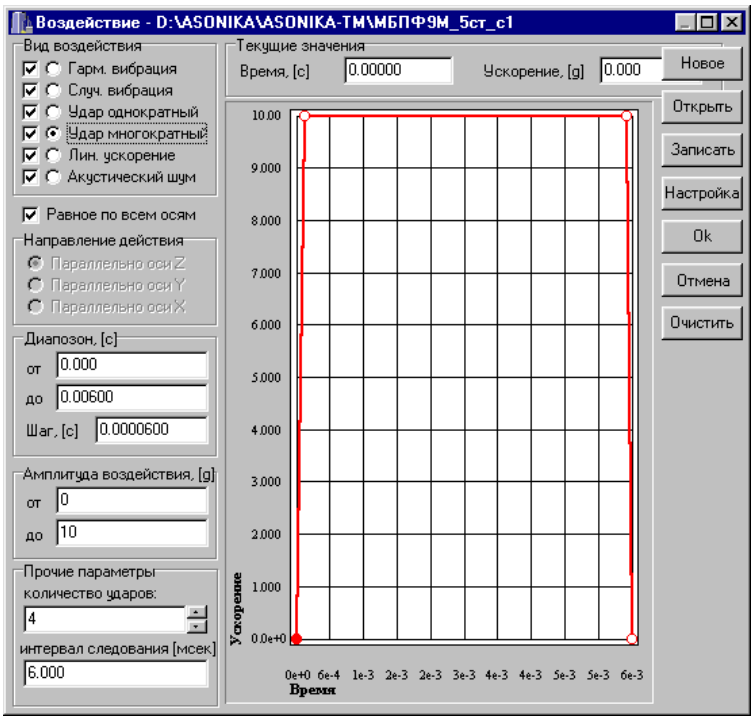


Рис. 2.1.2.4. Зависимость входного механического удара многократного действия от времени

Из справочной литературы были получены следующие параметры виброизолятора АКСС-120ИХ – коэффициенты жесткости и КМП по трем направлениям (табл. 2.1.2.1).

Таблица 2.1.2.1

Параметры виброизолятора АКСС-120ИХ

Направление оси координат	Коэффициент жесткости, Н/м	КМП, отн. ед.
X	1300	0,19
Y	950	0,19
Z	1200	0,19

Из справочной литературы были получены следующие параметры виброизолятора АКСС-60ИХ – коэффициенты жесткости и КМП по трем направлениям (табл. 2.1.2.2).

Таблица 2.1.2.2

Параметры виброизолятора АКСС-60ИХ

Направление оси координат	Коэффициент жесткости, Н/м	КМП, отн. ед.
X	600	0,09
Y	390	0,09
Z	800	0,09

Результаты расчета.

1. Расчет системы виброизоляции стеллажа пятистоечного усеченного.

1.1. Расчет системы виброизоляции стеллажа при воздействии гармонической вибрации.

Результаты моделирования системы виброизоляции по оси X приведены на рис. 2.1.2.5. Можно также вывести аналогичные результаты по осям Y и Z.

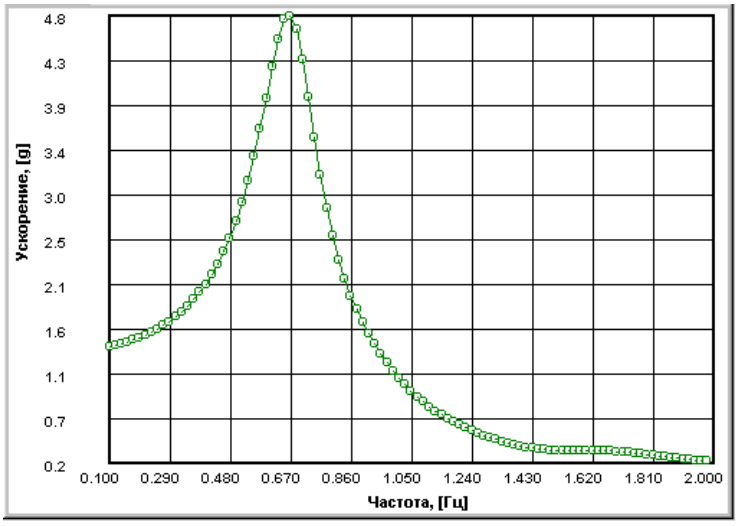


Рис. 2.1.2.5. Зависимость ускорения стеллажа от частоты при воздействии гармонической вибрации по оси X в диапазоне до 2 Гц

При воздействии гармонической вибрации по оси X на частоте 0,67 Гц амплитуда виброускорения равна 4,8g, по оси Y на частоте 0,75 Гц амплитуда виброускорения равна 3,8g; по оси Z на частоте 0,87 Гц амплитуда виброускорения равна 3,6g.

Однако все резонансы находятся до 2 Гц. Согласно требованиям ТЗ резонансов не должно быть в диапазоне от 5 Гц до 10 Гц. В данном случае это требование выполняется полностью. Это видно из рис. 2.1.2.6 – 2.1.2.8. Более того, использование виброизоляторов позволяет значительно снизить нагрузку, приходящуюся на шкафы, в рабочем диапазоне частот. Поэтому, если даже в конструкции приборов, входящих в состав стеллажа, будут наблюдаться резонансы, это практически не приведет к перегрузкам.

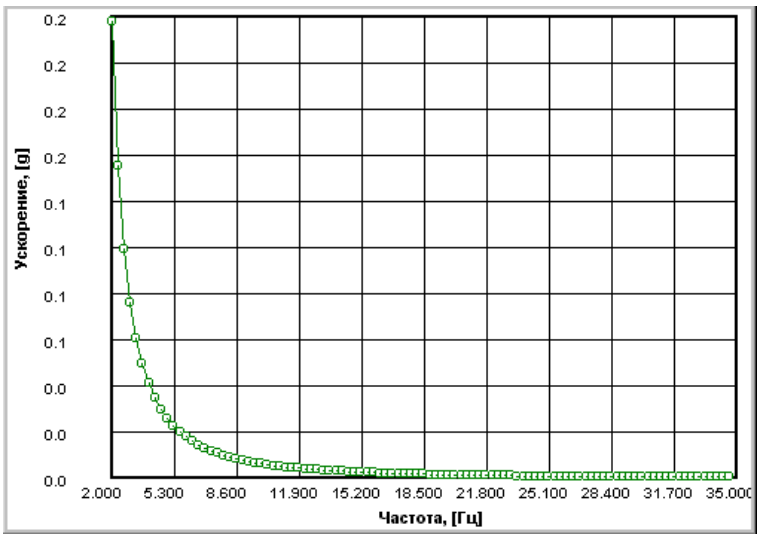


Рис. 2.1.2.6. Зависимость ускорения стеллажа от частоты при воздействии гармонической вибрации по оси X в диапазоне от 2 Гц до 35 Гц

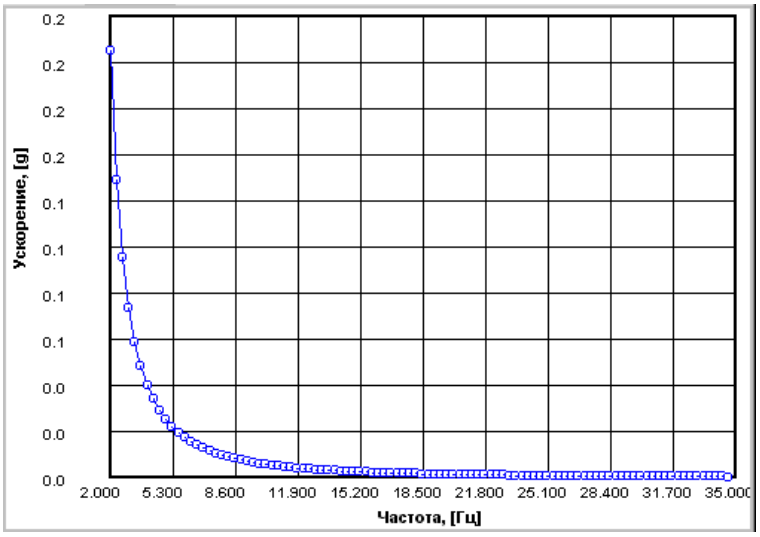


Рис. 2.1.2.7. Зависимость ускорения стеллажа от частоты при воздействии гармонической вибрации по оси Y в диапазоне от 2 Гц до 35 Гц

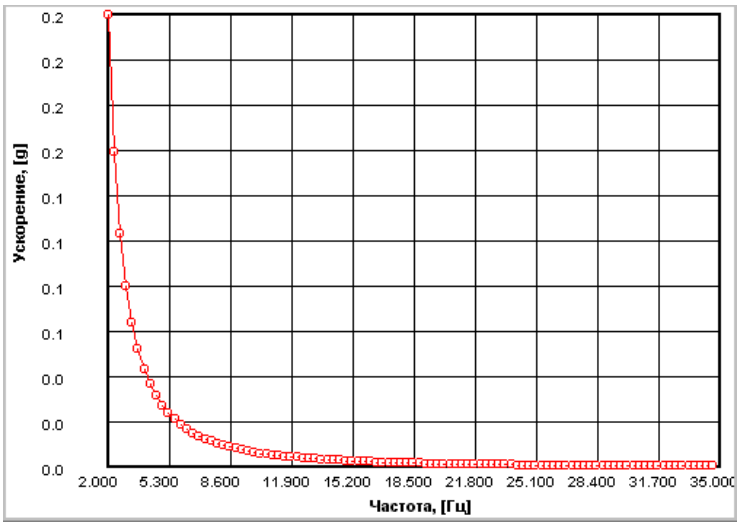


Рис. 2.1.2.8. Зависимость ускорения стеллажа от частоты при воздействии гармонической вибрации по оси Z в диапазоне от 2 Гц до 35 Гц

1.2. Расчет системы виброизоляции стеллажа при воздействии механического удара одиночного действия.

Результаты моделирования системы виброизоляции по оси X приведены на рис. 2.1.2.9. Можно также вывести аналогичные результаты по осям Y и Z. По результатам моделирования видно, что при воздействии удара ускорение по оси X не превышает 366g, Y не превышает 250g, по оси Z не превышает 250g.

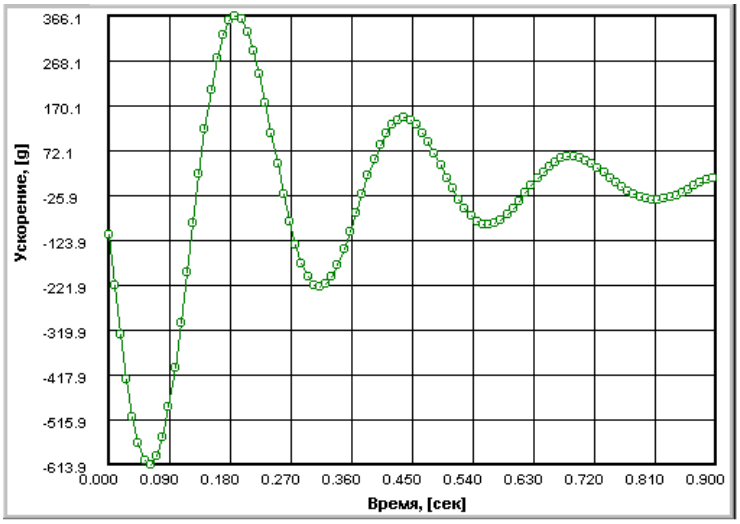


Рис. 2.1.2.9. Зависимость ускорения стеллажа от времени при воздействии механического удара одиночного действия по оси X

1.3. Расчет системы виброизоляции стеллажа при воздействии механического удара многократного действия.

Результаты моделирования системы виброизоляции по оси X приведены на рис. 2.1.2.10. Можно также вывести аналогичные результаты по осям Y и Z. По результатам моделирования видно, что

при воздействии удара ускорение по оси X не превышает 27,4g, Y не превышает 20,8 g, по оси Z не превышает 16 g.

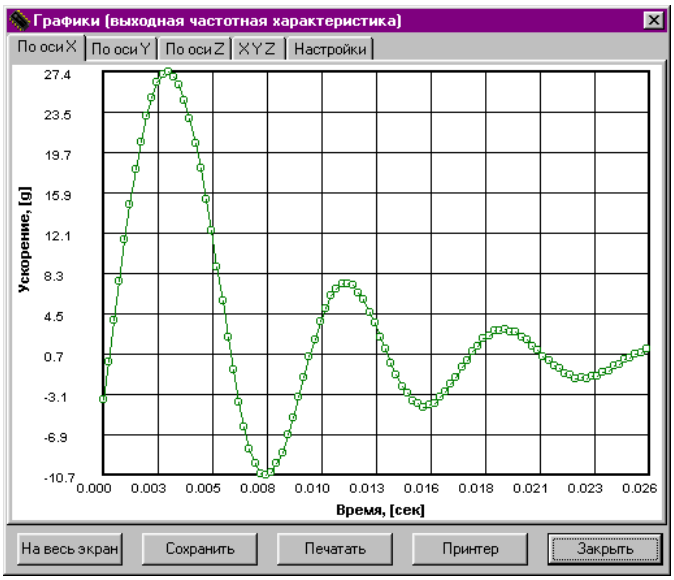


Рис. 2.1.2.10. Зависимость ускорения стеллажа от времени при воздействии механического удара многократного действия по оси X

2. Расчет системы виброизоляции стеллажа двухстоечного

2.1. Расчет системы виброизоляции стеллажа при воздействии гармонической вибрации.

Результаты моделирования системы виброизоляции по оси X приведены на рис. 2.1.2.11. Можно также вывести аналогичные результаты по осям Y и Z. По результатам моделирования видно, что при воздействии гармонической вибрации по оси X на частоте 0,5 Гц амплитуда виброускорения равна 5,3g, по оси Y на частоте 0,48 Гц амплитуда виброускорения равна 5,4g; по оси Z на частоте 0,7 Гц амплитуда виброускорения равна 3,4g.

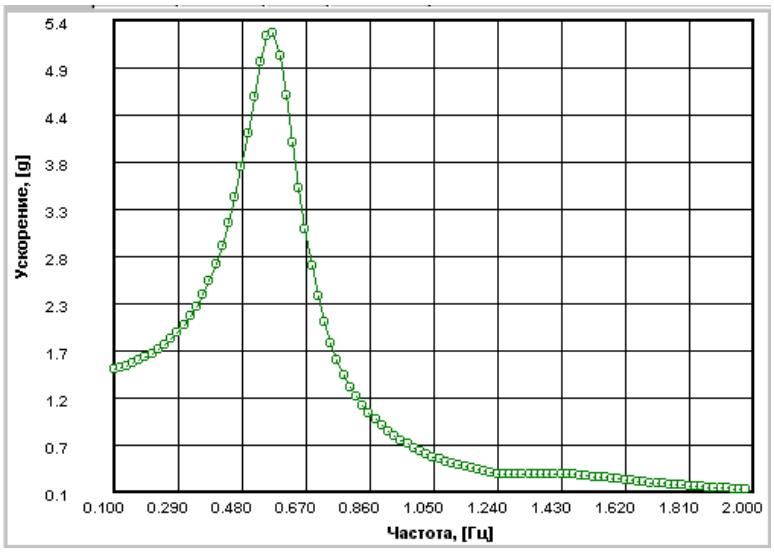


Рис. 2.1.2.11. Зависимость ускорения стеллажа от частоты при воздействии гармонической вибрации по оси X в диапазоне до 2 Гц

Однако все резонансы находятся до 2 Гц. Согласно требованиям ТЗ резонансов не должно быть в диапазоне от 5 Гц до 10 Гц. В данном случае это требование выполняется полностью. Это видно из рис. 2.1.2.12 (результаты моделирования по осям Y и Z аналогичны и не приведены). Более того, использование виброизоляторов позволяет значительно снизить нагрузку, приходящуюся на шкафы, в рабочем диапазоне частот. Поэтому, если даже в конструкции приборов, входящих в состав стеллажа, будут наблюдаться резонансы, это практически не приведет к перегрузкам.

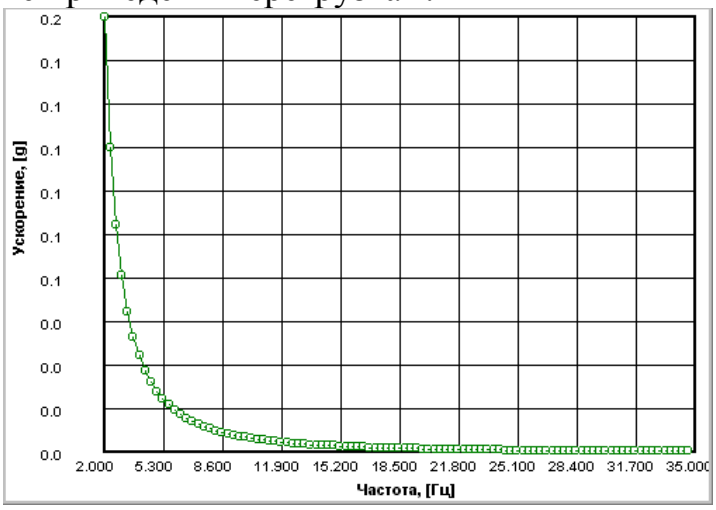


Рис. 2.1.2.12. Зависимость ускорения стеллажа от частоты при воздействии гармонической вибрации по оси X в диапазоне от 2 Гц до 35 Гц

2.2. Расчет системы виброизоляции стеллажа при воздействии механического удара одиночного действия.

Результаты моделирования системы виброизоляции по оси X приведены на рис. 2.1.2.13. Можно также вывести аналогичные результаты по осям Y и Z. По результатам моделирования видно, что при воздействии удара ускорение по оси X не превышает 347g, Y не превышает 250 g, по оси Z не превышает 280g.

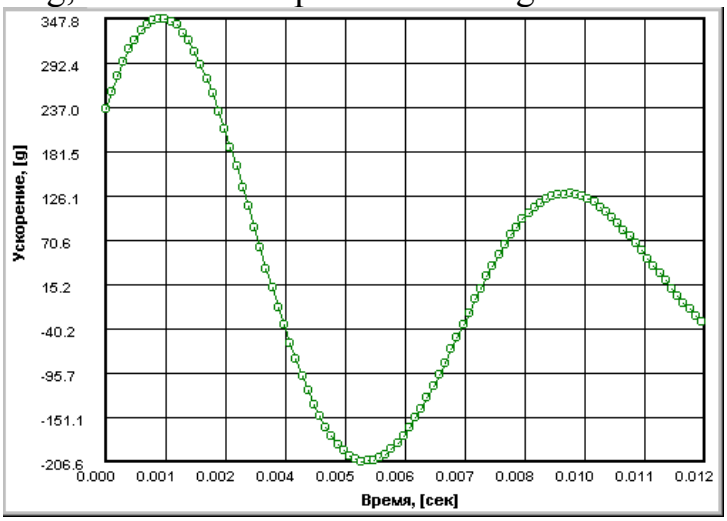


Рис. 2.1.2.13. Зависимость ускорения стеллажа от времени при воздействии механического удара одиночного действия по оси X

2.3. Расчет системы виброизоляции стеллажа при воздействии механического удара многократного действия.

Результаты моделирования системы виброизоляции по оси X приведены на рис. 2.1.2.14. Можно также вывести аналогичные результаты по осям Y и Z. При воздействии удара ускорение по оси X не превышает 36,9g, по оси Y не превышает 27 g, по оси Z не превышает 25 g.

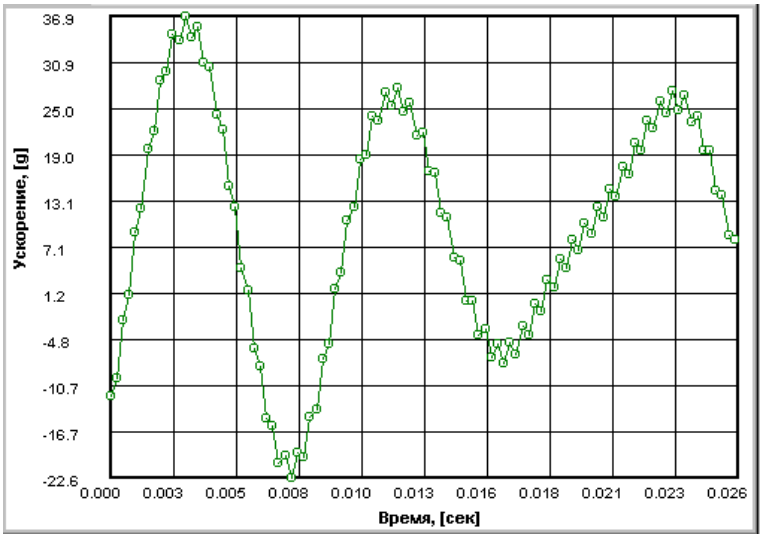


Рис. 2.1.2.14. Зависимость ускорения стеллажа от времени при воздействии механического удара многократного действия по оси X

Выводы.

На первом этапе моделирования рассматривались стеллаж пятистоечный усеченный и стеллаж двухстоечный. Моделирование на ЭВМ механических процессов с помощью системы АСОНИКА стеллажа пятистоечного усеченного и стеллажа двухстоечного показало, что использование виброизоляторов позволяет значительно снизить нагрузку, приходящуюся на шкафы, в рабочем диапазоне частот. Поэтому, если даже в конструкции приборов, входящих в состав стеллажа, будут наблюдаться резонансы, это практически не приведет к перегрузкам.

На следующем этапе моделирования следует провести более подробный анализ шкафов и анализ печатных узлов и ЭРИ.

2.1.3. Автоматизированная оценка стойкости навигационно-информационного пульта П4 к воздействию механических факторов

Задача расчета.

Провести расчет конструкции навигационно-информационного пульта при воздействии гармонической вибрации и удара. На основании анализа механических характеристик сделать выводы о соответствии техническим требованиям на пульт: 1) в диапазоне частот

1…15 Гц не должно быть резонансов; 2) виброускорения в конструкции пульта не должны превышать 40g (максимально допустимое ускорение ЭРИ при вибрационном воздействии); 3) ускорения в конструкции пульта при ударном воздействии не должны превышать значений 1000g (максимально допустимое ускорение ЭРИ при ударном воздействии).

Исходные данные:

Сборочный чертеж пульта (общий вид на рис. 2.1.3.1);

параметры механических воздействий.

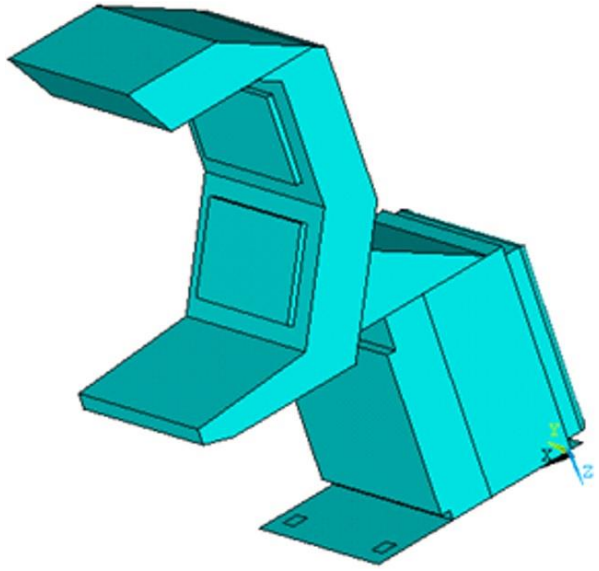


Рис. 2.1.3.1. Общий вид конструкции пульта

Анализ исходных данных.

Пульт должен быть работоспособен при воздействии гармонической вибрации с ускорением 1g в диапазоне частот 1-35 Гц и удара с амплитудой 15g и длительностью 15 мс. В конструкции используются виброизоляторы типа 120АКСС-И (снизу) и 160АКСС-И (сверху). Согласно справочной литературе, виброизоляторы типа 120АКСС-И имеют следующие характеристики:

динамическая жесткость по оси X 1300000 Н/м;

динамическая жесткость по оси Y 950000 Н/м;

динамическая жесткость по оси Z 1200000 Н/м;

коэффициент механических потерь 0,19.

Виброизоляторы типа 160АКСС-И имеют следующие характеристики:

динамическая жесткость по оси X 1600000 Н/м;

динамическая жесткость по оси Y 1000000 Н/м;

динамическая жесткость по оси Z 2500000 Н/м;

коэффициент механических потерь 0,112.

Результаты расчета.

1. Анализ собственных частот колебаний пульта без виброизоляторов (при жестком креплении пульта).

Расчет пульта без виброизоляторов на собственные частоты показал, что первая собственная частота составляет 48,4 Гц. На рис.

2.1.3.2 представлена 1-я форма колебаний. Вторая собственная частота колебаний составляет 81,9 Гц, третья – 82,3 Гц. Таким образом, в диапазоне частот 1…15 Гц резонансы отсутствуют.

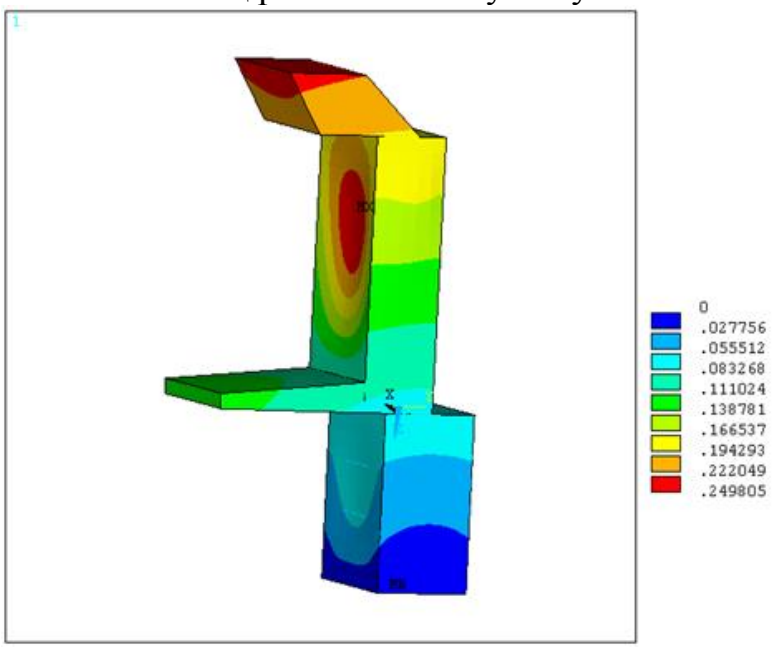


Рис. 2.1.3.2. 1-я собственная форма колебаний пульта (частота 48,4 Гц)

2. Анализ с помощью подсистемы АСОНИКА-В пульта на виброизоляторах при воздействии гармонической вибрации с амплитудой 1g в диапазоне 1…35 Гц.

Зависимость виброускорения пульта (на виброизоляторах типа И) от частоты представлена на рис. 2.1.3.3. Как видно, в диапазоне частот 1…15 Гц резонансы отсутствуют. Резонансные частоты составляют 18 Гц (по осям X, Y) и 28 Гц (по оси Z). Максимальная амплитуда составляет 5g, что значительно меньше максимально допустимого ускорения ЭРИ.

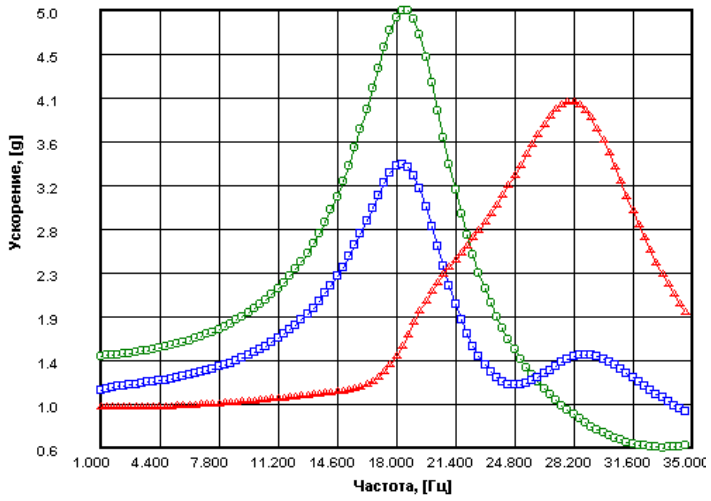


Рис. 2.1.3.3. Зависимость ускорения пульта от частоты при воздействии гармонической вибрации (используются виброизоляторы типа И) по трем осям

Более лучшие результаты дает применение виброизоляторов типа М: 120АКСС-М (снизу) и 160АКСС-М (сверху). Согласно справочной литературе, виброизоляторы типа 120АКСС-М имеют следующие характеристики:

динамическая жесткость по оси X 1800000 Н/м;
динамическая жесткость по оси Y 960000 Н/м;
динамическая жесткость по оси Z 2700000 Н/м;
коэффициент механических потерь 0,091.

Виброизоляторы типа 160АКСС-М имеют следующие характеристики:

динамическая жесткость по оси X 2400000 Н/м;
динамическая жесткость по оси Y 1200000 Н/м;
динамическая жесткость по оси Z 4400000 Н/м;
коэффициент механических потерь 0,098.

Зависимость виброускорения пульта на виброизоляторах типа М от частоты представлена на рис. 2.1.3.4. Как видно, в диапазоне частот 1…15 Гц резонансы отсутствуют. Резонансные частоты составляют 21 Гц (по осям X, Y). По оси Z резонансная частота вышла за диапазон 1…35 Гц. Максимальная амплитуда составляет 4,8g, что значительно меньше максимально допустимого ускорения ЭРИ.

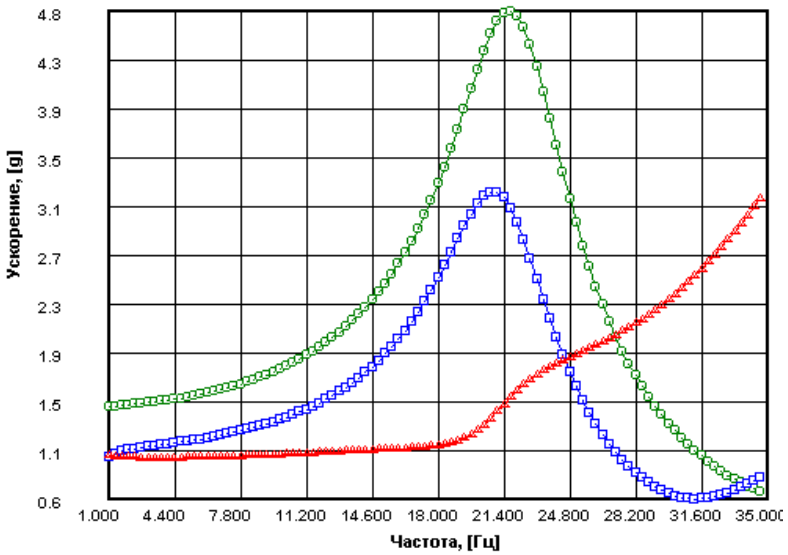


Рис. 2.1.3.4. Зависимость ускорения пульта от частоты при воздействии гармонической вибрации (используются виброизоляторы типа М) по трем осям

3. Анализ с помощью подсистемы АСОНИКА-В пульта на виброизоляторах при ударном воздействии с амплитудой 15g и длительностью 15 мс.

Зависимость ударного ускорения пульта от времени представлена на рис. 2.1.3.5. Как видно, максимальное ударное ускорение составляет 82,2g, что значительно меньше максимально допустимого ускорения ЭРИ.

Лучшие результаты дает применение виброизоляторов типа М: 120АКСС-М (снизу) и 160АКСС-М (сверху). Зависимость ударного ускорения пульта на виброизоляторах типа М от времени представлена на рис. 2.1.3.6. Как видно, максимальное ударное ускорение составляет 75g, что значительно меньше максимально допустимого ускорения ЭРИ.

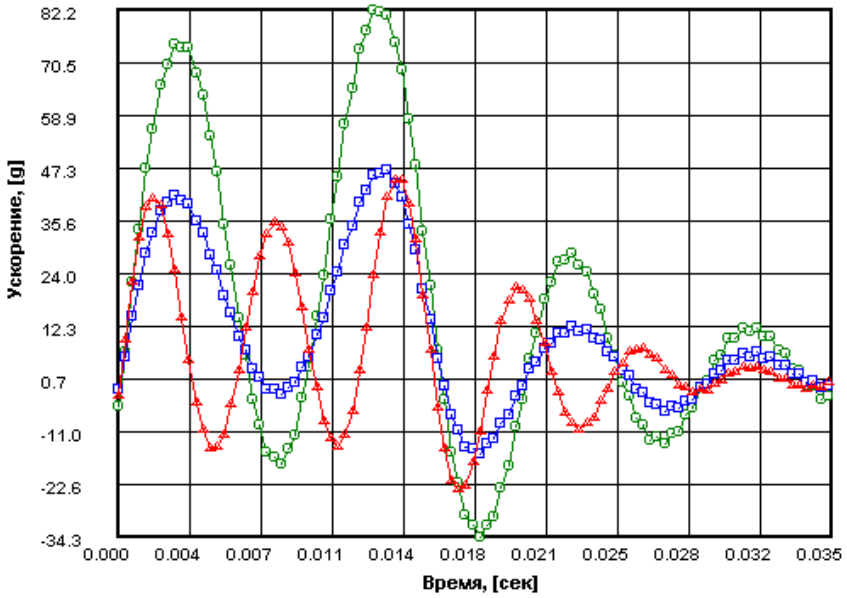


Рис. 2.1.3.5. Зависимость ударного ускорения пульта от времени (используются виброизоляторы типа И) по трем осям

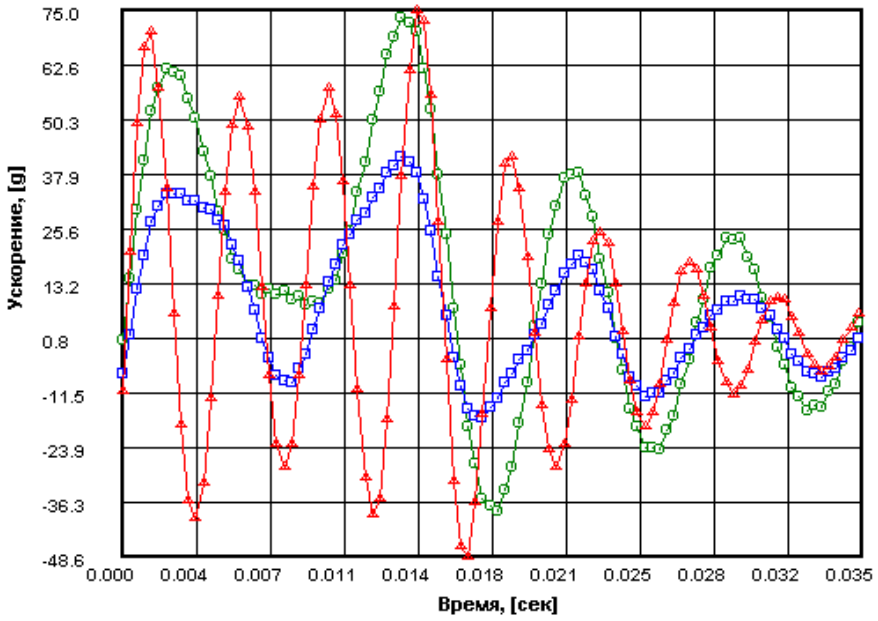


Рис. 2.1.3.6. Зависимость ударного ускорения пульта от времени (используются виброизоляторы типа М) по трем осям

Выводы.

Расчеты показали, что технические требования на пульт выполняются: 1) в диапазоне частот 1…15 Гц нет резонансов; 2) виброускорения в конструкции пульта не превышают максимально

допустимое ускорение ЭРИ при вибрационном воздействии; 3) ускорения в конструкции пульта при ударном воздействии не превышают максимально допустимое ускорение ЭРИ при ударном воздействии.

Однако лучшие механические характеристики пульта дают виброизоляторы типа М (взамен типа И): более высокие резонансные частоты и более низкие значения ускорений. Поэтому рекомендуется для улучшения механических характеристик пульта использовать виброизоляторы типа М: 120АКСС-М (снизу) и 160АКСС-М (сверху).

2.1.4. Проведение расчетов воздействия сейсмического удара на изделие ВК, размещенное в стойке

Задача расчета.

Моделирование стойки 037 с целью идентификации параметров виброизоляторов, идентификация значений коэффициентов жёстокости и коэффициентов механических потерь по трем осям виброизоляторов, моделирование стойки ВК с целью оценки стойкости с использованием идентифицированных параметров виброизоляторов стойки 037.

Исходные данные:

сборочные чертежи ВК с амортизационными платформами (в эскизном исполнении);

копии осциллограмм, полученных в процессе натурных испытаний прототипов стойки 037;

основные параметры воздействия сейсмического удара:

длительность – 30-50 мсек;

амплитуда – 20g +/- 15 %;

количество полуволн – 3.

1. Моделирование стойки 037 с целью идентификации параметров виброизоляторов.

1.1. В подсистеме АСОНИКА-В создается новая модель (рис. 2.1.4.1) с параметрами: базовое x = 0 мм, базовое y = 0 мм, базовое z = 0 мм; ширина x = 800 мм, длина y = 600 мм, высота z = 800 мм (так как центр тяжести на высоте 400 мм); масса = 170 кг; масштаб системы 0,01; масштаб изображения на экране 300.

1.2. Параметры виброизоляторов для модели стойки (рис. 2.1.4.1).

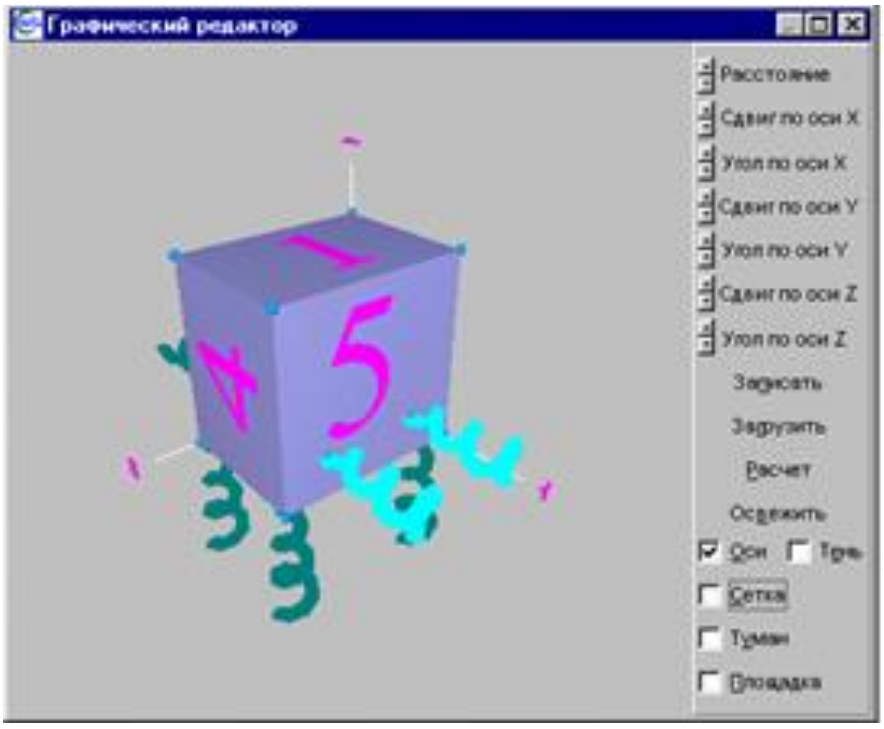


Рис. 2.1.4.1. Модель стойки 037 с виброизоляторами

Сторона объекта 2:
x = 50 мм, y = 50 мм, z = 0 мм;
J1 = 0,001, J2 = 0,001, S = 0,001 (одинаково для всех);
коэффициент механических потерь по осям x = 0,01, y = 0,01, z = 0,01;
жёсткость по осям x = 10000 Н/м, y =10000 Н/м, z = 10000 Н/м.
x = 100 мм, y = 550 мм, z = 0 мм;
коэффициент механических потерь по осям x = 0,01, y = 0,01, z = 0,01;
жёсткость по осям x =10000 Н/м, y = 10000 Н/м, z = 10000 Н/м.
x = 750 мм, y = 50 мм, z = 0 мм;
коэффициент механических потерь по осям x = 0,01, y = 0,01, z = 0,01;
жёсткость по осям x = 10000 Н/м, y = 10000 Н/м, z = 10000 Н/м.
x = 750 мм, y = 550 мм, z =0 мм;
коэффициент механических потерь по осям x = 0,01, y = 0,01, z = 0,01;
жёсткость по осям x = 10000 Н/м, y = 10000 Н/м, z = 10000 Н/м.
Сторона объекта 5:
x = 200 мм, y = 600 мм, z = 200 мм;
коэффициент механических потерь по осям x = 0,01, y = 0,01, z = 0,01;
жёсткость по осям x = 10000 Н/м, y =10000 Н/м, z =10000 Н/м.
x = 600 мм, y = 600 мм, z = 200 мм;
коэффициент механических потерь по осям x = 0,01, y = 0,01, z = 0,01;
жёсткость по осям x =10000 Н/м, y = 10000 Н/м, z = 10000 Н/м.
Сторона объекта 6:
x = 200 мм, y = 0 мм, z = 200 мм;
коэффициент механических потерь по осям x = 0,01, y = 0,01, z = 0,01;
жёсткость по осям x = 10000 Н/м, y = 10000 Н/м, z = 10000 Н/м.
x = 600 мм, y = 0 мм, z = 200 мм;

коэффициент механических потерь по осям x = 0,01, y = 0,01, z = 0,01;
жёсткость по осям x = 10000 Н/м, y = 10000 Н/м, z = 10000 Н/м.

1.3. Параметры заданного воздействия сейсмического удара для модели – см. рис. 2.1.4.2, 2.1.4.3.

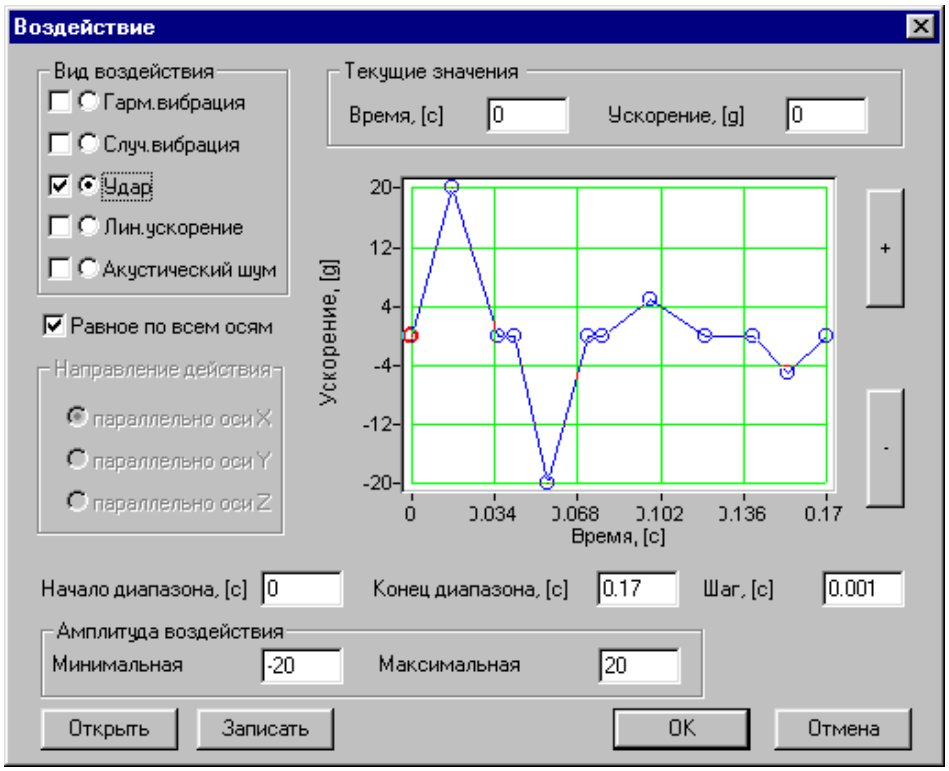


Рис. 2.1.4.2. Сейсмическое воздействие на стойку по вертикали

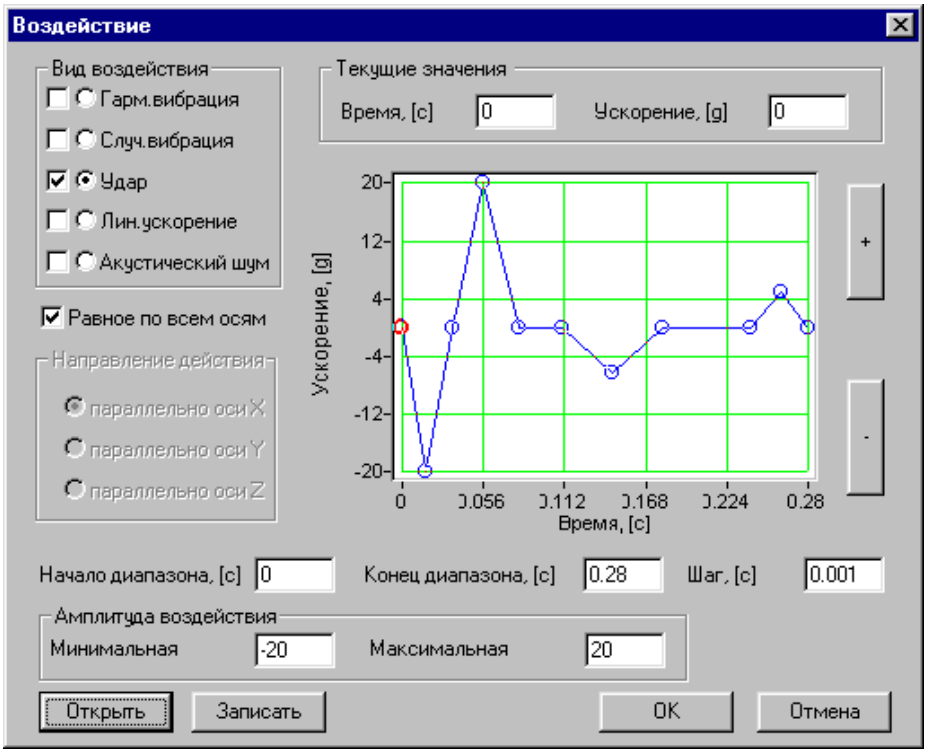
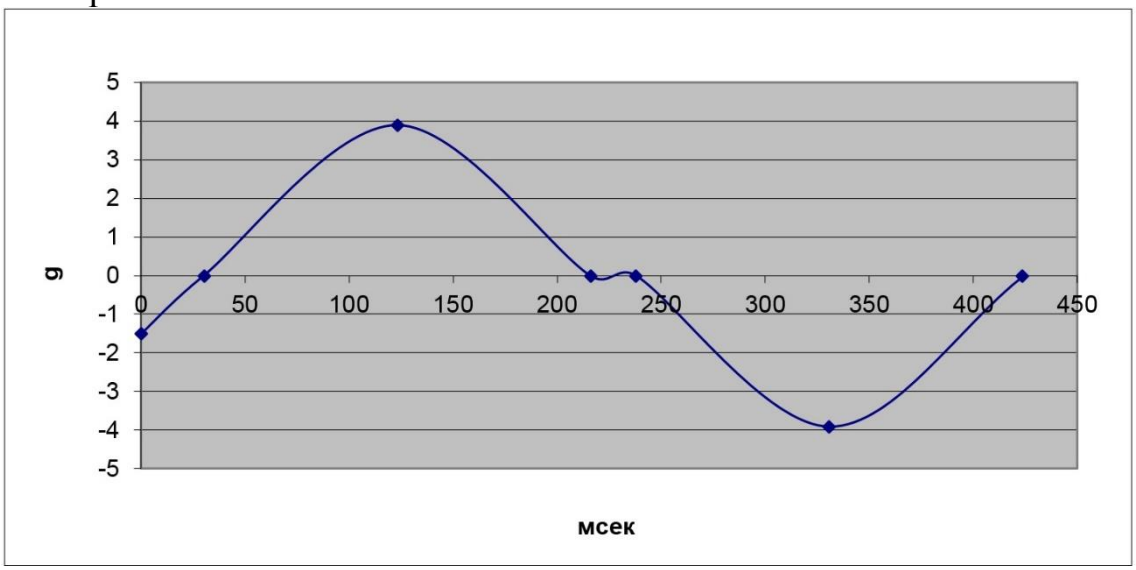


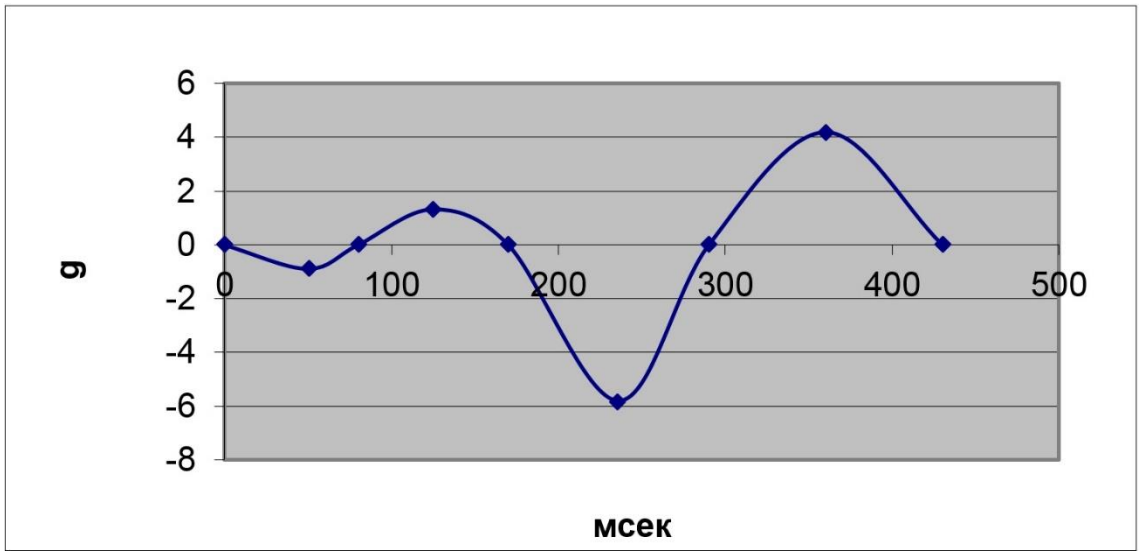
Рис. 2.1.4.3. Сейсмическое воздействие на стойку по горизонтали

2. Идентификация значений коэффициентов жёстокости и коэффициентов механических потерь по трем осям виброизоляторов

На рис. 2.1.4.4а, 2.1.4.4б показаны графики выходных характеристик (зависимость ускорения от времени), полученные экспериментально.



а)



б)

Рис. 2.1.4.4. Экспериментальные зависимости для стойки: а – по вертикали; б – по горизонтали

В результате решения задачи идентификации получаются следующие результаты.

Сторона объекта 2:

x = 50 мм, y = 50 мм, z = 0 мм;

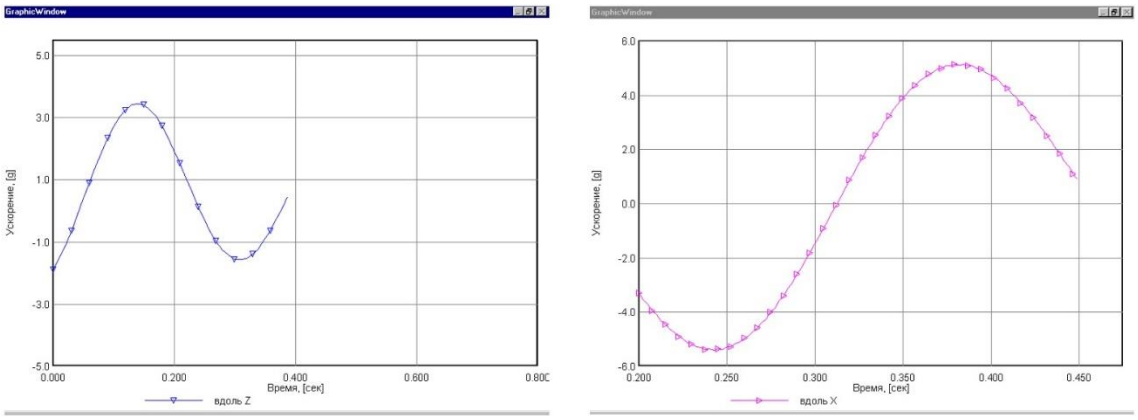
коэффициент механических потерь по осям x = 0,09, y = 0,09, z = 0,09;

жёсткость по осям x = 10000 Н/м, y = 430 Н/м, z = 40000 Н/м.

x = 100 мм, y = 550 мм, z = 0 мм;

коэффициент механических потерь по осям x = 0,09, y = 0,09, z = 0,09;
жёсткость по осям x = 430 Н/м, y = 10000 Н/м, z = 40000 Н/м.
x = 750 мм, y = 50 мм, z = 0 мм;
коэффициент механических потерь по осям x = 0,09, Y = 0,09, z = 0,09;
жёсткость по осям x = 430 Н/м, y = 10000 Н/м, z = 40000 Н/м.
x = 750 мм, y = 550 мм, z = 0 мм;
коэффициент механических потерь по осям x = 0,09, y = 0,09, z = 0,09;
жёсткость по осям x = 10000 Н/м, y =430 Н/м, z = 40000 Н/м.
Сторона объекта 5:
x = 200 мм, y = 600 мм, z = 200 мм;
коэффициент механических потерь по осям x = 0,09, y = 0,09, z = 0,09;
жёсткость по осям x = 430 Н/м, y = 430 Н/м, z = 40000 Н/м.
x = 600 мм, y = 600 мм, z = 200 мм;
коэффициент механических потерь по осям x = 0,09, y = 0,09, z = 0,09;
жёсткость по осям x = 430 Н/м, y = 430 Н/м, z = 40000 Н/м.
Сторона объекта 6:
x = 200 мм, y = 0 мм, z = 200 мм;
коэффициент механических потерь по осям x = 0,09, y = 0,09, z = 0,09;
жёсткость по осям x = 430 Н/м, y = 430 Н/м, z = 40000 Н/м.
x = 600 мм, y = 0 мм, z = 200 мм;
коэффициент механических потерь по осям x = 0,09, y = 0,09, z = 0,09;
жёсткость по осям x = 430 Н/м, y = 430 Н/м, z = 40000 Н/м.

На рис. 2.1.4.5 показаны графики выходных характеристик (зависимость ускорения от времени), полученные на основе идентифицированных параметров виброизоляторов.



а) *б)*

Рис. 2.1.4.5. Расчетные зависимости для стойки после идентификации: а – по вертикали; б – по горизонтали

Итак, в результате решения задачи идентификации получены значения коэффициентов механических потерь и коэффициентов жесткости всех используемых виброизоляторов по трем осям. Подстановка полученных коэффициентов в модель стойки позволила получить выходные характеристики, близкие к экспериментальным.

Таким образом, идентифицированные параметры могут быть использованы для дальнейших расчетов стойки ВК 600.

3. Моделирование стойки ВК-600 с целью оценки стойкости к сейсмическому удару.

3.1. В подсистеме АСОНИКА-В создается новая модель (рис. 2.1.4.6) с параметрами:

базовое x = 0 мм, базовое y = 0 мм, базовое z = 0 мм;

ширина x = 800 мм, длина y = 600 мм, высота z = 1200 мм (так как центр тяжести на высоте 600 мм);

масса = 279 кг.

масштаб системы 0,01;

масштаб изображения на экране 300.

3.2. Вводятся параметры виброизоляторов модели 037 для модели стойки ВК (рис. 2.1.4.6).

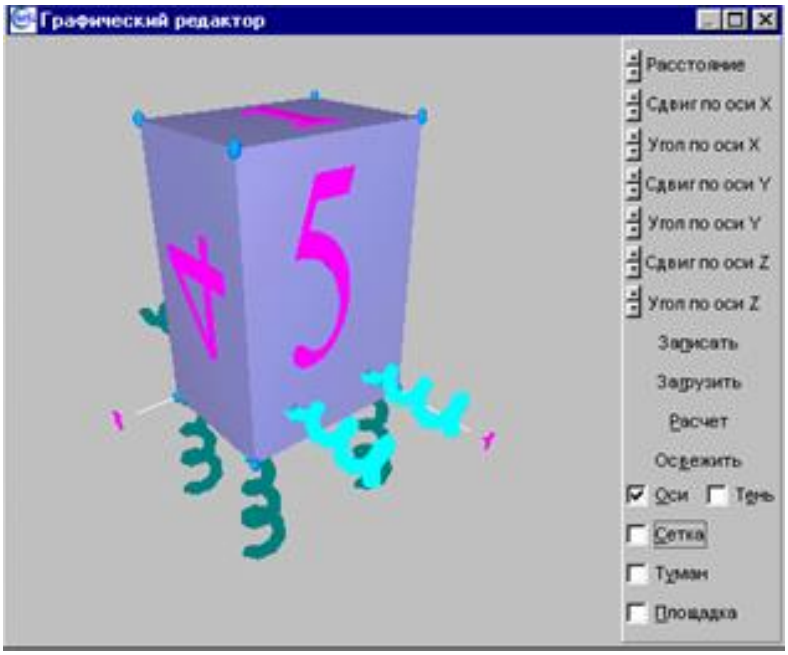
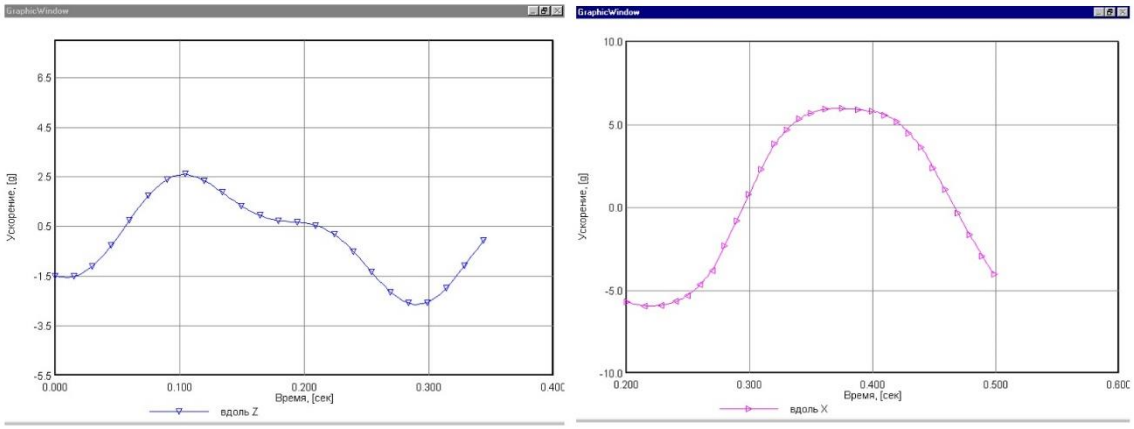


Рис. 2.1.4.6. Модель стойки ВК с виброизоляторами

3.3. Вводятся заданное воздействие для модели стойки ВК: используются графики, приведенные на рис. 2.1.4.2 и рис. 2.1.4.3 (по вертикали и горизонтали соответственно).

Результаты моделирования.

На рис. 2.1.4.7а, 2.1.4.7б показаны графики выходных характеристик (зависимость ускорения от времени) для стойки ВК, полученные на основе идентифицированных параметров виброизоляторов.



а) *б)*

Рис. 2.1.4.8. Расчетные зависимости для стойки ВК 600: а – по вертикали; б – по горизонтали

Выводы.

В результате решения задачи моделирования стойки ВК на воздействие сейсмического удара на основе идентифицированных для стойки 037 коэффициентов механических потерь и коэффициентов жесткости всех используемых виброизоляторов по трем осям получено, что максимальные ускорения по вертикали составляют 2,5g (в стойке 037 3,9g); по горизонтали 7,5g (в стойке 037 5,8g).

2.2. Расчеты блоков на виброизоляторах

2.2.1. Расчет устойчивости и прочности конструктивных элементов изделия «Л-01» к воздействию механических воздействующих факторов: блок УПМ

Задача расчета.

Провести моделирование на ЭВМ механических процессов с помощью системы АСОНИКА-В блока УПМ.

Данные для расчета:

сборочный чертеж конструкции;

вибрация синусоидальная: диапазон частот, Гц – 5...35; амплитуда ускорения, м/с^2 (g) – 10 (1);

механический удар одиночного действия: пиковое ударное ускорение, м/с^2 (g) – 1000 (100); длительность действия ударного ускорения, мс – 0,5...2;

механический удар многократного действия (имитация вибраций при транспортировании): пиковое ударное ускорение, м/с^2 (g) – 100 (10); длительность действия ударного ускорения, мс – 6.

Анализ исходных данных.

Эскиз конструкции введенного с помощью графического интерфейса системы АСОНИКА, представлен на рис. 2.2.1.1.

Зависимость входного ускорения гармонической вибрации от частоты представлена на рис. 2.2.1.2.

Зависимость входного механического удара одиночного действия от времени представлена на рис. 2.2.1.3.

Зависимость входного механического удара многократного действия от времени представлена на рис. 2.2.1.4.

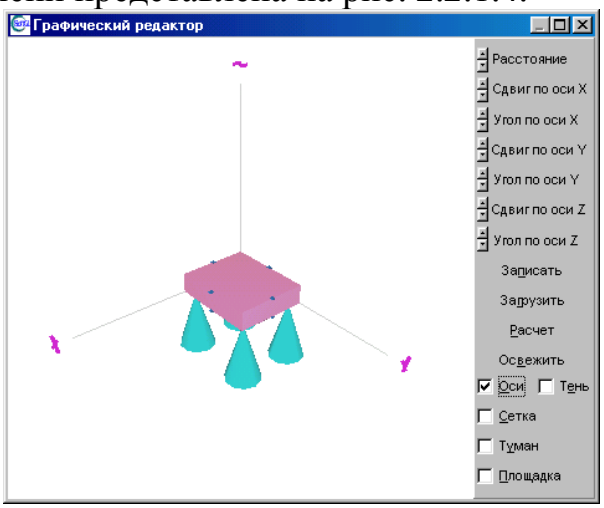


Рис. 2.2.1.1. Графическое изображение рассчитываемой конструкции, в виде конусов показаны виброизоляторы

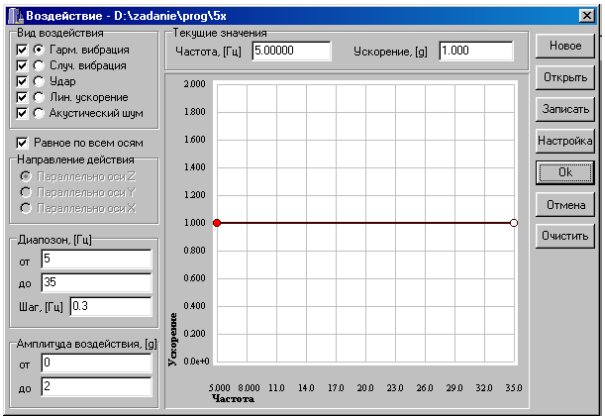


Рис. 2.2.1.2. Зависимость входного ускорения гармонической вибрации от частоты

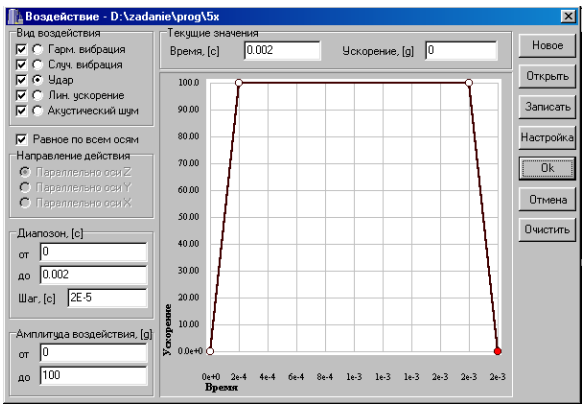


Рис. 2.2.1.3. Зависимость входного механического удара одиночного действия от времени

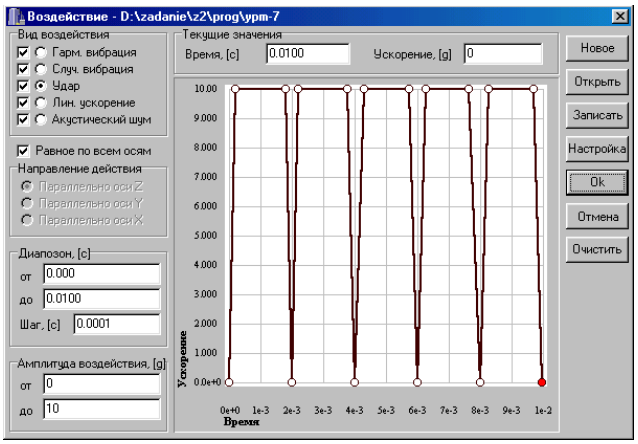


Рис. 2.2.1.4. Зависимость входного механического удара многократного действия от времени

Из справочной литературы были получены следующие параметры виброизолятора АД-1 - коэффициенты жесткости и КМП по трем направлениям (табл. 2.2.1.1).

Таблица 2.2.1.1

Параметры виброизолятора АД-1

Направление оси координат	Коэффициент жесткости, Н/м	КМП, отн. ед.
X	1500	0,19
Y	1500	0,19
Z	1500	0,19

Результаты расчета.

1. Расчет системы виброизоляции стеллажа при воздействии гармонической вибрации (масса равна 7 кг).

Результаты моделирования системы виброизоляции по оси X приведены на рис. 2.2.1.5. Можно вывести аналогичные результаты по осям Y и Z.

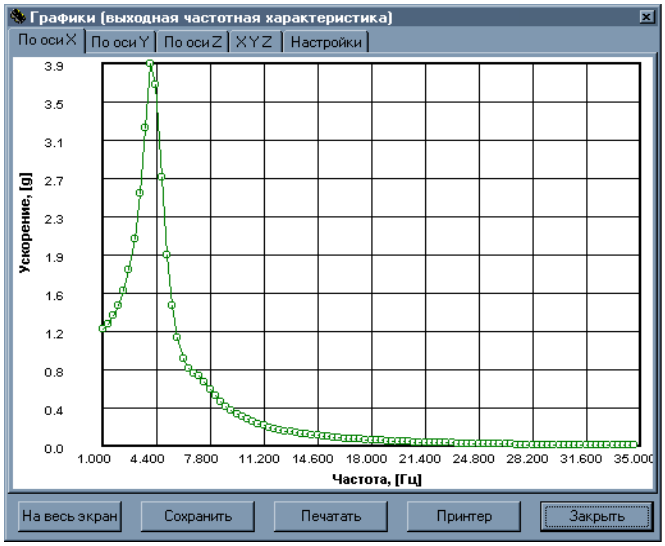


Рис. 2.2.1.5. Зависимость ускорения блока от частоты при воздействии гармонической вибрации по оси X в диапазоне до 3 Гц

Как видно из результатов моделирования, при воздействии гармонической вибрации по оси X на частоте 3,7 Гц амплитуда виброускорения равна 3,9g, по оси Y на частоте 4,1 Гц амплитуда виброускорения равна 3,8g; по оси Z на частоте 4,1 Гц амплитуда виброускорения равна 3,6g. Начиная с 5 Гц, амплитуда виброускорения значительно падает, что позволяет получить эффект от использования виброизоляторов.

2. Расчет системы виброизоляции стеллажа при воздействии механического удара одиночного действия.

Результаты моделирования системы виброизоляции по оси X приведены на рис. 2.2.1.6. Результаты моделирования по осям Y и Z аналогичны. Результаты моделирования показывают, что при воздействии удара ускорение по оси X не превышает 63g, Y не превышает 63g, по оси Z не превышает 62g. Таким образом, использование виброизоляторов позволяет ослабить ударное воздействие.

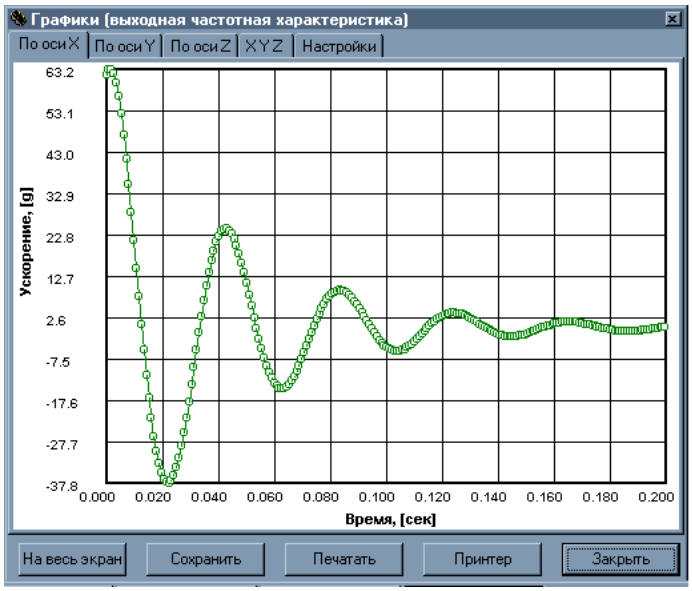


Рис. 2.2.1.6. Зависимость ускорения блока от времени при воздействии механического удара одиночного действия по оси X

3. Расчет системы виброизоляции стеллажа при воздействии механического удара многократного действия.

Результаты моделирования системы виброизоляции по оси X приведены на рис. 2.2.1.7. Результаты моделирования по осям Y и Z аналогичны. Результаты моделирования показали, что при воздействии удара ускорение по оси X не превышает 26g, по оси Y не превышает 26g, по оси Z не превышает 24g. Таким образом, при использовании виброизоляторов ударные ускорения несколько возрастают.

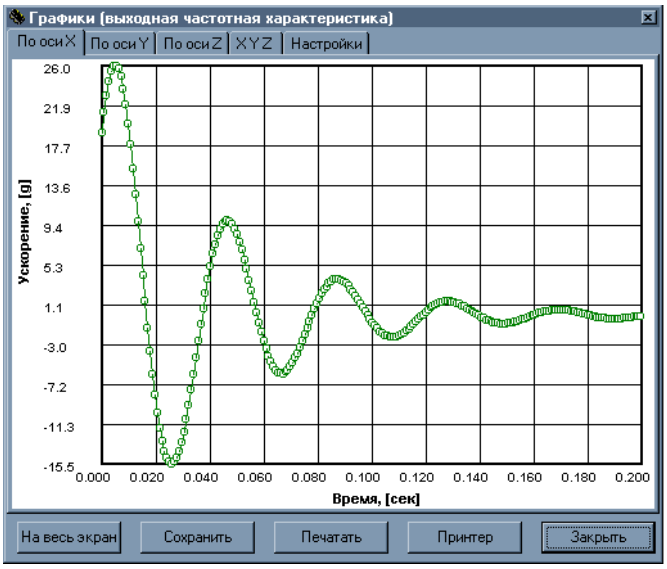


Рис. 2.2.1.7. Зависимость ускорения блока от времени при воздействии механического удара многократного действия по оси X

Выводы.

Моделирование на ЭВМ механических процессов с помощью системы АСОНИКА-В блока УПМ показало, что использование виброизоляторов позволяет значительно снизить нагрузку, приходящуюся на блок, в рабочем диапазоне частот. Поэтому, если даже в конструкции элементов, входящих в состав блока УПМ, будут наблюдаться резонансы, это практически не приведет к перегрузкам.

2.2.2. Идентификация параметров амортизаторов с помощью системы АСОНИКА-В

Задача расчета.

Используя результаты испытаний на вибрацию макета картографа, установленного на амортизаторах АТРМ 20/70-4, идентифицировать с помощью системы АСОНИКА-В следующие параметры амортизатора: коэффициенты жесткости и коэффициенты механических потерь (КМП) по трем направлениям.

Данные для расчета:

эскиз конструкции макета картографа (рис. 2.2.2.1);

масса макета: 5,5 кг;

габаритные размеры: 300 × 152 × 60 мм;

результаты испытаний макета на воздействие гармонической вибрации в трех направлениях: по осям X, Y, Z (табл. 2.2.2.1).

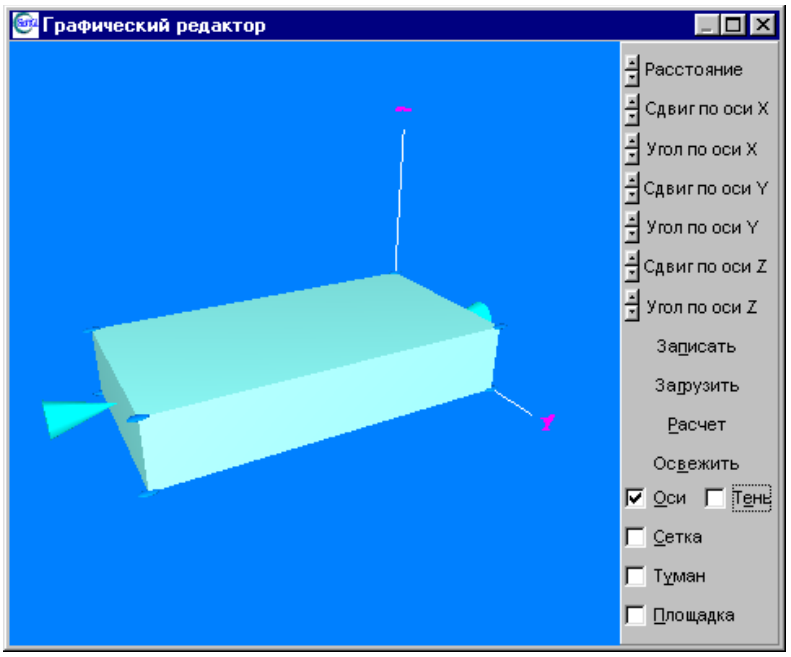


Рис. 2.2.2.1. Эскиз конструкции макета картографа

Таблица 2.2.2.1

Результаты испытаний макета

Частота вибрации, Гц	Амплитуда виброускорения, м/с² (g)	Показание датчика, м/с² (g), при направлении вибрации		
		X	Y	Z
20	19,6 (2)	2,95	2,7	2,9
25	- " -	3,0	3,5	1,45
31,5	- " -	1,6	4,7	0,8
40	29,5 (3)	1,0	7,8	1,0
50	- " -	0,8	2,2	0,59
63	- " -	0,6	1,7	0,52
80	- " -	0,34	1,4	0,23
100	- " -	0,16	0,6	0,16
125	- " -	0,09	0,72	0,09
160	- " -	0,18	0,26	0,11
200	- " -	0,12	0,45	0,1
250	- " -	0,04	0,29	0,042
315	- " -	0,064	0,19	0,038
400	- " -	0,34	0,3	0,16
500	- " -	0,13	0,17	0,032

Анализ исходных данных.

Так как заданы разные значения входных ускорений (2g и 3g), для проведения идентификации удобнее перейти к амплитудно-частотной характеристике (АЧХ), представляющей собой частотную зависимость отношения выходного ускорения к входному. АЧХ приведена в табл. 2.2.2.2.

Таблица 2.2.2.2

АЧХ

Частота вибрации, Гц	Отношение выходного ускорения к входному, при направлении вибрации		
	X	Y	Z
20	1,47	1,35	1,45
25	1,5	1,75	0,72
31,5	0,8	2,35	0,4
40	0,33	2,6	0,33
50	0,26	0,73	0,19
63	0,20	0,56	0,17
80	0,11	0,46	0,07
100	0,05	0,2	0,05
125	0,03	0,24	0,03
160	0,06	0,087	0,036
200	0,04	0,15	0,033
250	0,013	0,097	0,014
315	0,021	0,063	0,013
400	0,113	0,1	0,053
500	0,043	0,057	0,011

Результаты расчета.

Путем идентификации были получены следующие параметры амортизатора АТРМ 20/70-4: коэффициенты жесткости и КМП по трем направлениям. Результаты идентификации приведены в табл. 2.2.2.3.

Таблица 2.2.2.3

Параметры амортизатора АТРМ 20/70-4, полученные по результатам идентификации

Направление оси координат	Коэффициент жесткости, Н/м	КМП, отн. ед.
X	50000	0,6
Y	160000	0,27
Z	29000	0,5

Результаты расчета макета по параметрам табл. 2.2.2.3 приведены на рис. 2.2.2.2 – 2.2.2.4.

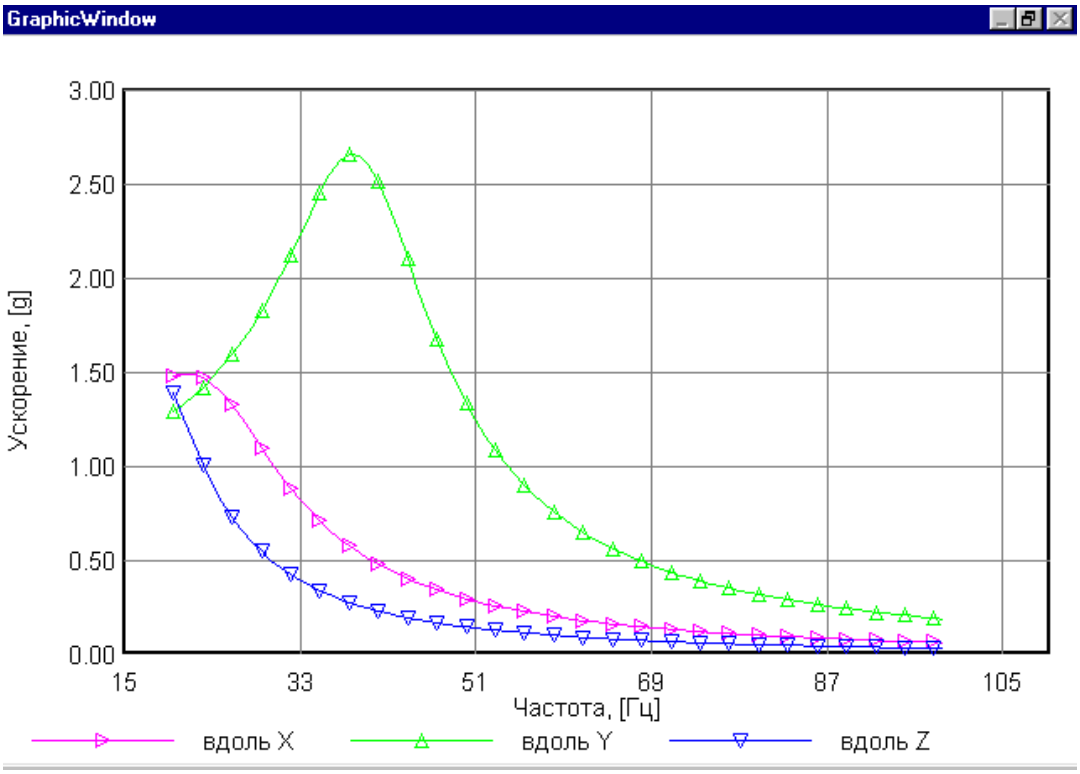


Рис. 2.2.2.2. АЧХ макета в диапазоне 20…100 Гц

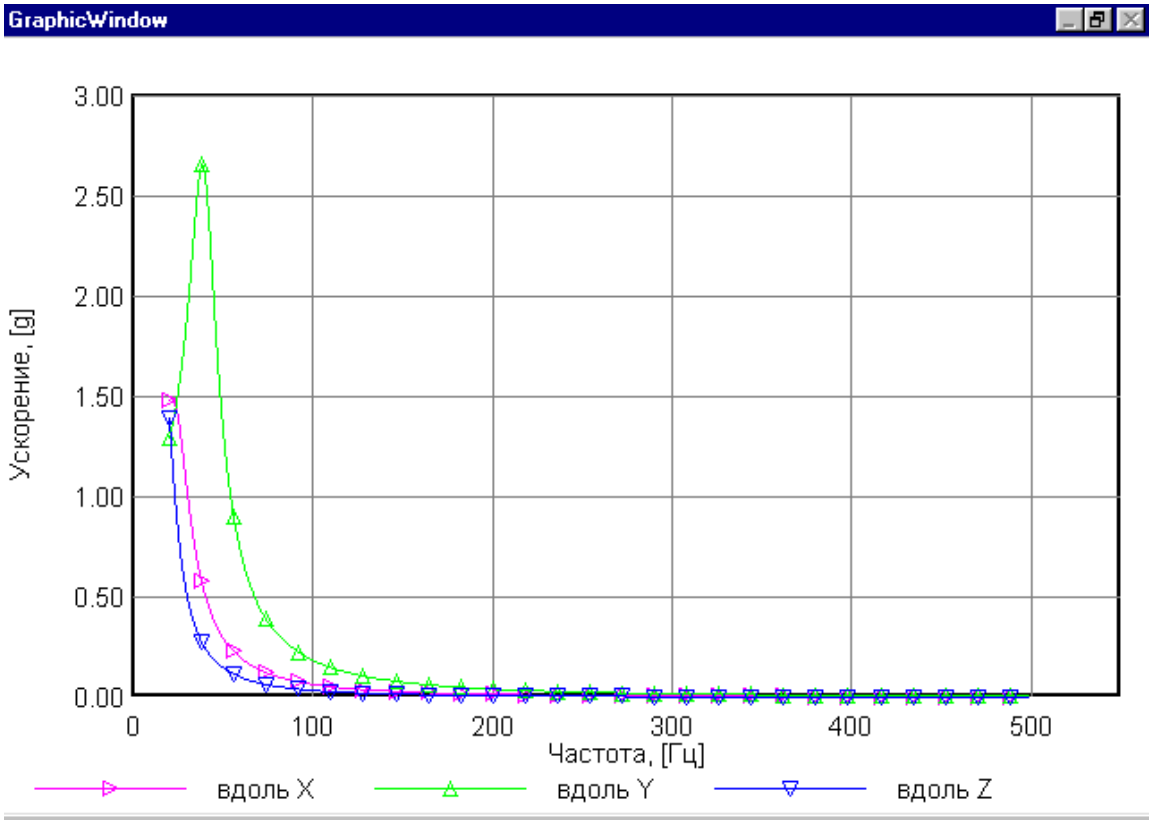


Рис. 2.2.2.3. АЧХ макета в диапазоне 20…500 Гц

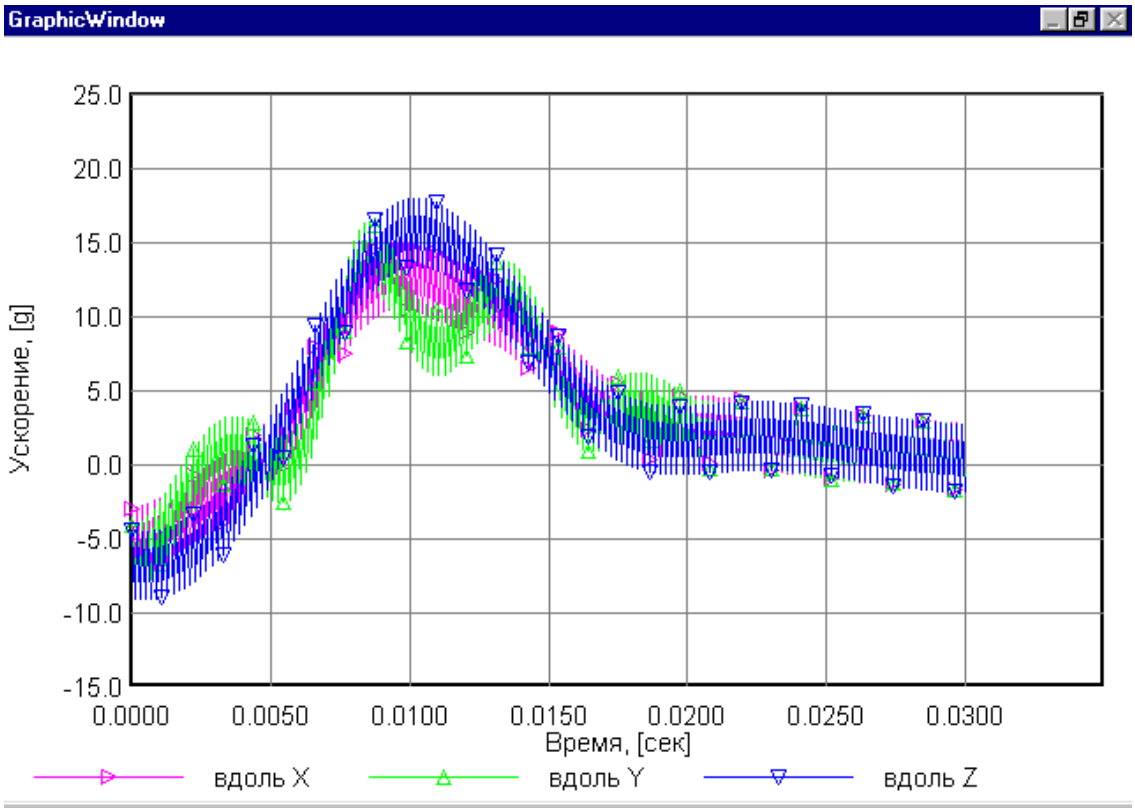


Рис. 2.2.2.4. Результаты моделирования макета на воздействие удара

Выводы.

Полученные путем идентификации параметры амортизатора АТРМ 20/70-4 приведены в табл. 2.2.2.3 и могут быть использованы при моделировании на ЭВМ с помощью системы АСОНИКА конструкций приборов, установленных на амортизаторах данного типа, при механических воздействиях.

2.2.3. Моделирование параметров, количества и мест расположения виброизоляторов в радиоэлектронной аппаратуре

Задача расчета.

На основе моделирования предложить параметры, количество и места расположения виброизоляторов, которые необходимо ввести в конструкцию блока для обеспечения требований по стойкости при вибрационных и ударных воздействиях: ускорение блока на виброизоляторах должно быть не выше 2g при вибрационных воздействиях и не выше 10g при ударных воздействиях.

Данные для расчета:

сборочный чертеж конструкции блока;

масса элементов конструкции;

параметры вибрации: 6g в диапазоне 10...500 Гц;

параметры удара: 20g при длительности импульса 0,5...2,0 мс.

Анализ исходных данных.

Эскиз конструкции блока, введенного с помощью графического интерфейса, представлен на рис. 2.2.3.1.

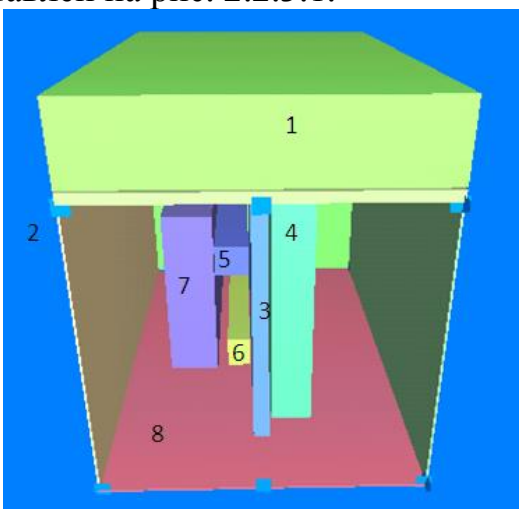


Рис. 2.2.3.1. Графическое изображение рассчитываемого блока

В состав блока входят следующие устройства:

1 – лицевая панель с дисплеем (1,5 кг);
2 – рама (300 г);
3 – кронштейн (1,5 кг);
4 – компьютерная плата (200 г);
5 – плата 1 (100 г);
6 – плата 2 (100 г);
7 – приемное устройство (400 г);
8 – кожух (1,5 кг).

Результаты расчета.

Путем перебора были получено следующее решение, обеспечивающее заданные требования по стойкости:

необходимо на передней и задней стенке кожуха расположить по 2 виброизолятора (всего – 4) с коэффициентами жесткости по всем осям 1100 Н/м (рис. 2.2.3.2).

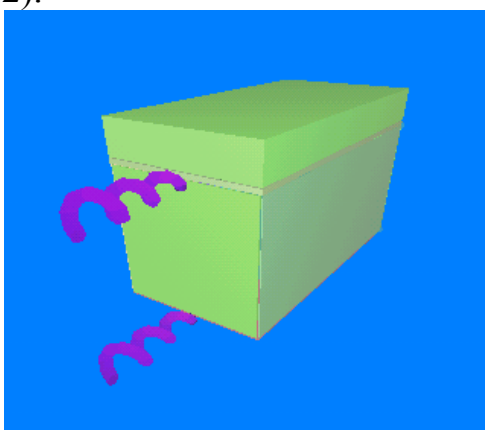


Рис. 2.2.3.2. Расположение виброизоляторов

На рис. 2.2.3.3 и рис. 2.2.3.4 приведены рассчитанные выходные механические характеристики блока на виброизоляторах.

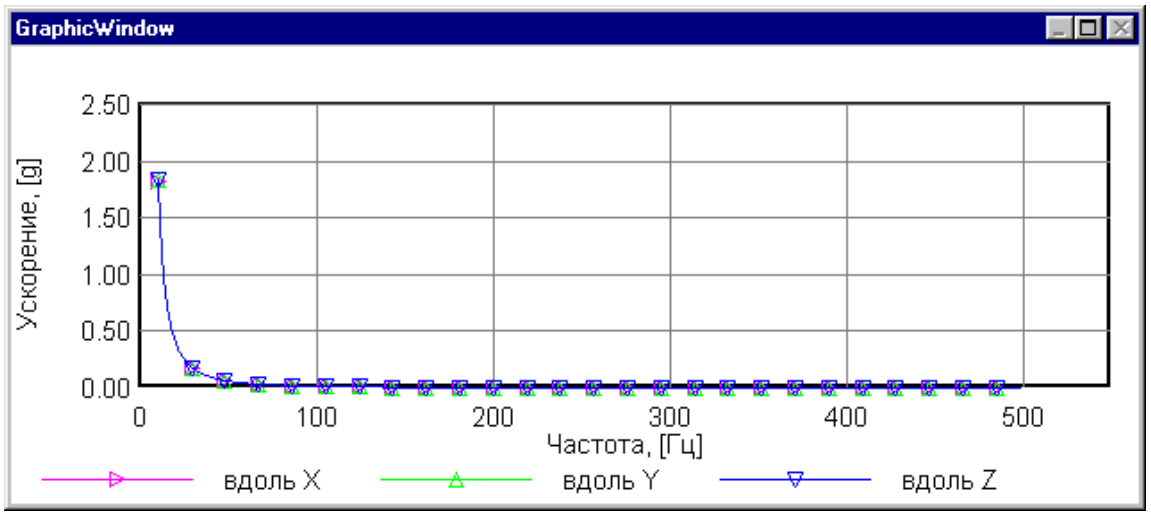


Рис. 2.2.3.3. Зависимость ускорения блока от частоты при воздействии гармонической вибрации

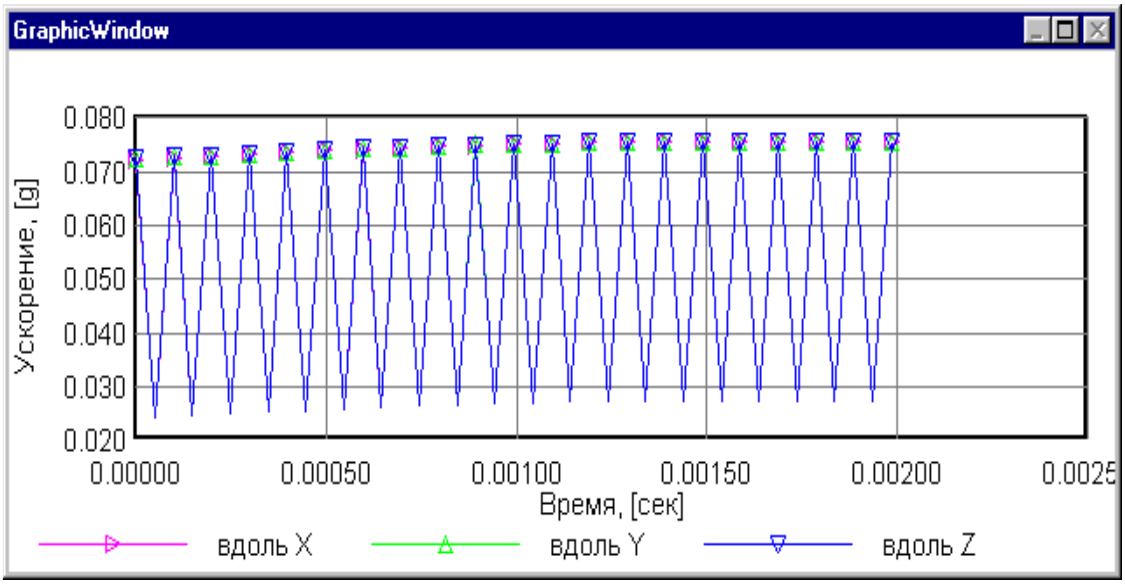


Рис. 2.2.3.4. Зависимость ускорения блока от времени при воздействии удара

Как видно из этих рисунков, требования по стойкости выполняются: ускорение вибрации не превышает 2g и ускорение удара не превышает 10g. Таким образом, задача расчета решена – предложены параметры, количество и места расположения виброизоляторов. Для того чтобы при воздействии гармонической вибрации обеспечивался диапазон от 10 Гц, суммарная жесткость по всем осям не должна превышать 4400 Н/м.

Необходимо подобрать типы изготавливаемых в настоящее время виброизоляторов, имеющих наиболее близкие к полученным характеристики.

К таким виброизоляторам можно отнести АД-0,6 - пружинные виброизоляторы с воздушным демпфированием: коэффициенты жесткости Kz = 1200 Н/м, Kx,y = 3200 Н/м (номинальная нагрузка 6 Н, прогиб 5,5 мм). Однако здесь на пределе нагрузка: вес блока составляет 5,5 кг × 9,8 м/с^2 = 55 Н, а 4 виброизолятора выдержат только 4 × 6 Н = 24 Н. Таким образом, при использовании виброизоляторов АД-0,6 требования по стойкости выполняются, но не выполняются требования по номинальной нагрузке на виброизоляторы.

Если брать диапазон частот гармонической вибрации от 20 Гц, то по своим характеристикам хорошо подходит виброизолятор с фрикционным демпфированием АФД-4: Kz = 7000 Н/м, Kx,y = 5000 Н/м (номинальная нагрузка 12,5 Н, габаритные размеры 52 × 47 мм). Результаты моделирования представлены на рис. 2.2.3.5 – 2.2.2.8.

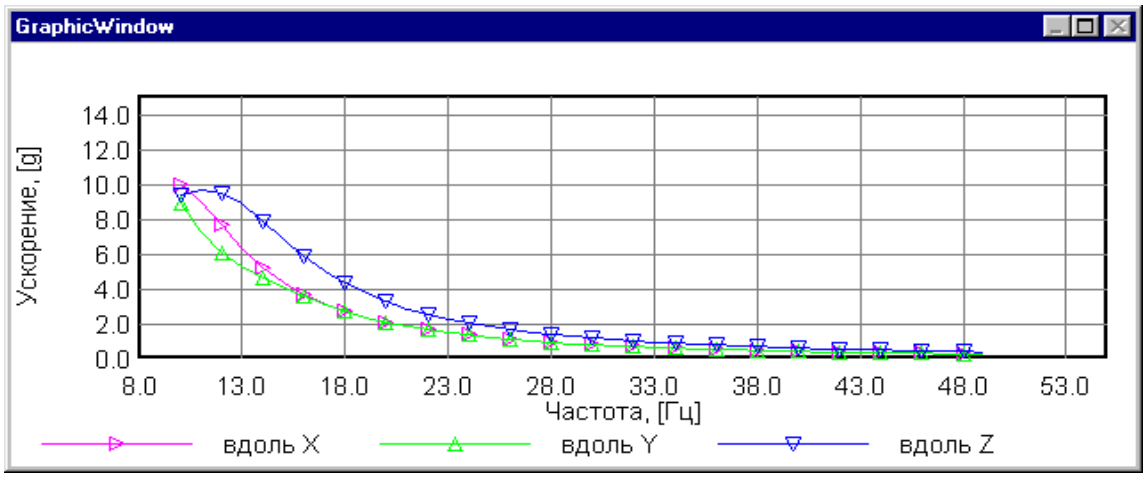


Рис. 2.2.3.5. Зависимость ускорения блока от частоты при воздействии гармонической вибрации: 4 виброизолятора АФД-4

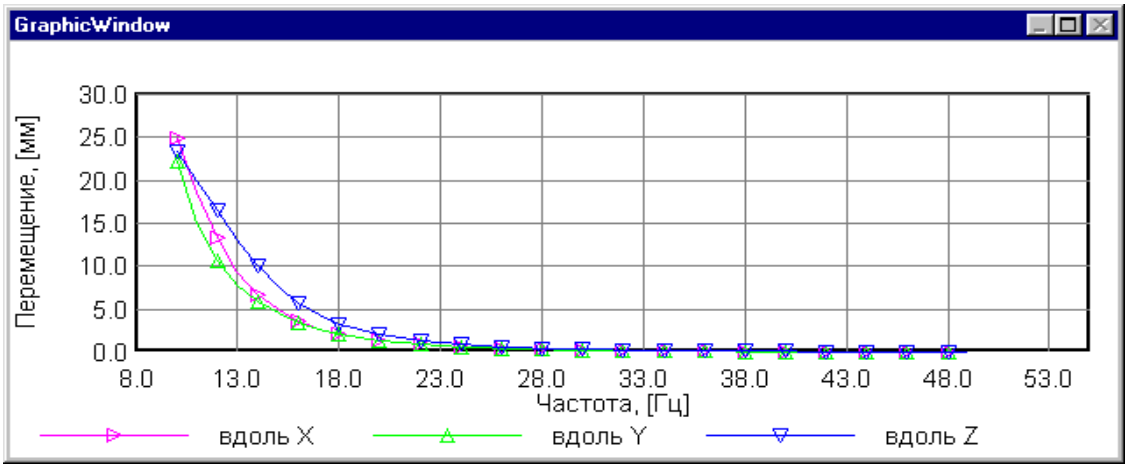


Рис. 2.2.3.6. Зависимость перемещения блока от частоты при воздействии гармонической вибрации: 4 виброизолятора АФД-4

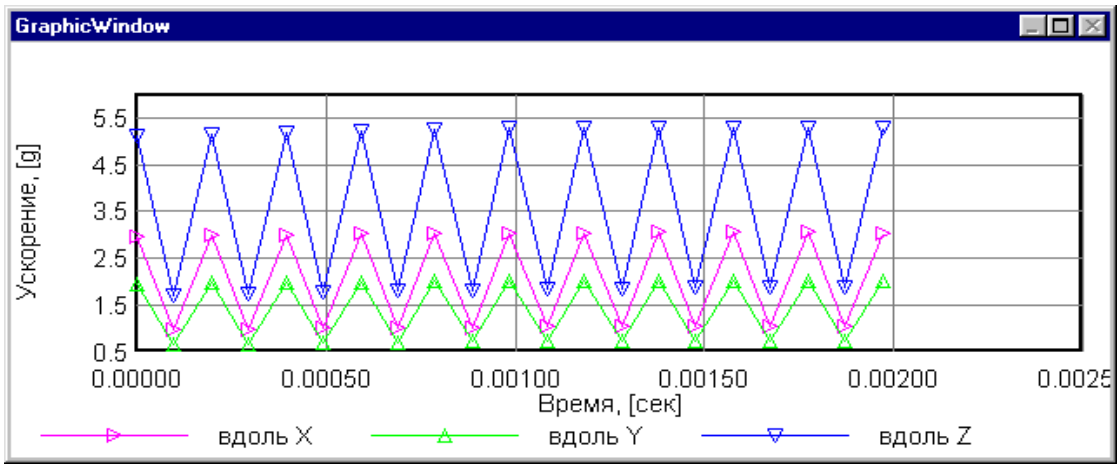


Рис. 2.2.3.7. Зависимость ускорения блока от времени при воздействии удара: 4 виброизолятора АФД-4

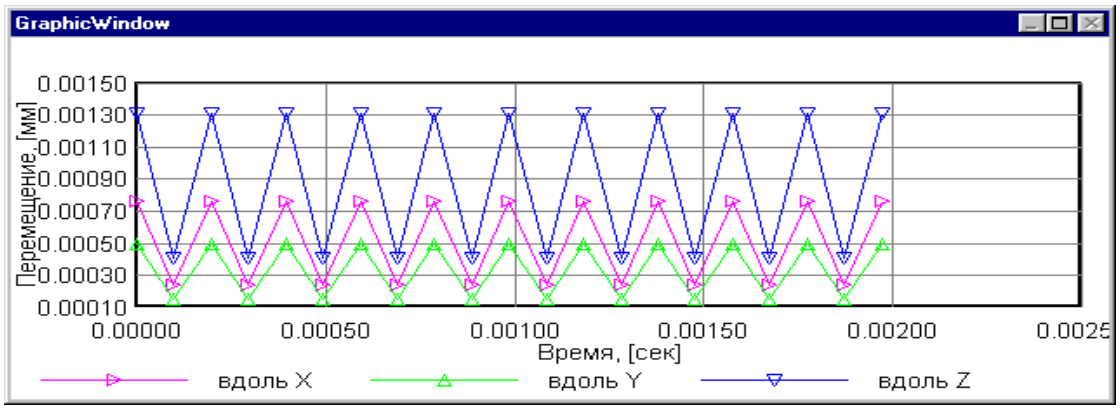


Рис. 2.2.3.8. Зависимость перемещения блока от времени при воздействии удара: 4 виброизолятора АФД-4

Выводы.

Для обеспечения требований к блоку по стойкости к вибрационным и ударным воздействиям необходимо использовать виброизоляторы суммарной жесткости по каждой оси 4400 Н/м. При этом требования по вибрационным воздействиям выполняются начиная с 10 Гц, по ударным воздействиям – во всем заданном временном интервале. Если необходимо обеспечить требования к блоку по стойкости к вибрационным воздействиям начиная с 10 Гц и ниже, нужно изготавливать новые виброизоляторы с указанными характеристиками.

Наиболее близкими по жесткостным характеристикам являются виброизоляторы типа АД и АФД.

При использовании виброизолятора типа АФД-4 требования к блоку по стойкости к вибрационным воздействиям выполняются начиная с 20 Гц, по ударным воздействиям – во всем заданном временном интервале.

2.2.4. Моделирование механических процессов в датчике крена, установленном на виброизоляторах

Задача расчета.

Провести моделирование с помощью системы АСОНИКА-В механических процессов в датчике крена, установленном на виброизоляторах. Добиться устранения резонансных частот и снижения амплитуды колебаний.

Данные для расчета:

сборочный чертеж конструкции прибора (см. эскиз на рис. 2.2.4.1);

габариты конструкции: 155 × 147 × 124,5 мм;

масса конструкции 3,5 кг;

параметры вибрации: 2-6g в диапазоне 10...500 Гц (см. график зависимости на рис. 2.2.4.2);

параметры удара: 15-25g при длительности импульса 5...15 мс (рис. 2.2.4.3).

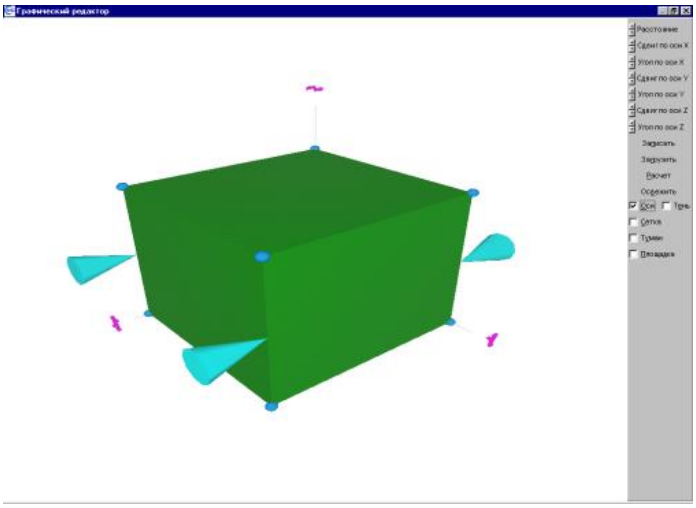


Рис. 2.2.4.1. Графическое изображение рассчитываемого прибора: в виде конусов показаны виброизоляторы – 4 шт. (1 скрыт за корпусом)

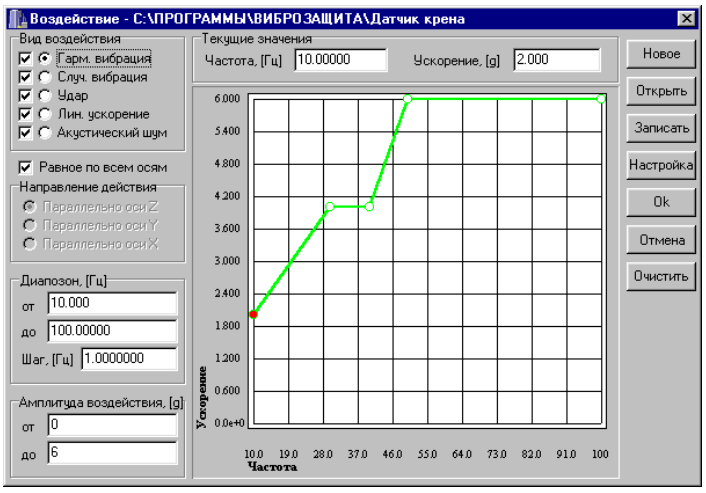


Рис. 2.2.4.2. Зависимость входного ускорения гармонической вибрации от частоты

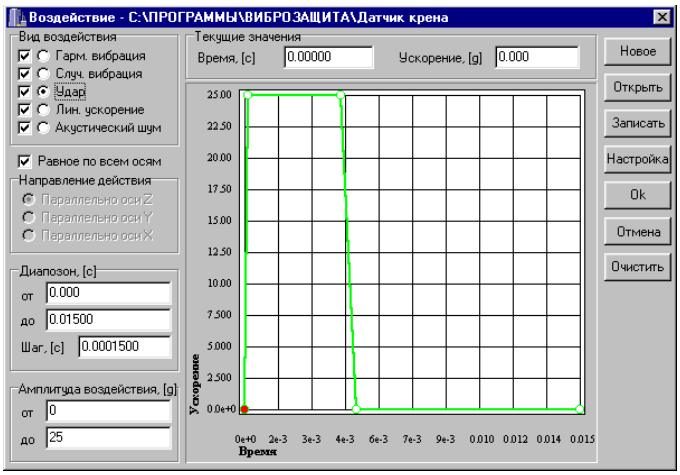


Рис. 2.2.4.3. Зависимость входного ударного воздействия от времени

Анализ исходных данных.

Из справочной литературы были получены следующие параметры виброизолятора АП-1-0,45 - коэффициенты жесткости и КМП по трем направлениям (см. табл. 2.2.4.1).

Таблица 2.2.4.1

Параметры виброизолятора АП-1-0,45

Направление оси координат	Коэффициент жесткости, Н/м	КМП, отн. ед.
X	10000	0,6
Y	10000	0,6
Z	2500	0,5

Результаты расчета.

1. Был проведен расчет прибора, установленного на 4 виброизоляторах типа АП-1-0,45 по рис. 2.2.4.1, при воздействии гармонической вибрации и удара. Результаты расчета представлены на рис. 2.2.4.4 – 2.2.4.6 (синим цветом – по осям X и Y; красным цветом – по оси Z).

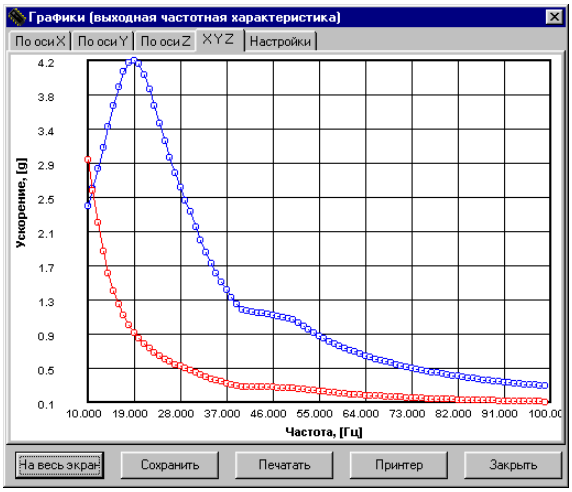


Рис. 2.2.4.4. Зависимость ускорения прибора от частоты при воздействии гармонической вибрации

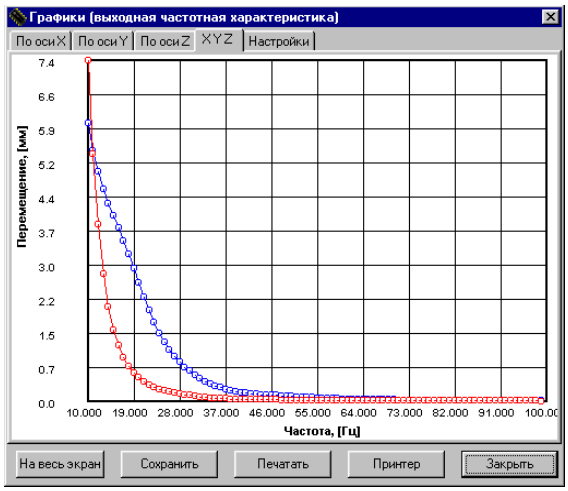


Рис. 2.2.4.5. Зависимость перемещения прибора от частоты при воздействии гармонической вибрации

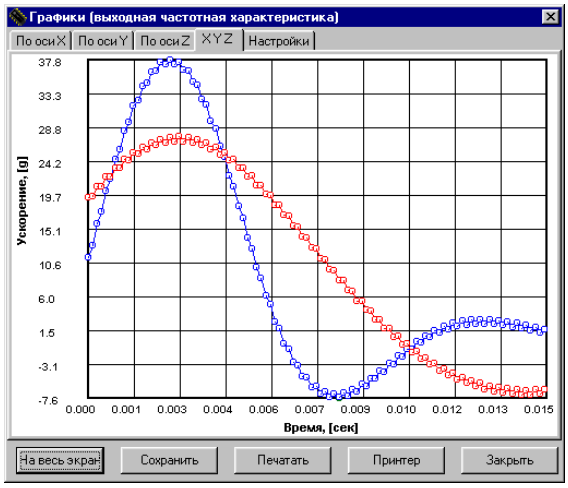


Рис. 2.2.4.6. Зависимость ускорения прибора от времени при воздействии удара

Как видно из рис. 2.2.4.4, при воздействии гармонической вибрации по осям X и Y наблюдается резонанс на частоте 19 Гц с амплитудой виброускорения 4,2g; по оси Z – резонансов нет, на частоте 10 Гц амплитуда виброускорения равна 2,9g.

Как видно из рис. 2.2.4.6, при воздействии удара ускорения прибора по осям X и Y не превышают 37,8g, по оси Z пик составляет 28g.

2. Был проведен расчет прибора, установленного на 4 виброизоляторах типа АП-1-0,45 по рис. 2.2.4.1, при воздействии гармонической вибрации и удара, но с увеличенной массой до 13,5 кг (на 10 кг). В результате удалось избавиться от резонансов по осям X и Y и значительно снизить амплитуду ускорения по оси Z (рис. 2.2.4.7), уменьшились также ударные ускорения (рис. 2.2.4.9) (синим цветом – по осям X и Y; красным цветом – по оси Z).

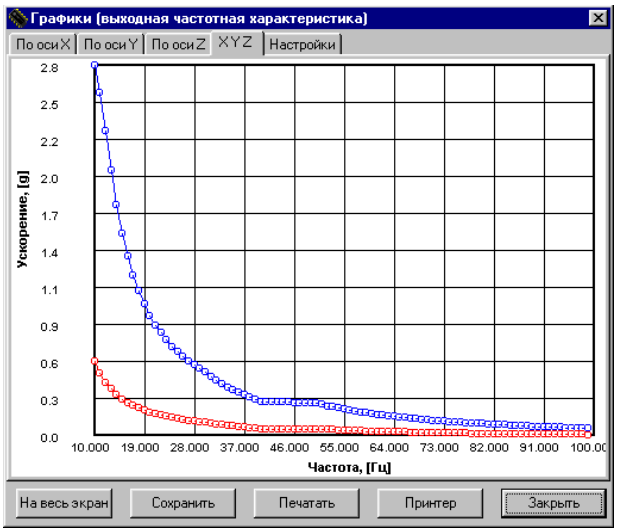


Рис. 2.2.4.7. Зависимость ускорения прибора от частоты при воздействии гармонической вибрации для 2-го варианта

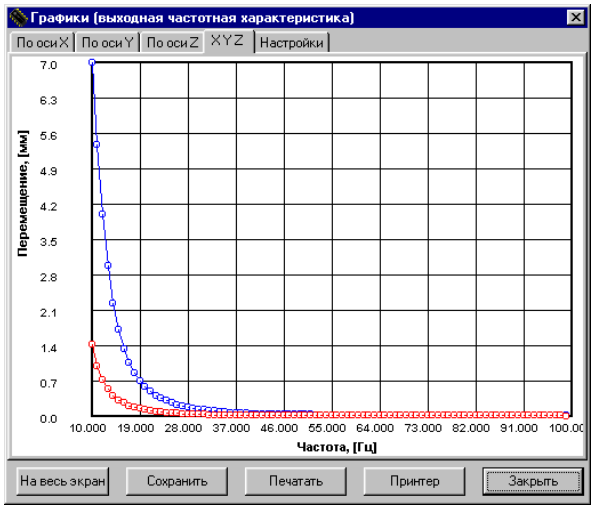


Рис. 2.2.4.8. Зависимость перемещения прибора от частоты при воздействии гармонической вибрации для 2-го варианта

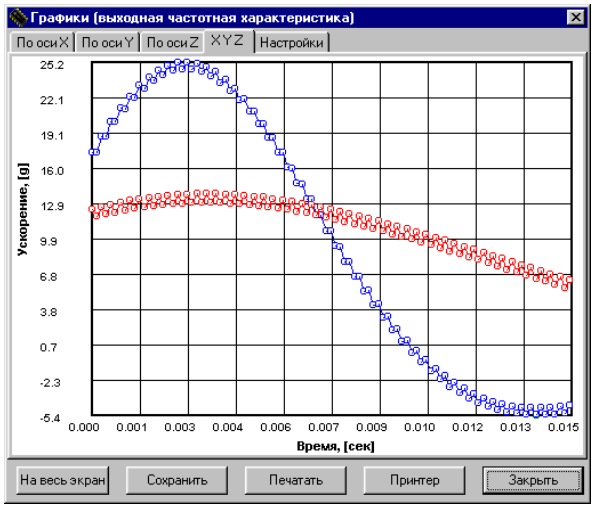


Рис. 2.2.4.9. Зависимость ускорения прибора от времени при воздействии удара для 2-го варианта

3. Был проведен расчет прибора, установленного на 4 виброизоляторах типа АП-1-0,45 по рис. 2.2.4.10 (с измененными координатами крепления виброизоляторов), при воздействии гармонической вибрации и удара. Механические характеристики как при вибации, так и при ударе значительно ухудшились (рис. 2.2.4.11 – 2.2.4.13) (синим цветом – по осям X и Y; красным цветом – по оси Z).

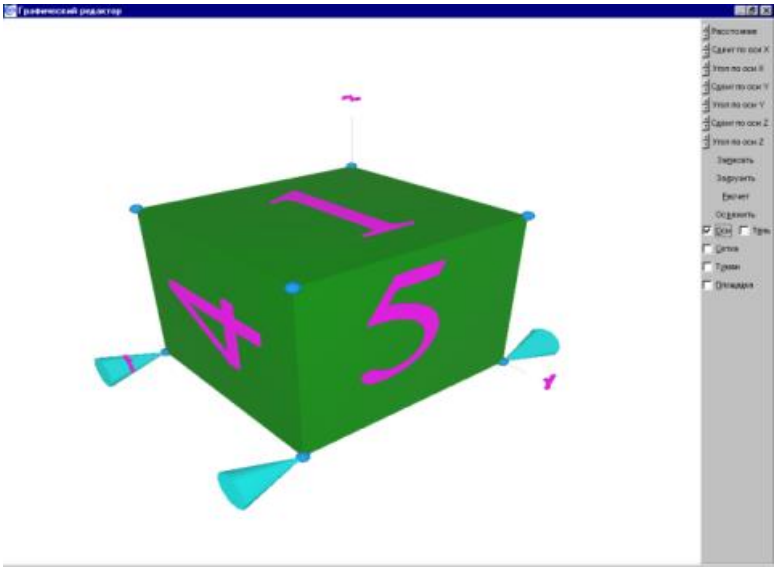


Рис. 2.2.4.10. Графическое изображение рассчитываемого прибора, в котором изменено расположение виброизоляторов (один скрыт за корпусом)

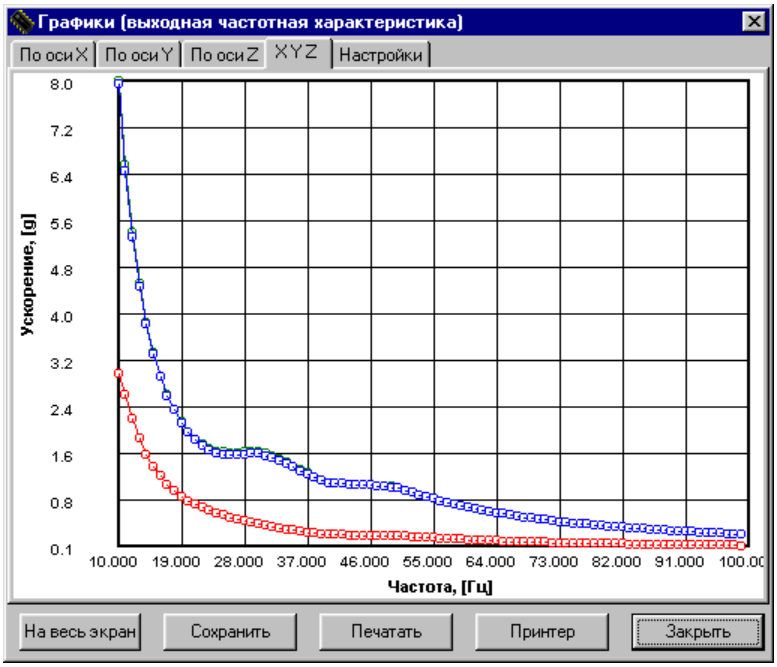


Рис. 2.2.4.11. Зависимость ускорения прибора от частоты при воздействии гармонической вибрации для 3-го варианта

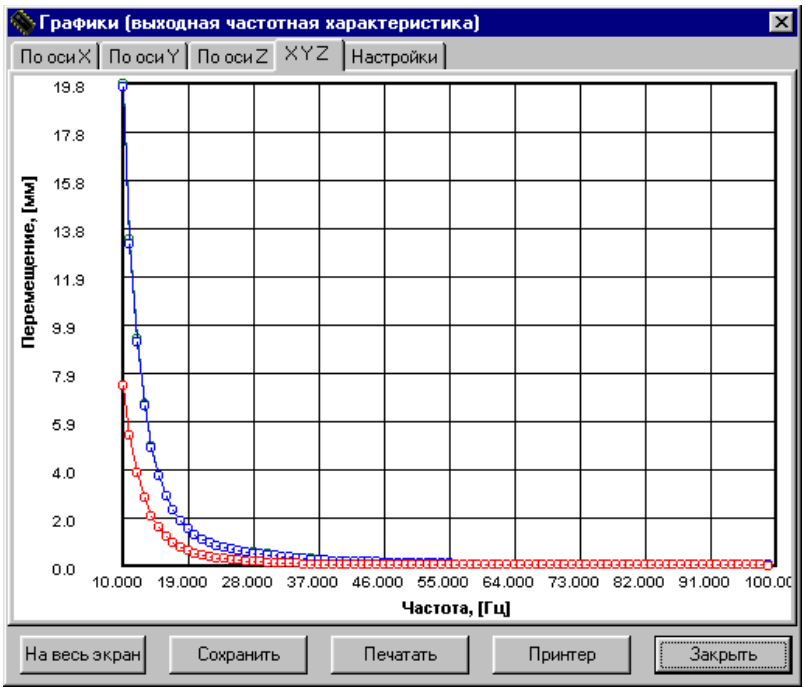


Рис. 2.2.4.12. Зависимость перемещения прибора от частоты при воздействии гармонической вибрации для 3-го варианта

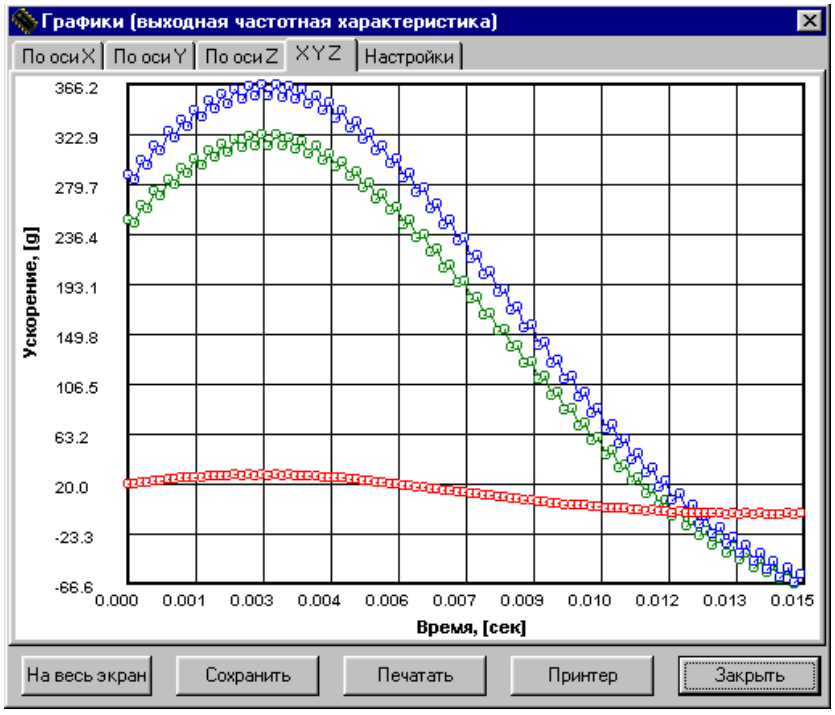


Рис. 2.2.4.13. Зависимость ускорения прибора от времени при воздействии удара для 3-го варианта

4. Был проведен расчет прибора, установленного на 4 виброизоляторах типа АП-1-0,45 по рис. 2.2.4.1 (с измененными коэффициентами жесткости виброизоляторов), при воздействии гармонической вибрации и удара. Коэффициенты жесткости были получены путем оптимизации, проведенной программным путем (по

2500 Н/м по всем осям). Механические характеристики как при вибации, так и при ударе значительно улучшились (рис. 2.2.4.14 – 2.2.4.16) (синим цветом – по осям X и Y; красным цветом – по оси Z).

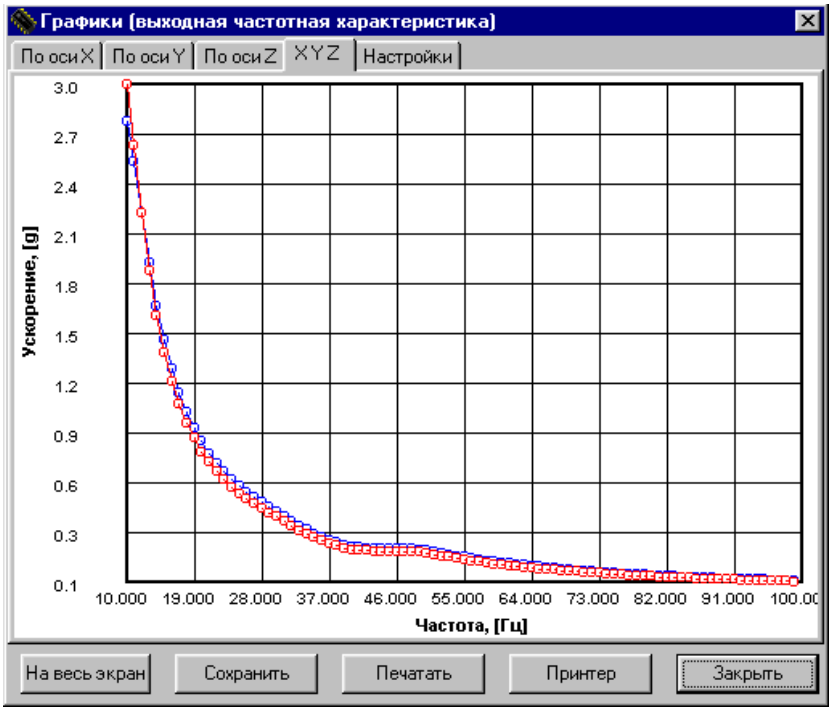


Рис. 2.2.4.14. Зависимость ускорения прибора от частоты при воздействии гармонической вибрации для 4-го варианта

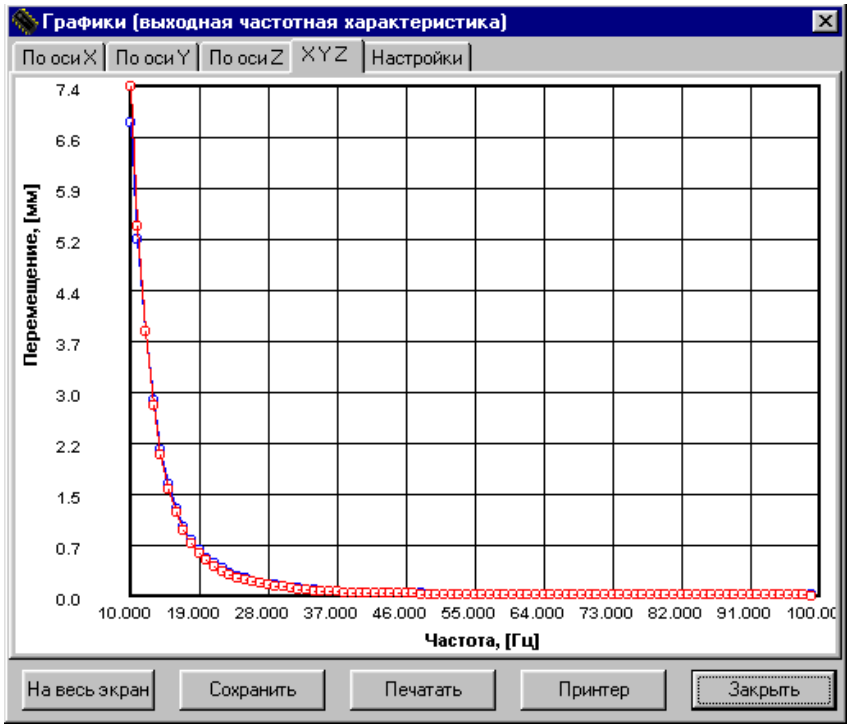


Рис. 2.2.4.15. Зависимость перемещения прибора от частоты при воздействии гармонической вибрации для 4-го варианта

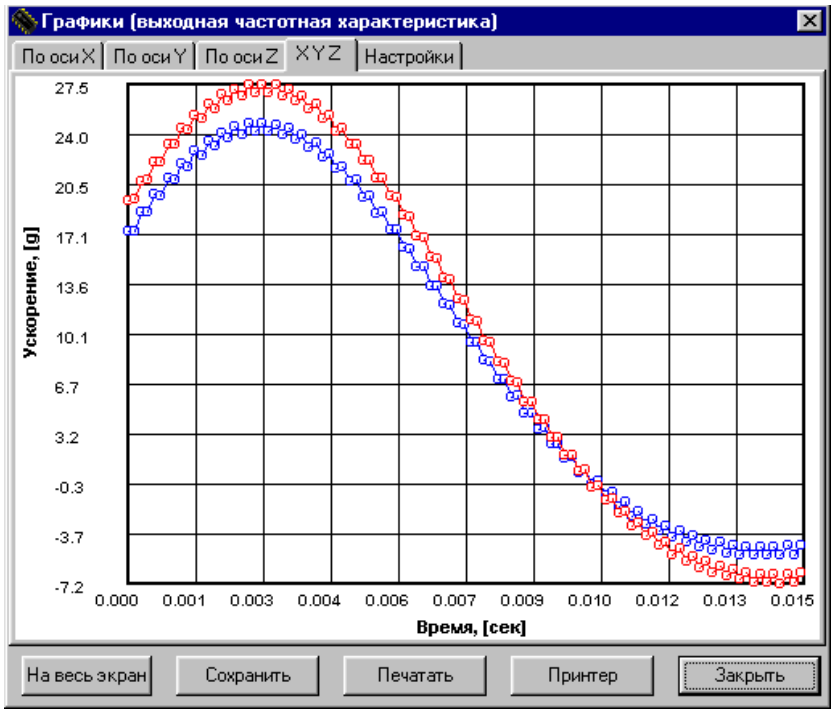


Рис. 2.2.4.16. Зависимость ускорения прибора от времени при воздействии удара для 4-го варианта

Выводы.

Анализ показал, что наиболее оптимальным является крепление на виброизоляторах посередине (см. рис. 2.2.4.1).

Можно использовать виброизоляторы типа АП-1-0,45. Однако при креплении прибора на 4 виброизоляторах по осям X и Y наблюдаются резонансы на частоте 19 Гц. При ударе перегрузок нет.

Увеличение массы прибора на 10 кг приводит к исчезновению резонансов.

Наилучшие характеристики получаются при использовании виброизоляторов, у которых коэффициенты жесткости по всем осям составляют 2500 Н/м.

Согласно ТУ на датчик, допустимое ускорение вибрации приведено в табл. 2.2.4.2.

Таблица 2.2.4.2

Допустимое ускорение вибрации для датчика

Диапазон частот, Гц	Виброускорение, g		Диапазон частот, Гц	Виброускорение, g
5 - 15	0,3		101 - 150	3
16 - 30	0,5		151 - 200	3,5
31 - 60	1		201 - 250	4
61 - 70	2		251 - 300	5
71 - 100	2,5			

В связи с этим был проведен оптимальный выбор параметров виброизоляторов. Целевой функцией была выбрана разница между расчетным ускорением блока на виброизоляторах и допустимым ускорением датчика. В результате были получены следующие параметры виброизоляторов (см. табл. 2.2.4.3).

Таблица 2.2.4.3

Параметры виброизоляторов

Коэффициенты жесткости по всем трем осям	Коэффициенты демпфирования по всем трем осям
400 Н/м	0,1

На рис. 2.2.4.17 – 2.2.4.19 приведены механические характеристики блока с полученными параметрами виброизоляторов.

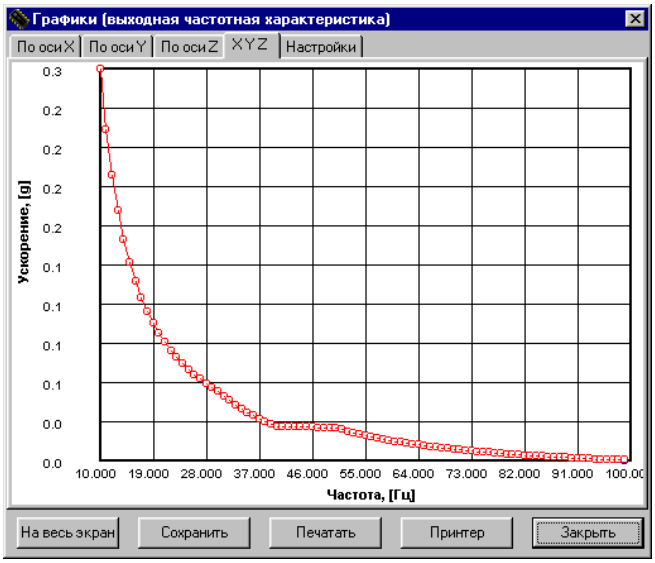


Рис. 2.2.4.17. Зависимость ускорения прибора от частоты при воздействии гармонической вибрации по всем трем осям (совпадают)

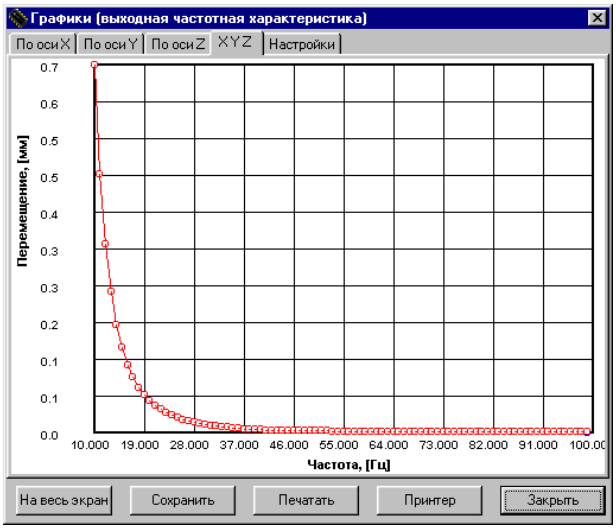


Рис. 2.2.4.18. Зависимость перемещения прибора от частоты при воздействии гармонической вибрации по всем трем осям (совпадают)

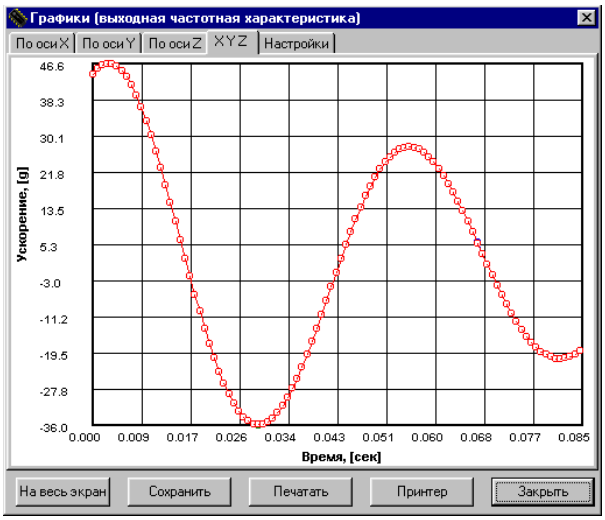


Рис. 2.2.4.19. Зависимость ускорения прибора от времени при воздействии удара по всем трем осям (совпадают)

Выводы.

Как видно из рис. 2.2.4.17 – 2.2.4.19, максимальное виброускорение прибора составляет 0,3g и не превышает допустимого значения.

Максимальное виброперемещение прибора составляет 0,7 мм и не превышает допустимого значения (2 мм).

Максимальное ударное ускорение прибора составляет 46,6g и также не превышает допустимого значения.

Анализ справочной литературы по виброизоляторам показал, что обычных виброизоляторов – резиновых, резино-металлических, пружинных – с подобными параметрами нет. Наименьшую жесткость имеют пружинные виброизоляторы, но их применение в приборе дает очень большие перемещения. Поэтому предлагается использовать троссовые виброизоляторы, которые разработаны и в настоящее время применяются в НИИ автоматической аппаратуры имени академика Семенихина (г. Москва). Автором патента на данный тип виброизолятора является работник этого предприятия кандидат технических наук Мансуров Ибрагим Яхьяевич. Он готов разработать конструкторскую документацию на троссовые виброизоляторы конкретно для данного прибора.

3. ТЕПЛОВЫЕ РАСЧЕТЫ НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ (АСОНИКА-Т)

3.1. Тепловые расчеты шкафов

3.1.1. Разработка конструктива БНК-3 с унифицированной системой охлаждения

Задача расчета.

Путем математического моделирования провести исследования, связанные с выявлением принципиальной возможности разработки конструктива БНК-3 с унифицированной системой охлаждения.

Данные для расчета:

В качестве объекта исследований служит 6-этажная стоечная конструкция, общий вид которой приведен на рис. 3.1.1.1. Стойка устанавливается на объект с использованием системы виброизоляции. На каждый этаж стойки устанавливается набор 2- или 4-секционных модулей. Эскиз модуля приведен на рис. 3.1.1.2. В состав каждого модуля входят 2 или 4 функциональные ячейки (металлическое основание, на которое наклеивается 2-слойная печатная плата). Модули устанавливаются между теплоотводящими основаниями, образующими этажи стойки. Модули устанавливаются при помощи специальных клиновидных распорок, обеспечивающих отдачу тепла с каждого модуля в теплоотдающие основания посредством контактного теплообмена. Теплоотводящие основания имеют вид, представленный на рис. 3.1.1.3. На рис. 3.1.1.4 представлена схема водяного охлаждения стойки.

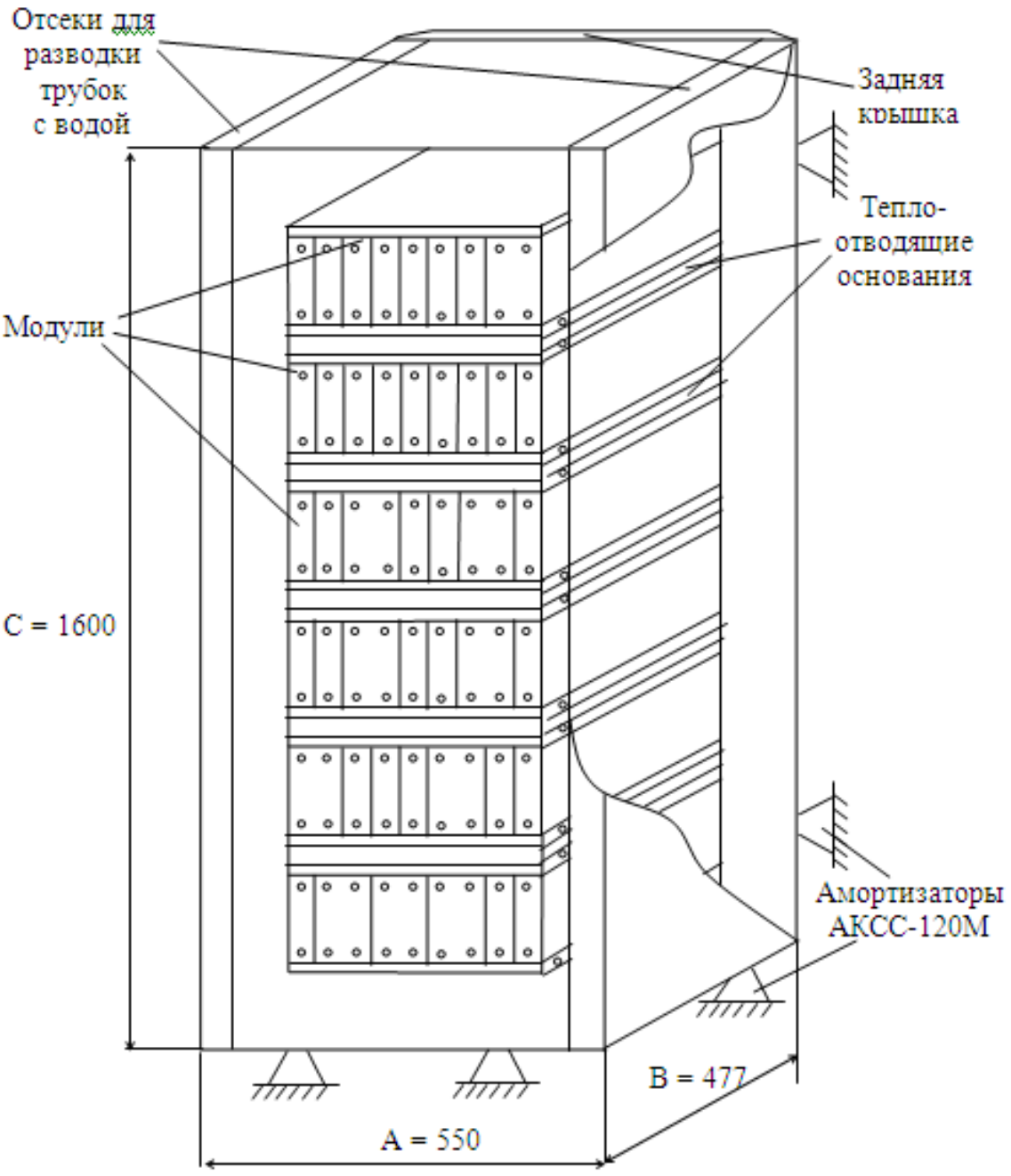


Рис. 3.1.1.1. Эскиз 6-этажной стоечной конструкции

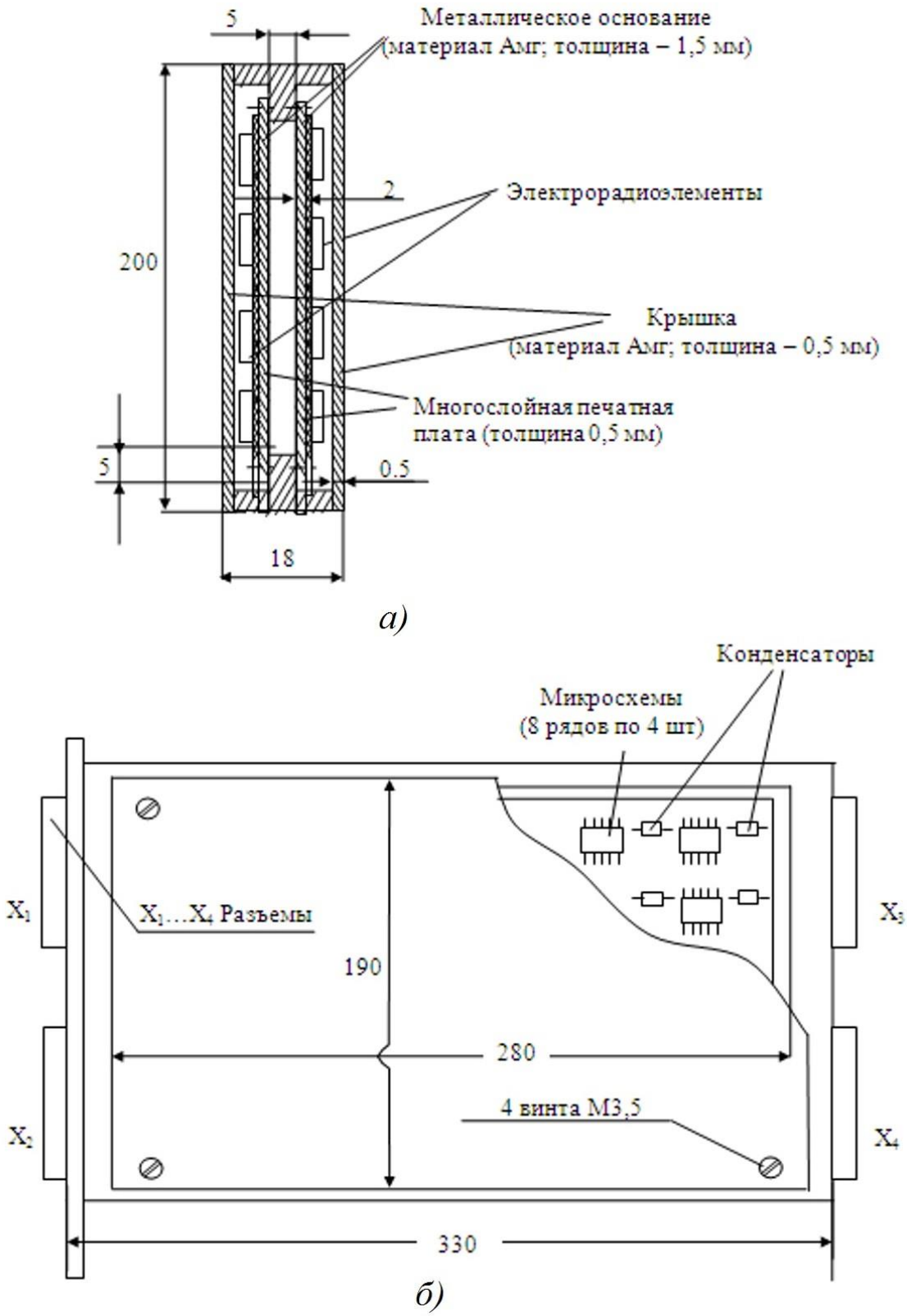


Рис. 3.1.1.2. Эскиз конструкции 2-секционного модуля: а – сечение модуля; б – эскиз, отражающий габаритные размеры модуля.

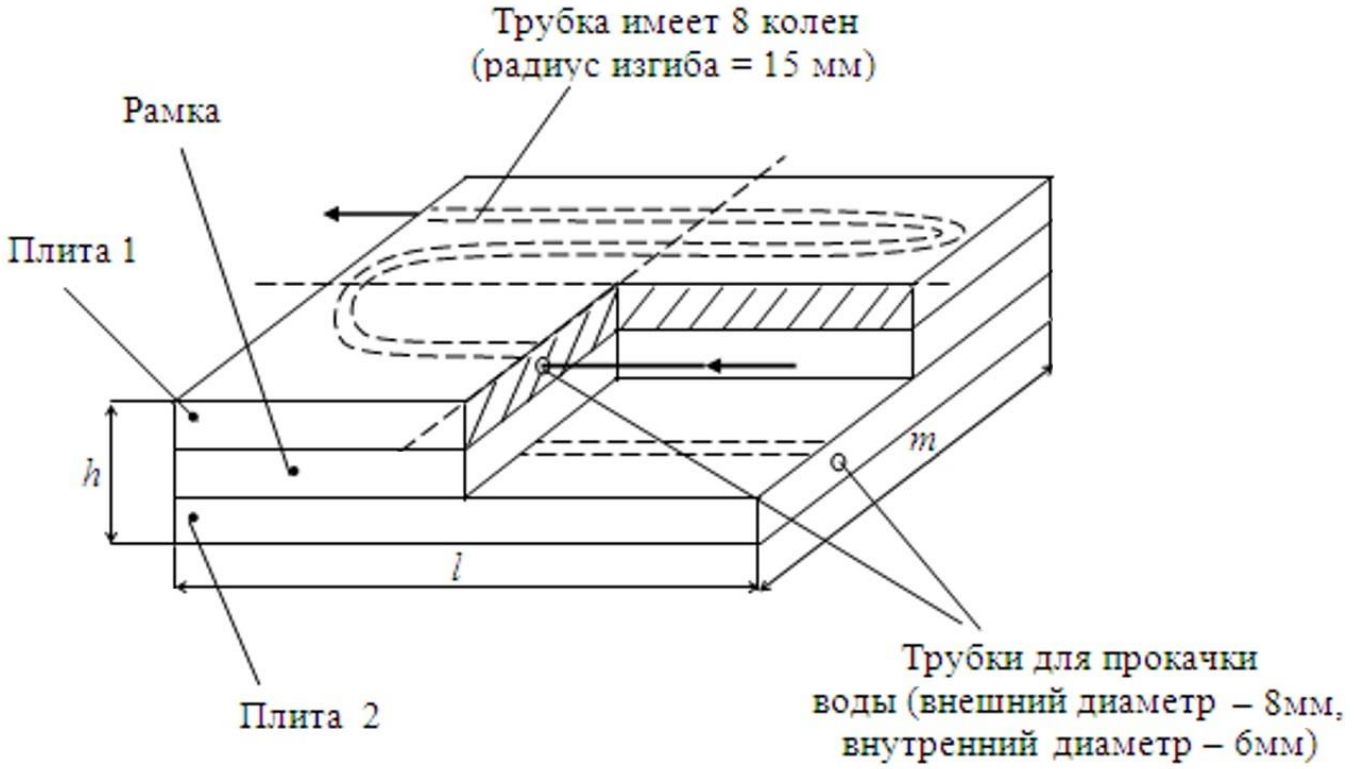


Рис. 3.1.1.3. Конструкция теплоотводящего основания для водяного охлаждения: h = 42 мм, m = 290 мм, l = 480 мм

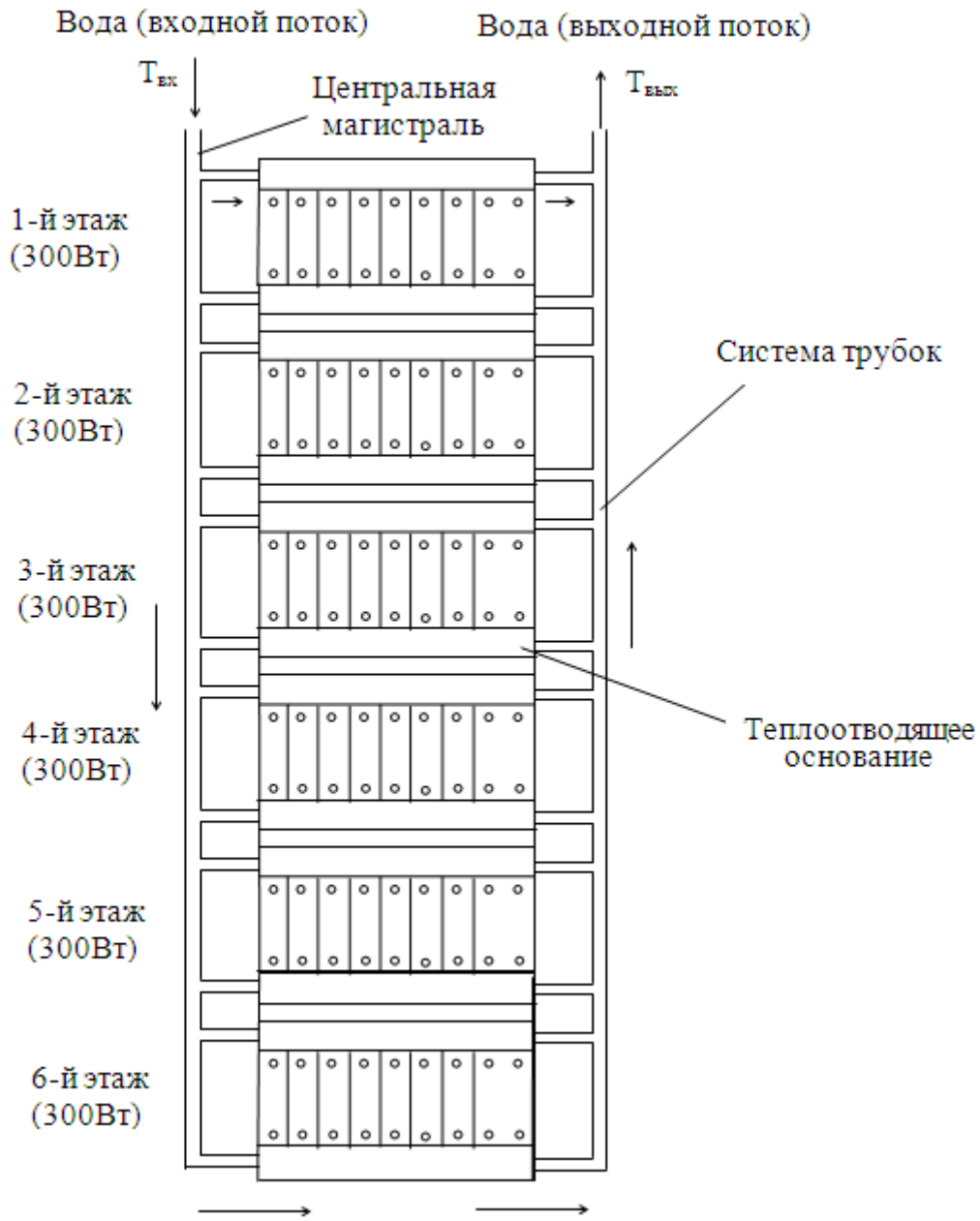


Рис. 3.1.1.4. Схема водяного охлаждения стойки

При этом предусматривается, что новая конструкция БНК-3 будет иметь неизменную базовую часть (теплоотводящие межэтажные плиты, способы крепления модулей, все внешние панели за исключением задней) и переменную часть (дополнительную панель – см. рис. 3.1.1.5), которая в зависимости от условий охлаждения может выполняться:

в виде теплоотводящей стенки с водяным охлаждением (рис. 3.1.1.6а);

в виде пластинчатого радиатора (рис. 3.1.1.6б);

в виде пластинчатого радиатора с принудительным воздушным охлаждением (рис. 3.1.1.6в).

В процессе исследований принять:

1. Мощность тепловыделений каждого 2-секционного модуля 12,5 Вт. Мощность тепловыделения каждого этажа БНК-3 300 Вт (1).

2. При моделировании функциональных ячеек, в качестве базовой принять ячейку, представленную на рис. 3.1.1.7.

3. Расход воды в центральной магистрали 300 л/час.

4. Перегревы элементов, устанавливаемых на функциональных ячейках, не должны превышать 45 °С при любом виде охлаждения.

5. В случае, когда не представляется возможным обеспечить необходимый тепловой режим ЭРЭ, при тепловыделении 300 Вт/этаж, следует определить мощность этажа, при которой обеспечивается необходимый тепловой режим ЭРЭ.

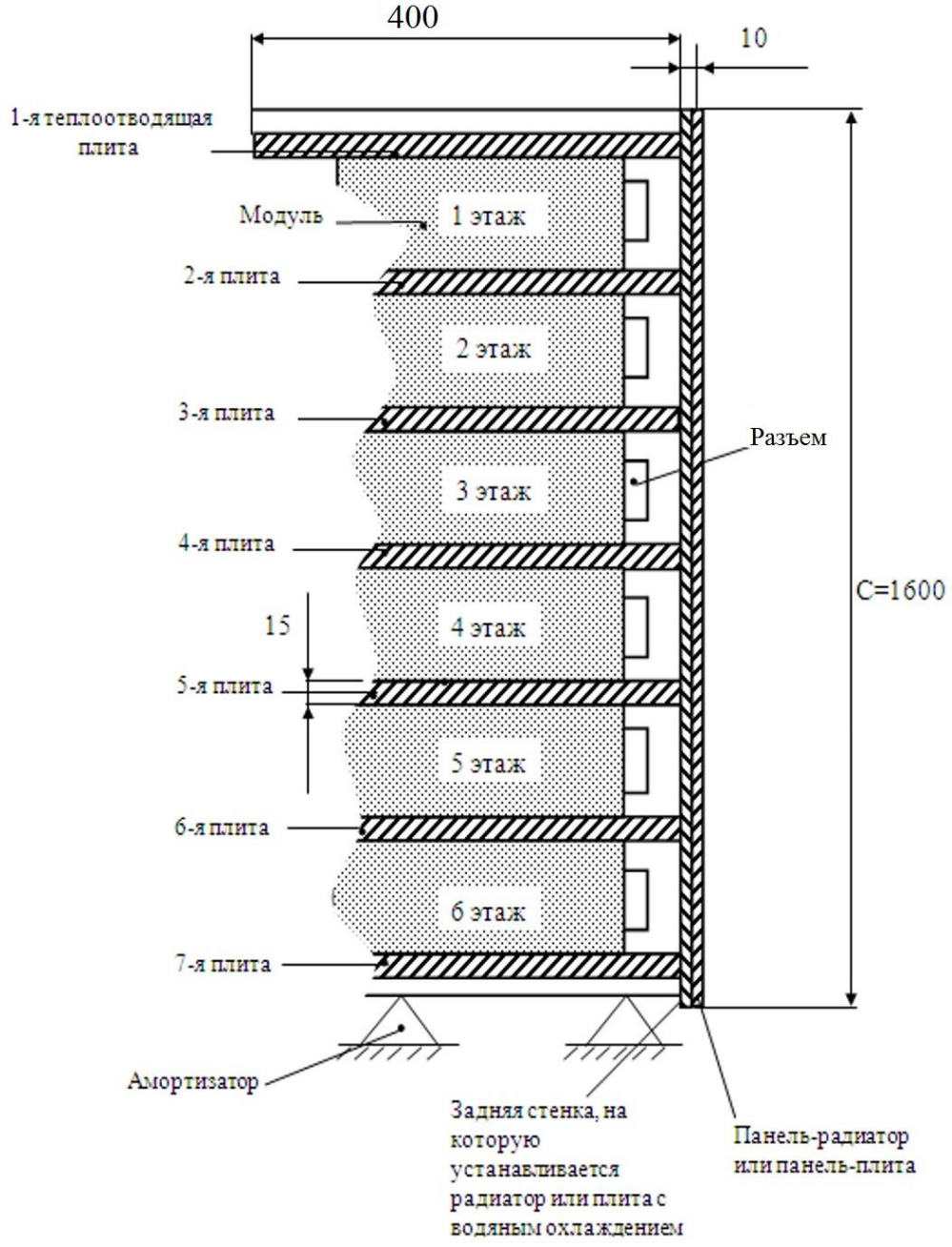


Рис. 3.1.1.5. Предлагаемый вариант конструктивного исполнения стойки

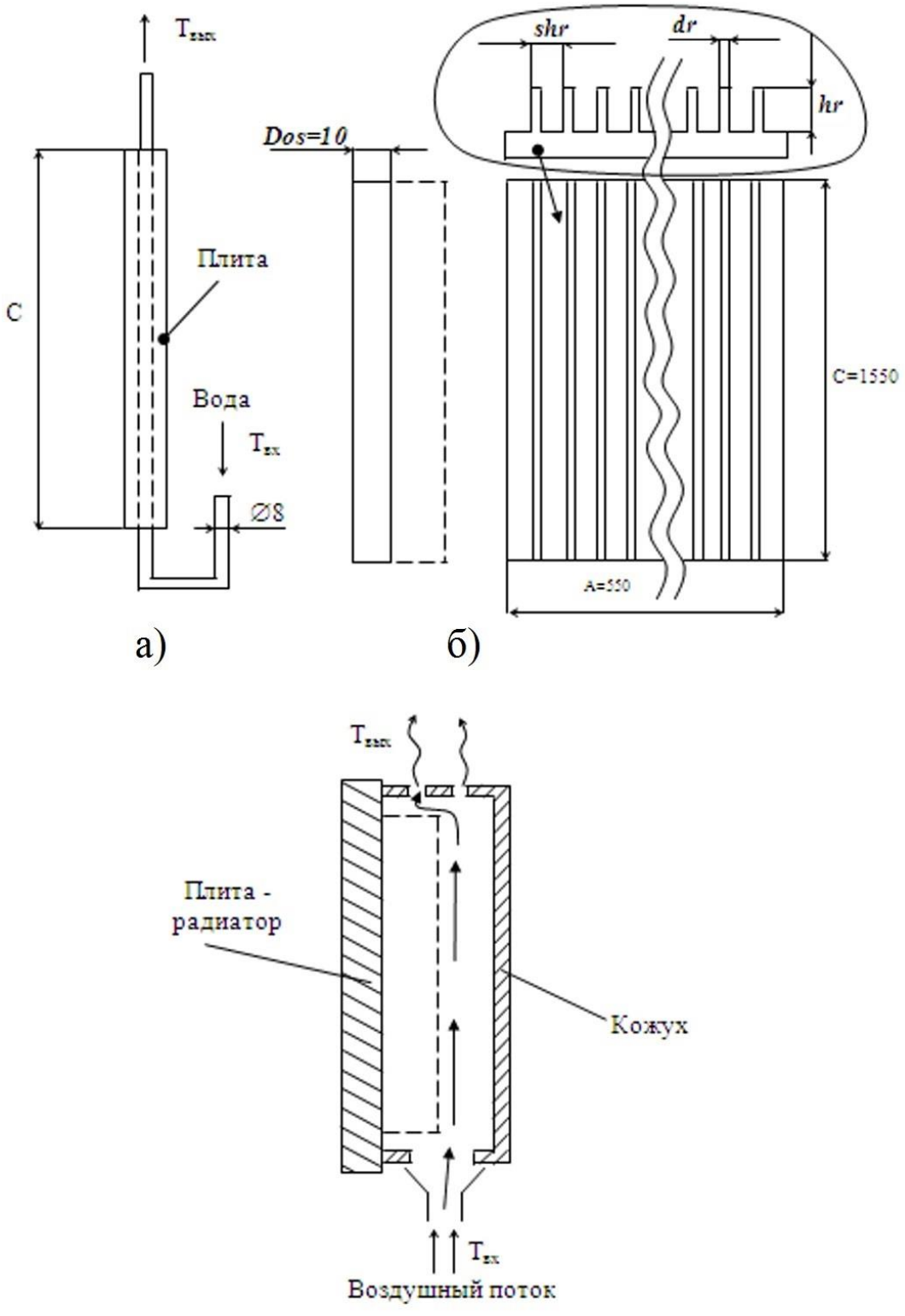


Рис. 3.1.1.6. Варианты исполнения задней теплоотводящей стенки: а – с водяным охлаждением; б – с естественным воздушным охлаждением; в – с принудительным воздушным охлаждением

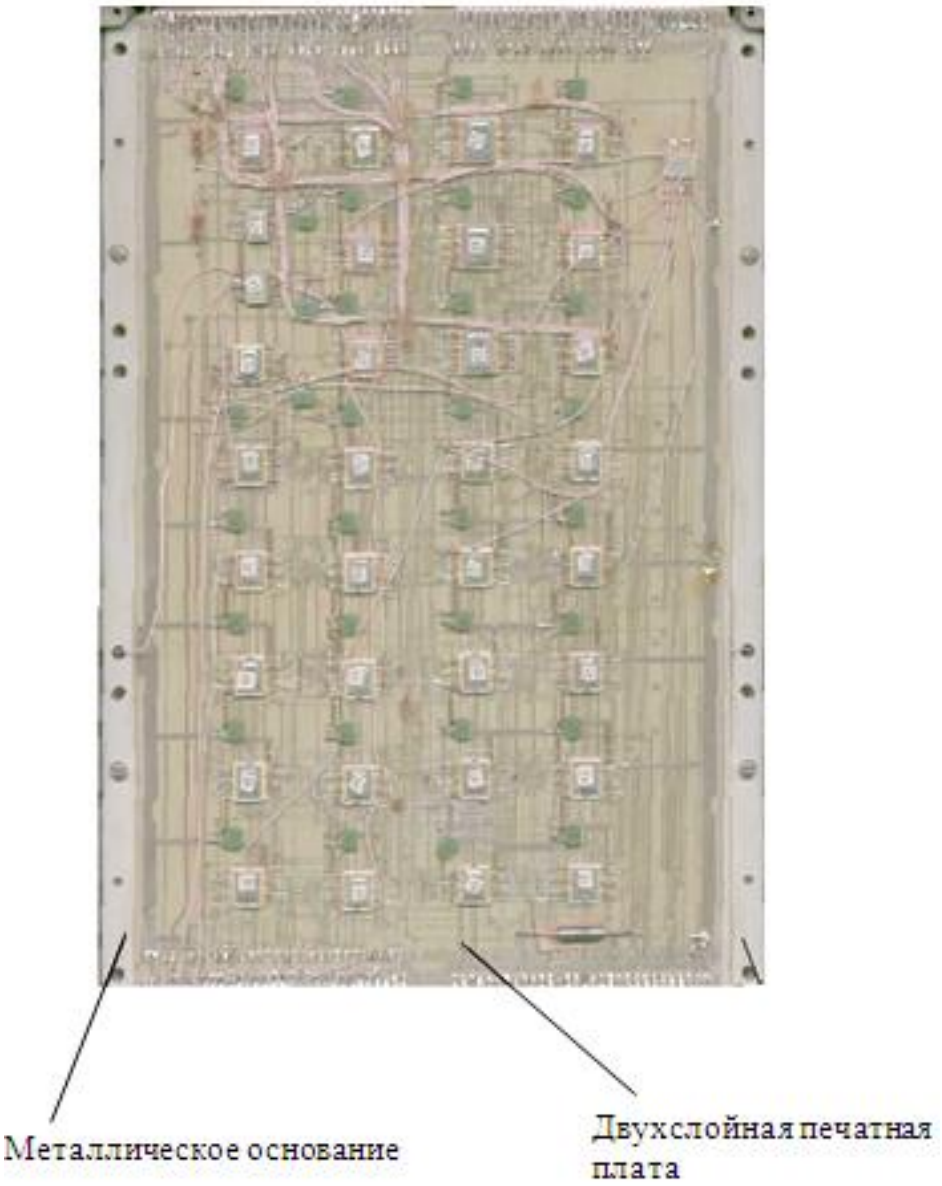


Рис. 3.1.1.7. Общий вид функциональной ячейки с микросхемами

Результаты моделирования.

Процесс моделирования стационарного теплового режима любого варианта стоечной конструкции строится по иерархической схеме, приведенной на рис. 3.1.1.8.

Представленная схема ориентирована на получение локальных температур элементов, устанавливаемых на функциональной ячейке. Схема отражает последовательность применения моделей тепловых процессов различной степени детализациии вычисления граничных условий (условий охлаждения) для каждого типа модели. Рассмотрим 1-й этап моделирования.

В табл. 3.1.1.1 приводятся обозначения ветвей графа (отражают различные типы тепловых проводимостей) тепловых моделей, которые будут использоваться в дальнейшем для изображения моделей тепловых процессов.

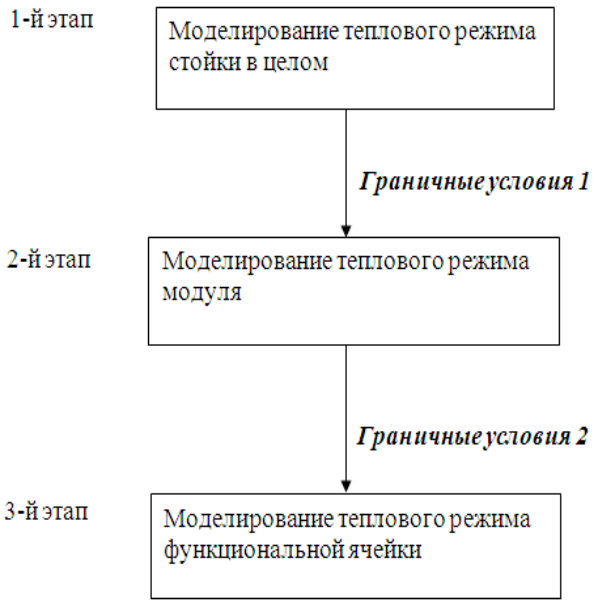
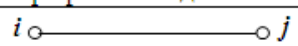
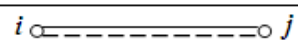
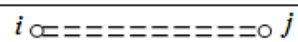
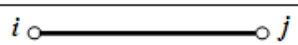
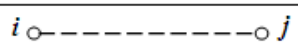
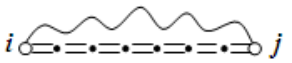
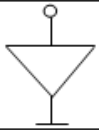
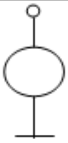


Рис. 3.1.1.8. Схема последовательности этапов моделирования стоечной конструкции

Таблица 3.1.1.1

Обозначение компонентов тепловых моделей

№ п/п	Тип ветви	Обозначение ветви в графовых моделях	Пояснение
1	2		Кондукция
2	41		Теплопередача через воздушную прослойку
3	16		Излучение
4	65		Вынужденная конвекция в канал (вода)
5	75		Теплоперенос (вода)
6	11		Контактный теплообмен
7	26		Естественная конвекция
8	36		Конвективно-кондуктивно-лучистая теплопередача с оребренной поверхности
9	52		Обдув оребренной поверхности (игольчато-штыревое оребрение)
10	—		Источник с заданной температурой, °С
11	—		Источник с заданной мощностью, Вт

1. Моделирование тепловых режимов исходного варианта стоечной конструкции.

Основной особенностью исходного варианта конструктивного исполнения стойки БНК-3, с точки зрения протекания тепловых процессов, является наличие горизонтальных теплоотводящих оснований с металлическими плитами, охлаждаемыми водой. С точки зрения протекания воды в стойке – все плиты включены параллельно, и соответственно нагрев воды в каждой плите не суммируется по всем плитам, а считается индивидуальным.

Для построения модели тепловых процессов (МТП) сделаем следующие допущения. Корпус стойки изотермичен, т.е. моделируется одним условно нагретым объемом (узлом МТП). Воздух в стойке изотермичен. Каждая теплоотводящая плита изотермична. Каждый этаж, состоящий из набора 24 модулей, изотермичен. Теплопроводностью от этажа через элементы крепления к корпусу стойки пренебрегаем. Вода в проложенной трубке в каждой плите (см. рис. 3.1.1.3) разбита на две изотермичные части – вода на входе и вода на выходе трубки.

Исходя из принятых допущений, на рис. 3.1.1.9 приведен граф тепловой модели этажа (1 – условно изотермичный объем, моделирующий набор модулей, устанавливаемый на этаже; 2 – верхняя часть теплоотводящего основания предыдущего этажа; 3 – нижняя часть теплоотводящего основания следующего этажа; Рэт – суммарная мощность тепловыделений во всех модулях, устанавливаемых на этаже).

На рис. 3.1.1.10 приведен граф тепловой модели теплоотводящего основания с водяным охлаждением (1 – нижняя плита; 2 – верхняя плита; 3 – входной водяной поток; 4, 5 – выходные водяные потоки; Твод.вх – температура входного водяного потока (Твод.вх = +25 °С)).

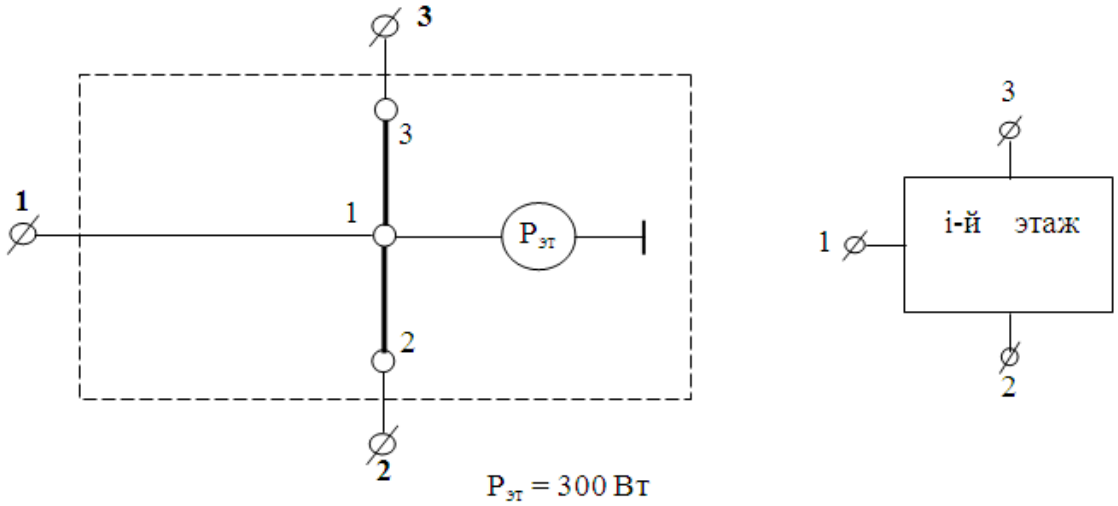


Рис. 3.1.1.9. Модель тепловых процессов этажа

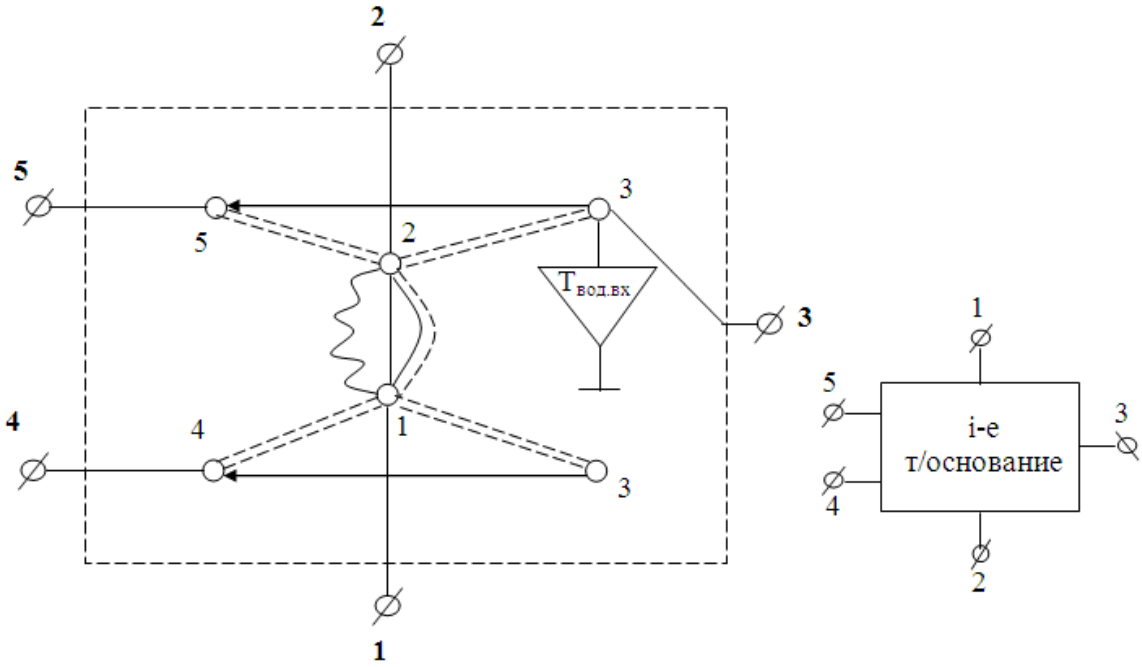


Рис. 3.1.1.10. Модель тепловых процессов теплоотводящего основания с водяным охлаждением

Построенная с учетом принятых допущений МТП представлена на рис. 3.1.1.11.

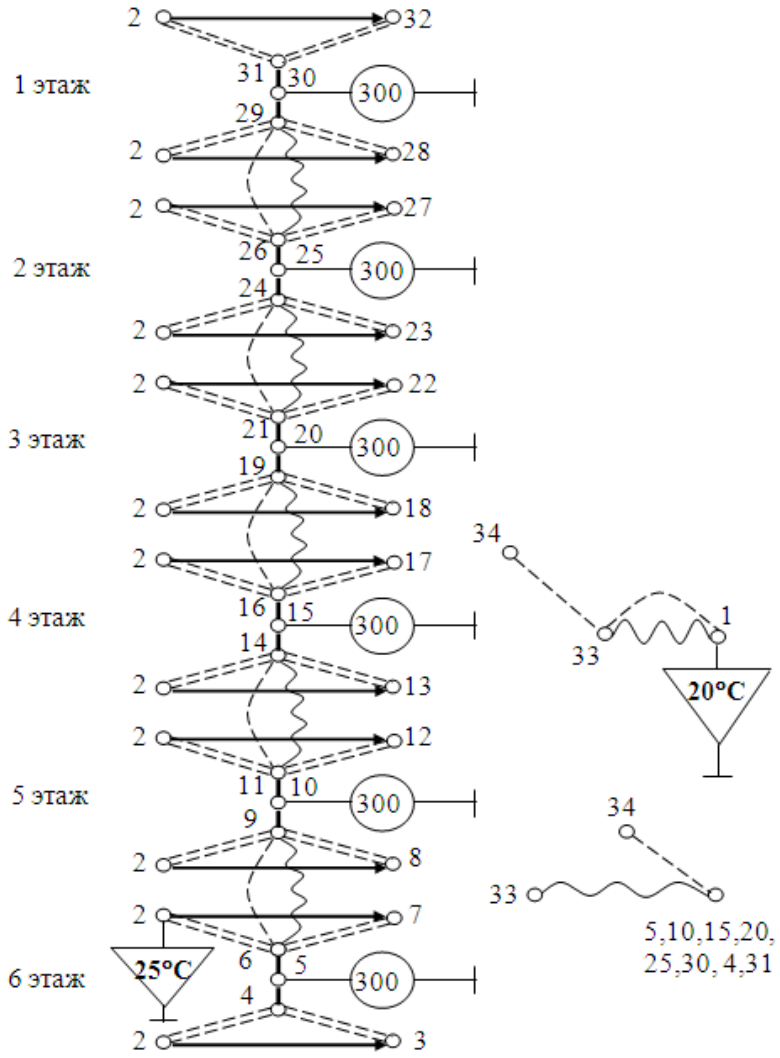


Рис. 3.1.1.11. Модель тепловых процессов исходного варианта стойки с водяным охлаждением

Картина протекания теплового процесса в стойке будет выглядеть следующим образом. Тепловая энергия модулей, например, 6-го этажа, частью будет рассеиваться во внутристоечный воздушный объем конвекцией (ветвь 5-34 тип 26, а для 5-го этажа это будет ветвь 10-34 соответственно) и передаваться поверхности стойки (кожуху) излучением (ветвь 5-33, тип 16) и с него рассеиваться в окружающую среду излучением и конвекцией (ветви 1-33 тип 16 и 26). Большая часть энергии через контакт передается теплоотводящим горизонтальным плитам (ветви 4-5, 5-6 тип 11). Внутри плит проложены медные трубки, с которых вынужденной конвекцией тепло передается протекающей в них воде (ветви 2-4, 3-4, 2-6, 6-7 тип 65). Вода нагревается и выносит тепло из зоны нагрева в центральную магистраль (ветви 2-3, 2-7 тип 75). Аналогичная картина будет наблюдаться и на других этажах стойки.

Тепловыделение этажа будет равно сумме тепловыделений модулей этого этажа, т.е. тепловыделение модуля надо умножить на

число модулей на этаже (24 шт.), и полученная мощность и будет мощностью источников тепловыделения этажа мощностью 300 Вт, включенных в узлы 5, 10, 15, 20, 25,30.

С учетом того, что вода для охлаждения плит поступает из общей магистрали, ее можно моделировать одним узлом МТП, с заданной температурой – температурой воды на входе в плиты – 25 °С.

Окружающая среда будет моделироваться узлом МТП номер 1, содержащим источник температуры 20 ºС.

Необходимая для расчета МТП скорость воды была рассчитана из условия расхода 300 л/ч на стойку. Так как в стойке 12 межэтажных плит, то расход на плиту составил 25 л/ч, что при внутреннем диаметре трубы в 6 мм дает расчетную скорость 0,25 м/с.

Для построенной МТП стойки был подготовлен файл исходных данных. С помощью АСОНИКА-Т был проведен расчет, результаты которого представлены в таблице 3.1.1.2. Расчет проведен для следующих выбранных геометрических и теплофизических параметров: мощность тепловыделения 300 Вт/этаж; расход воды 300 л/ч на стойку, или соответственно скорость воды 0,25 м/с при внутреннем сечении трубы 6 мм; температура окружающей среды 20 °С; температура воды 25 °С.

Таблица 3.1.1.2

Температуры элементов исходного варианта стойки

	Темпер., °С	Название элементов конструкции
1	20,0	Окружающая среда
2	25,0	Вода на входе плит
3	26,5	Вода на выходе 12 плиты
4	27,4	12 плита
5	27,7	Модули 6-го этажа
6	27,4	11 плита
7	26,5	Вода на выходе 11 плиты
8	26,5	Вода на выходе 10 плиты
9	27,5	10 плита
10	27,7	Модули 5-го этажа
11	27,5	9 плита
12	26,5	Вода на выходе 9 плиты
13	26,5	Вода на выходе 8 плиты
14	27,5	8 плита
15	27,7	Модули 4-го этажа
16	27,5	7 плита
17	26,5	Вода на выходе 7 плиты
18	26,5	Вода на выходе 6 плиты
19	27,5	6 плита
20	27,7	Модули 3-го этажа

	Темпер., °С	Название элементов конструкции
21	27,5	5 плита
22	26,5	Вода на выходе 5 плиты
23	26,5	Вода на выходе 4 плиты
24	27,5	4 плита
25	27,7	Модули 2-го этажа
26	27,5	3 плита
27	26,5	Вода на выходе 3 плиты
28	26,5	Вода на выходе 2 плиты
29	27,4	2 плита
30	27,7	Модули 1-го этажа
31	27,4	1 плита
32	26,5	Вода на выходе 1 плиты
33	23,9	Корпус стойки
34	24,7	Воздух в стойке

Выводы.

Нагрев воды составляет 1,5 ºС, а перегрев межэтажных плит 2,5 ºС.

Далее в соответствии со схемой последовательности этапов моделирования стоечной конструкции (рис. 3.1.1.8) следует построить модель теплового режима модуля и модель функциональной ячейки и выполнить тепловые расчеты. Расчет теплового режима модуля будет приведен в п. 3.2.1, а расчет теплового режима ячейки – в п. 4.2.1.

2. Моделирование теплового режима предлагаемого варианта конструкции стойки при естественном воздушном охлаждении.

Предлагаемый вариант конструктивного исполнения стойки БНК-3 отличается от исходного тем, что горизонтальные теплоотводящие панели этажей осуществляют основной отвод тепла на вертикальную заднюю панель стойки. На ней монтируется другая плита, которая в зависимости от вида охлаждения имеет разную конструкцию. Для естественного воздушного охлаждения это просто пластинчатый радиатор. Причем ребра идут сверху вниз по всей высоте плиты. Для вынужденного воздушного охлаждения это пластинчатый радиатор, но с обдувом. Для водяного охлаждения это плита с проложенными в ней металлическими трубками с протекающей по ним водой. Эта задняя теплоотводящая плита такого же в плане размера, как вертикальная задняя панель 1550 × 540 × 10 мм.

Для упрощения конструкции предложено исходное межэтажное теплоотводящее основание, состоящее из двух теплоотводящих плит – панелей по 8 мм (рис. 3.1.1.3) заменить на одну металлическую теплоотводящую плиту толщиной 15 мм (см. рис. 3.1.1.5).

Рассмотрим естественное воздушное охлаждение радиатора.

Для построения МТП сделаем следующие допущения: корпус стойки изотермичен; воздух в стойке изотермичен; каждая горизонтальная теплоотводящая плита разбита на два изотермичных участка в передней и задней части стойки; этаж разбит на два изотермичных участка в передней и задней части стойки; теплопроводностью от этажа через элементы крепления к корпусу стойки пренебрегаем; задняя стенка и радиатор разбиты по высоте на 7 изотермичных участков.

Поясняющий эскиз предлагаемой конструкции стойки представлен на рис. 3.1.1.12. Построенная с учетом этих допущений МТП представлена на рис. 3.1.1.13.

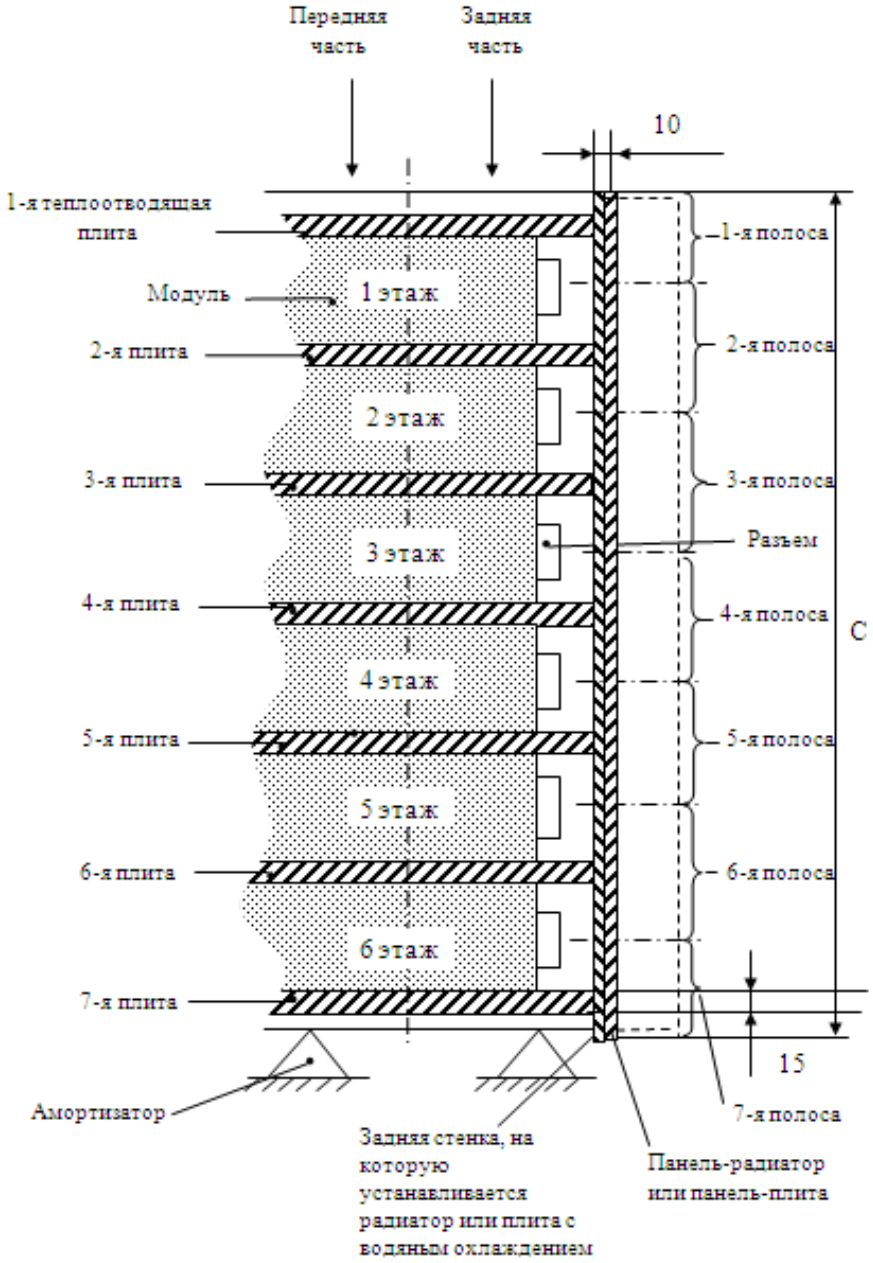


Рис. 3.1.1.12. Предлагаемый вариант конструктивного исполнения стойки

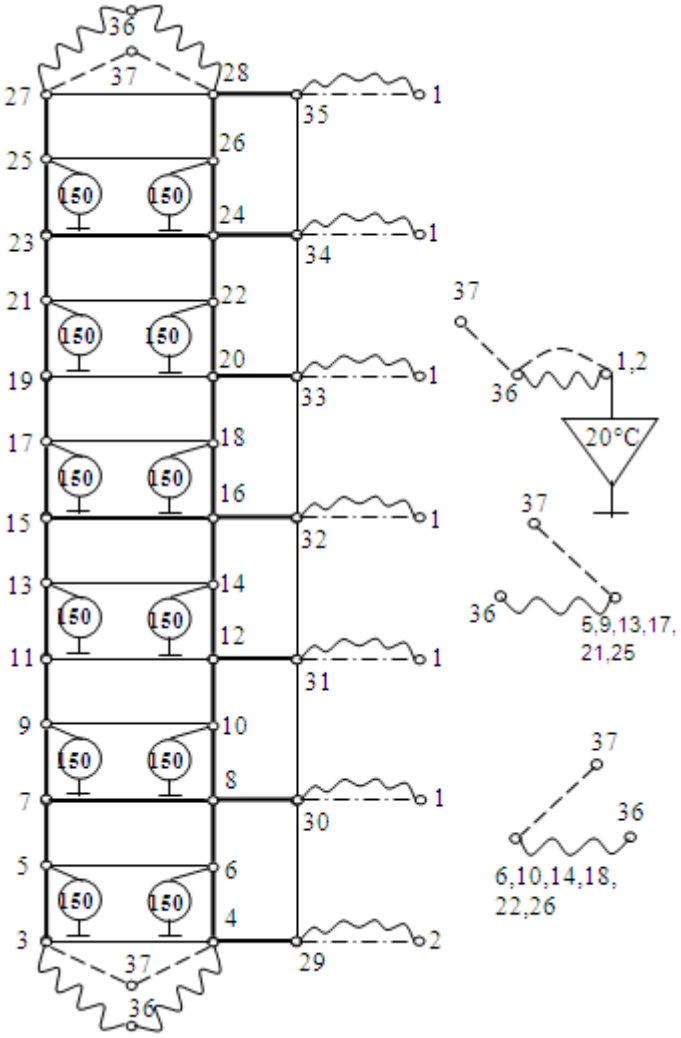


Рис. 3.1.1.13. Модель тепловых процессов предлагаемого варианта конструкции стойки с естественным охлаждением задней панели (радиатора)

Картина протекания теплового процесса, которая отражает разработанная модель, будет выглядеть следующим образом. Тепловая энергия, например, 6-го этажа с его поверхности будет рассеиваться во внутренний воздушный объем конвекцией (ветвь 5-37, 6-37 тип 26) и передаваться корпусу стойки излучением (ветвь 5-36, 6-36 тип 16), а также через контакт передаваться теплоотводящим панелям этажа (ветви 5-3, 4-6 тип 11). По этой панели энергия теплопроводностью (ветви 3-4, 7-6 тип 2) будет передаваться в заднюю часть панели и через контакт (ветви 4-29, 8-30 тип 11) передаваться на заднюю теплоотводящую панель. От нее энергия будет передаваться на заднюю панель – пластинчатый радиатор и с нее в окружающую среду (ветви 29-2, 30-1 тип 36). Аналогичная картина будет наблюдаться и на других этажах стойки.

Одной из особенностей данной МТП является то, что каждый этаж разбит на две части (переднюю и заднюю). Соответственно суммарная мощность тепловыделения этажа разбивается на два источника тепловыделения. Например, для шестого этажа это источники тепловыделения в узлах 5 и 6.

Выбор параметров оребрения панели (радиатора).

Если модель теплового процесса конструкции уже построена, то с ее помощью можно промоделировать различные варианты этой конструкции, т.е. ответить на вопрос, что будет, если изменить какие-то геометрические и теплофизические параметры проектируемой конструкции. Таким образом, основой для проведения вычислительного эксперимента служит разработанная выше тепловая модель.

Для данного варианта это будет означать, как изменится температура каких-то конструктивных узлов при различных значениях параметров.

Результатом этих вычислительных экспериментов будет выбор геометрических и теплофизических параметров конструкции, при которых и будет проведен основной расчет стойки в целом, приведенный выше.

Приведенные выше значения параметров конструкции являются результатом выбора по данным моделирования.

В качестве элемента конструкции, температуры которого будут исследоваться, возьмем температуру горизонтальной межэтажной теплоотводящей плиты. Температуру плиты будут определять условия охлаждения модулей этажа и соответствующих функциональных ячеек, входящих в их состав.

Проведем расчет температур горизонтальной плиты при разной высоте ребер пластинчатого радиатора – задней стенки и при разном количестве этих ребер. Любое изменение параметров проводится только по одному параметру. Другие параметры при этом не меняются. И так далее по всем переменным (параметрам). Все остальные параметры, кроме исследуемого, имеют значения базового решения.

Результаты моделирования сведены в табл. 3.1.1.3 – 3.1.1.6.

Таблица 3.1.1.3

Зависимость температуры горизонтальной межэтажной плиты от высоты ребер

Высота ребра, мм	Темп. передней части плиты, °С	Темп. задней части плиты, °С
50	64,4	58,7
80	55,9	49,8
120	49,9	43,6
150	47,1	40,7

Таблица 3.1.1.4

Зависимость температуры горизонтальной плиты от числа ребер (высота ребер 120 мм)

Число ребер, шт.	Темп. передней части плиты, °С	Темп. задней части плиты, °С
41	49,9	43,6
45	45,9	39,4

Таблица 3.1.1.5

Зависимости температур плиты от параметров сочленения плит (высота ребер 120 мм; количество ребер 41 шт.)

Состояние контакта гор./вер. плиты	Темп. передней части плиты, °С	Темп. задней части плиты, °С	Темп. задн. вертик. плиты, °С
КПТ-8 (ширина 20 мм)	50,3	44,0	43,2
Сухой контакт (ширина 20 мм)	52,5	46,3	42,9
КПТ-8 (ширина 50 мм)	49,9	43,6	43,2
Сухой контакт (ширина 50 мм)	50,9	44,6	43,1

Таблица 3.1.1.6

Зависимость температуры горизонтальной плиты от ее толщины

Толщина гор. плиты, мм	Темп. передней части плиты, °С	Темп. задней части плиты, °С
15	50,9	44,6
25	48,0	43,3

На следующем этапе вычислительного эксперимента исследовалось влияние параметров сочленения межэтажных горизонтальных плит с вертикальной задней теплоотводящей плитой. Этими параметрами является наличие/отсутствие в зазоре сочленения теплоотводящей смазки, ширина полосы контакта горизонтальной-вертикальной плит, а также толщина горизонтальной теплоотводящей плиты (рис. 3.1.1.14).

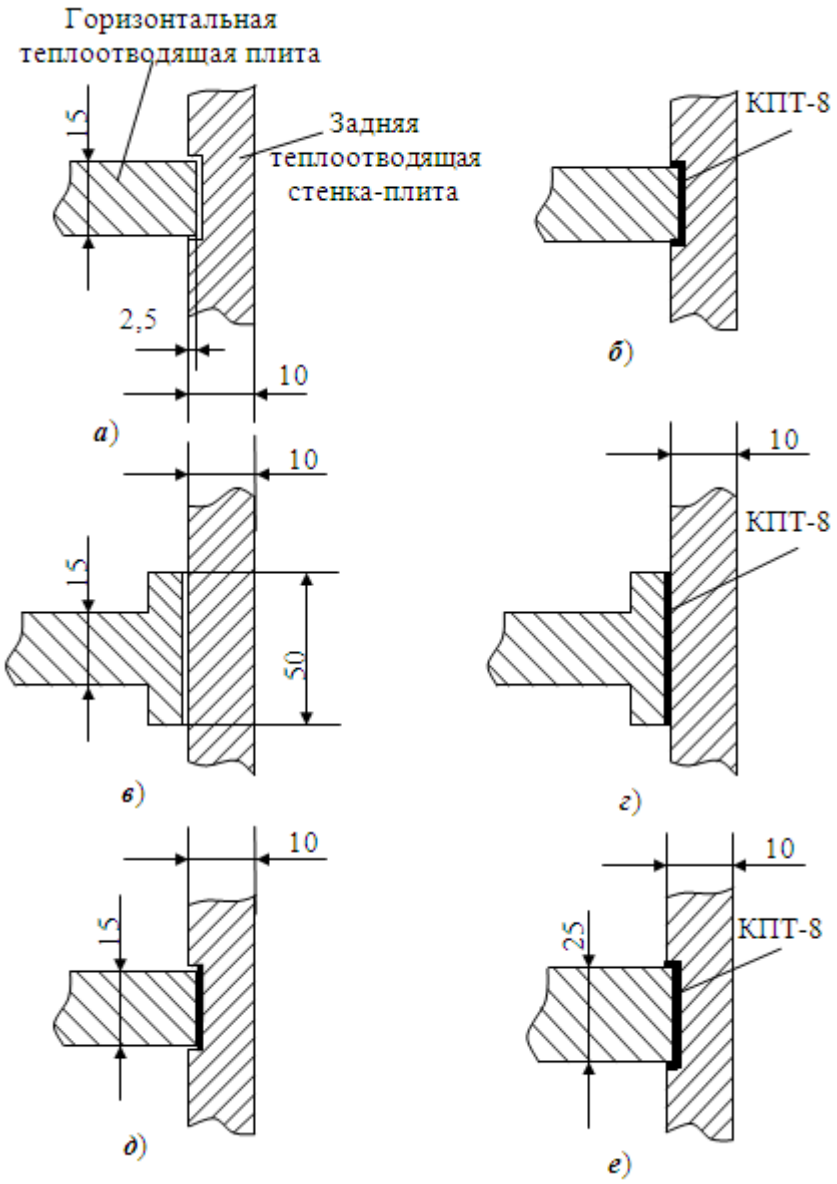


Рис. 3.1.1.14. Варианты исследуемых конструктивов: ширина полосы контакта 20 мм: а) – сухой контакт; б) – паста КПТ-8, ширина полосы контакта 50 мм; в) – сухой контакт; г) – паста КПТ-8; д) – толщина горизонтальной плиты 15 мм; е) – толщина горизонтальной плиты 25 мм

Выводы.

Температура горизонтальной плиты этажа не сильно зависит от состояния пятна контакта между плитами. Наличие смазки снижает температуру передней части плиты в среднем на 1 градус, при полосе как 20 мм, так и 50 мм. Увеличение ширины полосы контакта уменьшает в среднем температуру на 1,5 градуса. Температура задней теплоотводящей плиты меняется незначительно.

Температура горизонтальной плиты этажа незначительно зависит от толщины плиты. Увеличение ее толщины с 15 до 25 мм уменьшает температуру передней части плиты на 2,9 градуса, поэтому

увеличивать толщину плиты для улучшения теплового режима нецелесообразно.

Моделирование теплового режима стойки при выбранных геометрических и теплофизических параметрах.

Мощность тепловыделения на этаже 300 Вт/этаж; размер задней стенки 1600 × 590, радиатора 1550 × 540 × 10 мм; толщина ребер 4 мм, высота ребер 120 мм, шаг ребер 12 мм, количество ребер 41, толщина горизонтальных межэтажных плит 15 мм. Переход горизонтальная плита - вертикальная задняя стенка – полоса 50 мм с пастой КПТ-8. Температура окружающей среды 20 °С. Результаты моделирования приведены в табл. 3.1.1.7.

Таблица 3.1.1.7

Температуры элементов предлагаемого варианта стойки с естественным воздушным охлаждением

№ узла	Темпер., °С	Название элементов конструкции
1	20,0	Окружающая среда
2	20,0	Окружающая среда
3	49,5	Передняя часть 7 плиты
4	43,3	Задняя часть 7 плиты
5	49,6	Передняя часть модуля 6-го этажа
6	43,6	Задняя часть модуля 6-го этажа
7	49,5	Передняя часть 6 плиты
8	43,4	Задняя часть 6 плиты
9	50,0	Передняя часть модуля 5-го этажа
10	43,8	Задняя часть модуля 5-го этажа
11	49,9	Передняя часть 5 плиты
12	43,6	Задняя часть 5 плиты
13	50,1	Передняя часть модуля 4-го этажа
14	43,8	Задняя часть модуля 4-го этажа
15	49,9	Передняя часть 4 плиты
16	43,6	Задняя часть 4 плиты
17	50,1	Передняя часть модуля 3-го этажа
18	43,8	Задняя часть модуля 3-го этажа
19	49,9	Передняя часть 3 плиты
20	43,6	Задняя часть 3 плиты
21	50,0	Передняя часть модуля 2-го этажа
22	43,8	Задняя часть модуля 2-го этажа
23	49,9	Передняя часть 2 плиты
24	43,5	Задняя часть 2 плиты
25	49,6	Передняя часть модуля 1-го этажа
26	43,6	Задняя часть модуля 1-го этажа
27	49,5	Передняя часть 1 плиты
28	43,4	Задняя часть 1 плиты
29	43,1	Задняя стенка 7 полоса
30	43,2	Задняя стенка 6 полоса

31	43,4	Задняя стенка 5 полоса
32	43,4	Задняя стенка 4 полоса
33	43,4	Задняя стенка 3 полоса
34	43,3	Задняя стенка 2 полоса
35	43,1	Задняя стенка 1 полоса
36	31,9	Корпус стойки
37	39,8	Воздушный объем внутри стойки

Выводы.

В условиях естественного охлаждения задней плиты – радиатора достаточно трудно обеспечить тепловой режим при заданной мощности рассеяния стойки ($300 \times 6 = 1800$ Вт) и данных геометрических и теплофизических параметрах. Можно рекомендовать в случае естественного воздушного охлаждения снижать мощность тепловыделения (см. рис. 3.1.1.15).

Согласно рис. 3.1.1.15 можно оценить допустимый уровень мощность на этаже. Подробный ответ на этот вопрос требует расчета теплового режима модуля.

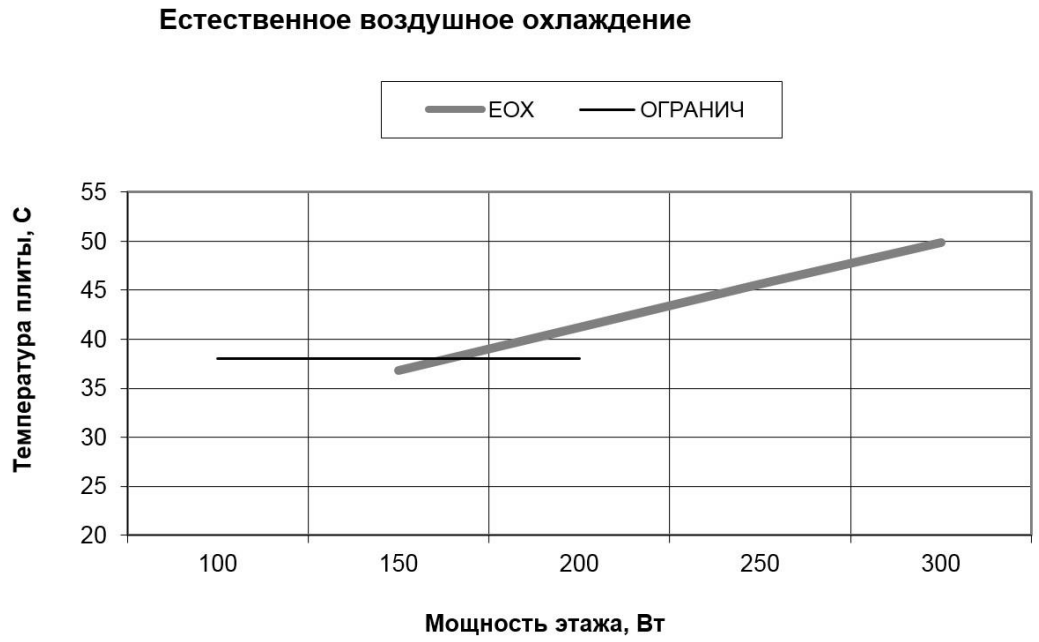


Рис. 3.1.1.15. Зависимость температуры межэтажной плиты от мощности тепловыделения на этаже: ЕОХ – естественное охлаждение

После расчета теплового режима ПУ, путем обратного расчета-подбора определяются максимально допустимые температуры условий охлаждения, при которых возможно обеспечение теплового режима радиоэлементов печатного узла, ограничения на которые задаются заказчиком (45 °С на корпусе).

После проведения этой операции было получено, что температура передней части плиты не должна превышать 38 °С. Эта температура и определяет максимальную допустимую мощность рассеяния на этаж. Например, для воздушного естественного охлаждения это составляет около 170 Вт на этаж.

Далее в соответствии со схемой последовательности этапов моделирования стоечной конструкции (рис. 3.1.1.8) следует построить модель теплового режима модуля и модель функциональной ячейки и выполнить тепловые расчеты.

3. Моделирование теплового режима предлагаемого варианта конструкции стойки при принудительном воздушном охлаждении.

Предлагаемый вариант конструктивного исполнения стойки БНК-3 отличается от исходного тем, что горизонтальные теплоотводящие панели этажей осуществляют основной теплоотвод на вертикальную заднюю панель стойки. На ней монтируется радиатор такого же в плане размера, как вертикальная задняя панель 1550 × 540 мм.

Охлаждение радиатора – вынужденное воздушное охлаждение.

Для построения МТП сделаем те же допущения, что и при моделировании теплового режима предлагаемого варианта конструкции стойки при естественном воздушном охлаждении.

Построенная с учетом этих допущений МТП представлена на рис. 3.1.1.16.

Картина протекания теплового процесса в стойке с данным типом охлаждения будет выглядеть следующим образом. Тепловая энергия, например, 6-го этажа с его поверхности будет рассеиваться во внутренний воздушный объем конвекцией (ветвь 5-37, 6-37 тип 26) и передаваться корпусу стойки излучением (ветвь 5-36, 6-36 тип 16), а также через контакт передаваться теплоотводящим панелям этажа (ветви 5-3, 4-6 тип 11). По этой панели энергия теплопроводностью (ветви 3-4, 7-6 тип 2) будет передаваться в заднюю часть панели и через контакт (ветви 4-29, 8-30 тип 11) передаваться на заднюю теплоотводящую панель. От нее энергия будет передаваться на заднюю панель – пластинчатый радиатор и с нее сниматься воздушным потоком в окружающую среду (ветви 29-2, 30-1 тип 52). Аналогичная картина будет наблюдаться и на других этажах стойки.

Одной из особенностей данной МТП является то, что каждый этаж разбит на две части - переднюю и заднюю. Соответственно суммарная мощность тепловыделения этажа разбивается на два источника тепловыделения. Например, для шестого этажа это источники тепловыделения в узлах 5 и 6.

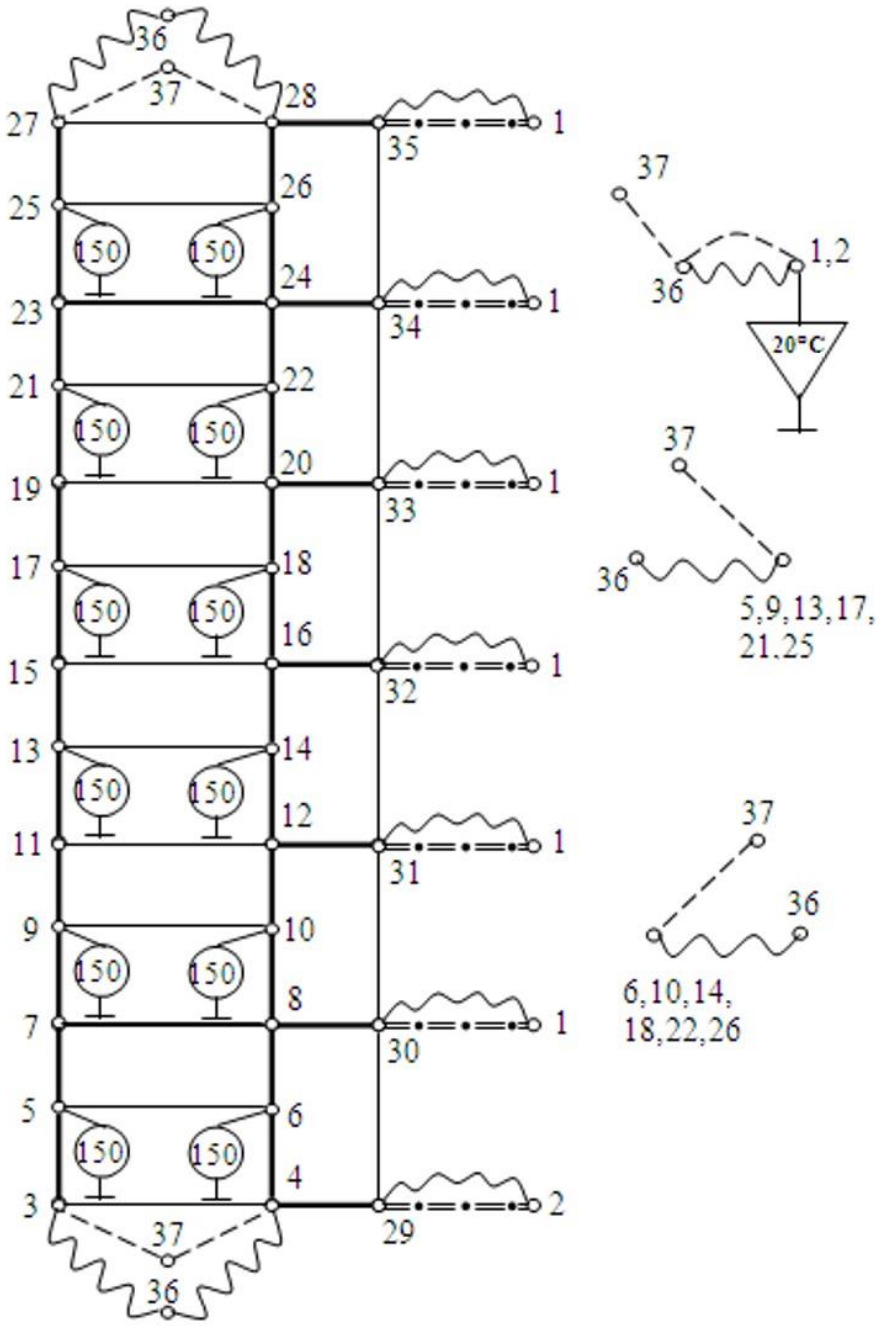


Рис. 3.1.1.16. Модель тепловых процессов предлагаемого варианта конструкции стойки с вынужденным охлаждением задней панели (радиатора)

Моделирование параметров сочленений конструктивных элементов.

Исследование зависимости температуры характерных узлов от геометрических и теплофизических параметров (см. табл. 3.1.1.8).

Изменяемые параметры – наличие/отсутствие смазки между горизонтальными и задней вертикальной плитой и ширины полосы их контактного пятна. Характерные узлы – передняя и задняя часть горизонтальной теплоотводящей плиты этажа, температура задней теплоотводящей стенки.

Таблица 3.1.1.8

Зависимости температур плиты от параметров сочленения плит

Состояние контакта гор./вер. плиты	Темп. передней части плиты, °С	Темп. задней части плиты, °С	Темп. задн. вертик. плиты, °С
КПТ-8 (Ширина 20 мм)	40,3	30,4	29,2
Сухой контакт (Ширина 20 мм)	44,4	34,7	29,0
КПТ-8 (Ширина 50 мм)	39,7	29,7	29,3
Сухой контакт (Ширина 50 мм)	41,3	31,5	29,1

Выводы.

Температура горизонтальной плиты этажа сильно зависит от состояния пятна контакта между плитами. Наличие смазки снижает температуру в среднем на 4 градуса при ширине полосы 20 мм и на 2 градуса при ширине полосы контакта 50 мм. Температура задней теплоотводящей плиты меняется незначительно.

Рассмотрим теперь другие изменяемые параметры – толщину горизонтальных межэтажных плит. В качестве характерных узлов будет передняя и задняя часть горизонтальной теплоотводящей плиты этажа (см. табл. 3.1.1.9).

Таблица 3.1.1.9

Зависимость температур плиты от ее толщины

Толщина гор. плиты, мм	Темп. передней части плиты, °С	Темп. задней части плиты, °С
15	40,3	30,4
25	37,3	30,4

Выводы.

Температура горизонтальной плиты этажа незначительно зависит от толщины межэтажных плит. Увеличение толщины плит с 15 до 25 мм уменьшает температуру передних частей плит на 3 градуса.

Выбор параметров оребрения панели (радиатора) и условий охлаждения.

Используя разработанную МТП стойки БНК-3 с задней панелью (радиатором) с вынужденным воздушным охлаждением был проведен ряд вычислительных экспериментов по анализу тепловых режимов элементов конструкции с различными геометрическими и теплофизическими параметрами. Расчеты сведены в соответствующие таблицы (табл. 3.1.1.10 и 3.1.1.11).

Таблица 3.1.1.10

Зависимость температуры горизонтальной межэтажной плиты от скорости воздуха

Скорость, м/сек	Темп. передней части плиты, °С	Темп. задней части плиты, °С
1,5	46,3	36,4
2,5	43,3	33,3
3,5	41,7	31,5

Таблица 3.1.1.11

Зависимость температуры плиты от числа ребер

Число ребер, шт.	Темп. передней части плиты, °С	Темп. задней части плиты, °С
41	43,3	33,3
45	42,4	32,3

Моделирование теплового режима стойки в целом при выбранных параметрах.

Полученные в результате расчета температуры представлены в таблице 3.1.1.12. Расчет велся при следующих выбранных параметрах: мощность тепловыделения на этаже 300 Вт/этаж; размер радиатора 1550 × 540 × 10 мм; толщина ребер 4 мм; высота ребер 70 мм; шаг ребер 13 мм; количество ребер 41 шт.; толщина межэтажных плит 8 мм; переход горизонтальная плита – вертикальная задняя стенка – контактное пятно 50 мм с пастой КПТ-8; температура окружающей среды и воздушного потока 20 °С при скорости 2,5 м/с.

Таблица 3.1.1.12

Температуры элементов предлагаемого варианта стойки

№ узла	Темпер., °С	Название конструктивного узла	Температуры корпусов ИС min-max, °С
1	20,0	Окружающая среда	36 - 47
2	20,0	Окружающая среда	
3	42,7	Передняя часть 7 плиты	
4	32,8	Задняя часть 7 плиты	
5	42,8	Передняя часть модуля 7-го этажа	
6	33,1	Задняя часть модуля 7-го этажа	
7	42,7	Передняя часть 6 плиты	
8	33,0	Задняя часть 6 плиты	
9	43,3	Передняя часть модуля 5-го этажа	
10	33,4	Задняя часть модуля 5-го этажа	
11	43,2	Передняя часть 5 плиты	
12	33,2	Задняя часть 5 плиты	
13	43,4	Передняя часть модуля 4-го этажа	
14	33,5	Задняя часть модуля 4-го этажа	

15	43,3	Передняя часть 4 плиты	
16	33,3	Задняя часть 4 плиты	
17	43,4	Передняя часть модуля 3-го этажа	
18	33,5	Задняя часть модуля 3-го этажа	
19	43,3	Передняя часть 3 плиты	
20	33,3	Задняя часть 3 плиты	
21	43,3	Передняя часть модуля 2-го этажа	
22	33,4	Задняя часть модуля 2-го этажа	
23	43,2	Передняя часть 2 плиты	
24	33,1	Задняя часть 2 плиты	
25	42,8	Передняя часть модуля 1-го этажа	
26	33,2	Задняя часть модуля 1-го этажа	
27	42,7	Передняя часть 1 плиты	
28	32,8	Задняя часть 1 плиты	
29	32,5	Задняя стенка 7 полоса	
30	32,8	Задняя стенка 6 полоса	
31	33,0	Задняя стенка 5 полоса	
32	33,0	Задняя стенка 4 полоса	
33	33,0	Задняя стенка 3 полоса	
34	32,8	Задняя стенка 2 полоса	
35	32,5	Задняя стенка 1 полоса	
36	28,2	Корпус стойки	
37	33,9	Воздушный объем внутри стойки	

Выводы.

При использовании вынужденного воздушного охлаждения тепловой режим стойки обеспечивается легче, а сам режим лучше, чем при естественном воздушном охлаждении. Далее в соответствии со схемой последовательности этапов моделирования стоечной конструкции (рис. 3.1.1.8) следует построить модель теплового режима модуля и модель функциональной ячейки и выполнить тепловые расчеты.

4. Моделирование теплового режима предлагаемого варианта конструкции стойки при водяном охлаждении.

В этом варианте конструктивного исполнения БНК-3 используется водяное охлаждение задней плиты, причем задняя плита разбита на несколько участков по высоте, которые с точки зрения протекающей воды включены параллельно. Для построения МТП сделаем те же допущения, что и в предыдущих расчетах.

Построенная с учетом этих допущений МТП представлена на рис. 3.1.1.17.

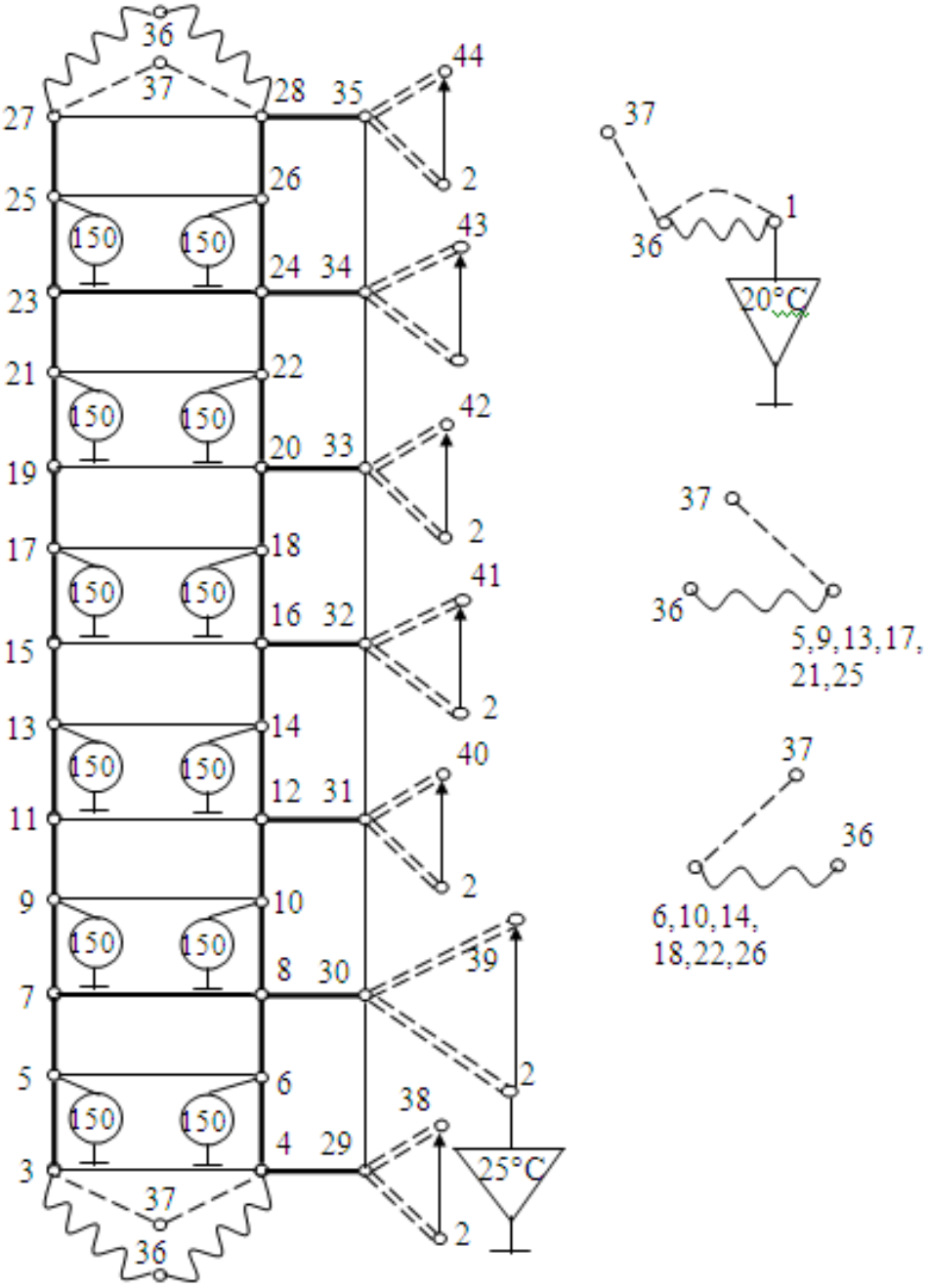


Рис. 3.1.1.17. Модель тепловых процессов предлагаемого варианта конструкции стойки с водяным охлаждением задней панели

Картина протекания теплового процесса в стойке будет выглядеть следующим образом. Тепловая энергия, например, 6-го этажа с его поверхности будет рассеиваться во внутренний воздушный объем конвекцией (ветвь 5-37, 6-37 тип 26) и передаваться корпусу стойки излучением (ветвь 5-36, 6-36 тип 16), а также через контакт передаваться теплоотводящим панелям этажа (ветви 5-3, 4-6 тип 11). По этой панели энергия теплопроводностью (ветви 3-4, 7-6 тип 2) будет передаваться в заднюю часть панели и через контакт (ветви 4-29, 8-30 тип 11) передаваться на заднюю теплоотводящую панель. От нее энергия будет передаваться на заднюю теплоотводящую панель с

проложенными в ней медными трубками с водой. С панели тепловая энергия будет передаваться вынужденной конвекцией (ветви 2-29, 2-38 тип 75). Вода нагревается и выносит тепло из зоны нагрева в магистраль (2-29, 2-38 тип 75). Аналогичная картина будет наблюдаться и на других этажах стойки.

Одной из особенностей данной МТП является то, что каждый этаж разбит на две части передняя и задняя. Соответственно суммарная мощность тепловыделения этажа разбивается на два источника тепловыделения. Например, для шестого этажа это источники тепловыделения в узлах 5 и 6.

Выбор параметров плиты и условий водяного охлаждения.

Скорость прокачки воды выберем такую же, как в исходном варианте стойки с горизонтальными плитами (равную 0,25 м/с). Подвод воды также параллельный к каждой охлаждаемой «полосе». Соответственно температура нагрева воды не будет суммироваться для всей задней теплоотводящей панели. После этого на основе построенной МТП проведем вычислительный эксперимент по изменению и подбору геометрических и теплофизических параметров анализируемой конструкции.

В процессе моделирования будем изменять следующие параметры – наличие/отсутствие смазки между горизонтальными и задней вертикальной плитами; ширину полосы контактного пятна. Характерные узлы – передняя и задняя часть горизонтальной теплоотводящей плиты этажа, температура задней теплоотводящей стенки (см. табл. 3.1.1.13).

Таблица 3.1.1.13

Зависимости температур плиты от параметров сочленения плит

Состояние контакта гор./верт. плиты	Темп. передней части плиты, °С	Темп. задней части плиты, °С	Темп. задн. вертик. плиты, °С
КПТ-8 (ширина 20 мм)	50,3	44,0	43,2
Сухой контакт (ширина 20 мм)	52,5	46,3	42,9
КПТ-8 (ширина 50 мм)	49,9	43,6	43,2
Сухой контакт (ширина 50 мм)	50,9	44,6	43,1

Выводы.

Температура горизонтальной плиты 4-го этажа не сильно зависит от состояния пятна контакта между плитами. Наличие смазки снижает температуру передней части плиты в среднем на 1 градус, при полосе как 20 мм, так и 50 мм. Увеличение ширины полосы контакта

уменьшает в среднем температуру на 1,5 градуса. Температура задней теплоотводящей плиты меняется незначительно. Длину трубки на каждой полосе возьмем также равной длине трубки межэтажной плиты исходной стойки (1500 мм).

Рассмотрим теперь другие изменяемые параметры - толщину горизонтальных межэтажных плит (см. табл. 3.1.1.14). В качестве характерных узлов будет передняя и задняя часть горизонтальной теплоотводящей плиты 4-го этажа.

Таблица 3.1.1.14

Зависимость температуры плиты от ее толщины

Толщина гор. плиты, мм	Темп. передней части плиты, °С	Темп. задней части плиты, °С
15	50,9	44,6
25	48,0	43,3

Выводы.

Температура горизонтальной плиты этажа сильно зависит от толщины плиты. Увеличение ее толщины с 15 до 25 мм уменьшает температуру передней части плиты на 2,9 градуса.

Моделирование теплового режима стойки в целом при выбранных параметрах.

Полученные в результате расчета температуры представлены в табл. 3.1.1.15. Расчеты велись при следующих выбранных параметрах: мощность тепловыделения на этаже 300 Вт/этаж; размер плиты 590 × 1600 × 15 мм; толщина межэтажных плит 15 мм; ширина полосы контакта с задней плитой 50 мм; межконтактная среда паста КПТ-8; скорость воды 0,25 м/с; подача воды – параллельная на все полосы задней стенки; температура окружающей среды 20 °С; температура водяного потока 25 °С.

Таблица 3.1.1.15

Температуры элементов предлагаемого варианта стойки при водяном охлаждении

№ узла	Темпер., °С	Название конструктивного узла	Температуры корпусов ИС мин. макс, °С
1	20,0	Окружающая среда	32,8-45,1
2	20,0	Окружающая среда	
3	39,8	Передняя часть 7 плиты	
4	30,4	Задняя часть 7 плиты	
5	40,0	Передняя часть 6-го этажа	
6	30,7	Задняя часть 6-го этажа	
7	39,9	Передняя часть 6 плиты	
8	30,5	Задняя часть 6 плиты	
9	40,1	Передняя часть 5-го этажа	
10	30,8	Задняя часть 5-го этажа	

11	40,1	Передняя часть 5 плиты	
12	30,5	Задняя часть 5 плиты	
13	40,3	Передняя часть 4-го этажа	
14	30,7	Задняя часть 4-го этажа	
15	40,3	Передняя часть 4 плиты	
16	30,4	Задняя часть 4 плиты	
17	40,5	Передняя часть 3-го этажа	
18	30,6	Задняя часть 3-го этажа	
19	40,4	Передняя часть 3 плиты	
20	30,3	Задняя часть 3 плиты	
21	40,5	Передняя часть 2-го этажа	
22	30,5	Задняя часть 2-го этажа	
23	40,3	Передняя часть 2 плиты	
24	30,3	Задняя часть 2 плиты	
25	40,4	Передняя часть 1-го этажа	
26	30,5	Задняя часть 1-го этажа	
27	40,2	Передняя часть 1 плиты	
28	30,3	Задняя часть 1 плиты	
29	29,6	Задняя стенка 7 полоса	
30	29,2	Задняя стенка 6 полоса	
31	29,2	Задняя стенка 5 полоса	
32	29,1	Задняя стенка 4 полоса	
33	29,1	Задняя стенка 3 полоса	
34	29,1	Задняя стенка 2 полоса	
35	29,5	Задняя стенка 1 полоса	
36	26,9	Корпус стойки	
37	31,7	Воздушный объем внутри стойки	
38	27,1	Вода на выходе 7 полосы	
39	27,6	Вода на выходе 6 полосы	
40	27,6	Вода на выходе 5 полосы	
41	27,6	Вода на выходе 4 полосы	
42	27,5	Вода на выходе 3 полосы	
43	27,5	Вода на выходе 2 полосы	
44	27,1	Вода на выходе 1 полосы	

Выводы.

Водяное охлаждение является самым эффективным. И снимает все проблемы с охлаждением, но требует наличия магистрали с водой.

Далее в соответствии со схемой последовательности этапов моделирования стоечной конструкции (рис. 3.1.1.8) следует построить модель теплового режима модуля и модель функциональной ячейки и выполнить тепловые расчеты.

Сводные выводы по результатам исследований.

Для более обоснованного принятия решений по применяемым видам охлаждения ниже приводится сводная табл. 3.1.1.16 и рис. 3.1.1.18, на которых отражены зависимости температур

конструктивного узла от мощности и применяемого вида охлаждения. В качестве конструктивного узла берется горизонтальная теплоотводящая панель. Температуры этих панелей и определяют в основном тепловой режим этажей. Средняя температура плиты не должна превышать 38 °С.

Итак, наибольшие трудности возникают при естественном воздушном охлаждении, в связи с чем необходимо снижать мощность этажа. Вынужденное воздушное и водяное охлаждение гораздо эффективнее.

Таблица 3.1.1.16

Температуры горизонтальной плиты при разных видах ее охлаждения и мощности тепловыделения

Температура передней (задней) частей межэтажной плиты, °С			
Мощность этажа, Вт	Естественное воздушное охлаждение (ЕК), °С	Вынужденное воздушное охлаждение (ВК), °С	Вынужденное водяное охлаждение (вода), °С
200	41,2	35,6	35,2
250	45,6	39,5	37,8
300	49,9	43,3	40,3

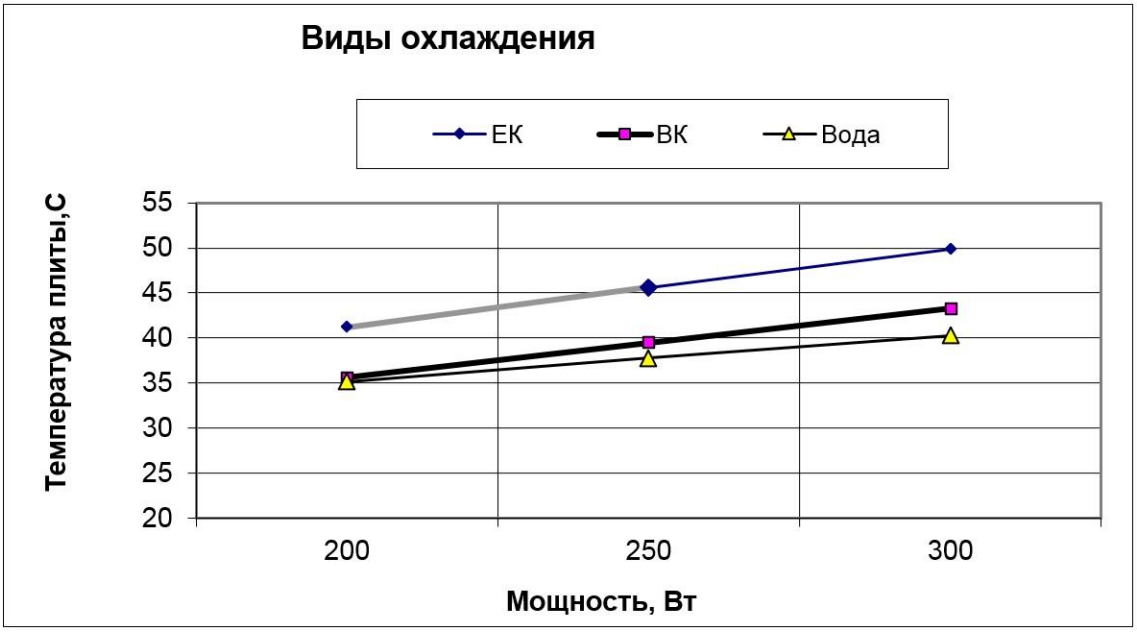


Рис. 3.1.1.18. Зависимость температур межэтажных плит от различных видов охлаждения (проведя горизонтальную линию на уровне 38 °С в точках пересечения графиков, можно получить максимально допустимую мощность рассеяния этажа при данном виде охлаждения)

3.2. Тепловые расчеты блоков

3.2.1. Моделирование теплового режима модуля, входящего в стойку БНК-3

Задача расчета.

Продолжить моделирование тепловых процессов стойки БНК-3 (см. п. 3.1.1) в соответствии со схемой последовательности этапов моделирования стоечной конструкции (рис. 3.1.1.8). В данном параграфе будет рассмотрен этап 2 – моделирование теплового режима модуля для исходного варианта стоечной конструкции, для предложенного варианта стоечной конструкции при естественном воздушном охлаждении, при принудительном воздушном охлаждении и при водяном охлаждении.

Данные для расчета: см. п. 3.1.1.

Результаты моделирования.

1. Моделирование теплового режима модуля для исходного варианта стоечной конструкции.

После моделирования стойки в целом, с использованием полученных температур межэтажных плит и интегральных температур этажей, осуществляется анализ теплового режима 2-секционного модуля, эскиз которого приводится на рис. 3.1.1.2. При построении МТП были приняты следующие допущения: крышки и рамка модуля изотермичные; каждая функциональная ячейка моделируется одним условно изотермичным объемом, к которому присоединен источник мощности 6,25 Вт.

С учетом принятых допущений и обозначений (см. табл. 3.1.1.1) был синтезирован граф тепловой модели, общий вид которого приведен на рис. 3.2.1.1а.

Структура синтезированной модели ориентирована на определение перегревов элементов модуля, которые необходимы в процессе детального моделирования тепловых процессов в функциональных ячейках.

На рис. 3.2.1.1б приведены граничные условия, полученные на предыдущем этапе моделирования (Т1, Т2 – температуры межэтажных плит; Т3, Т4 - интегральные температуры соседних модулей).

В табл. 3.2.1.1 приведены результаты анализа теплового режима модуля.

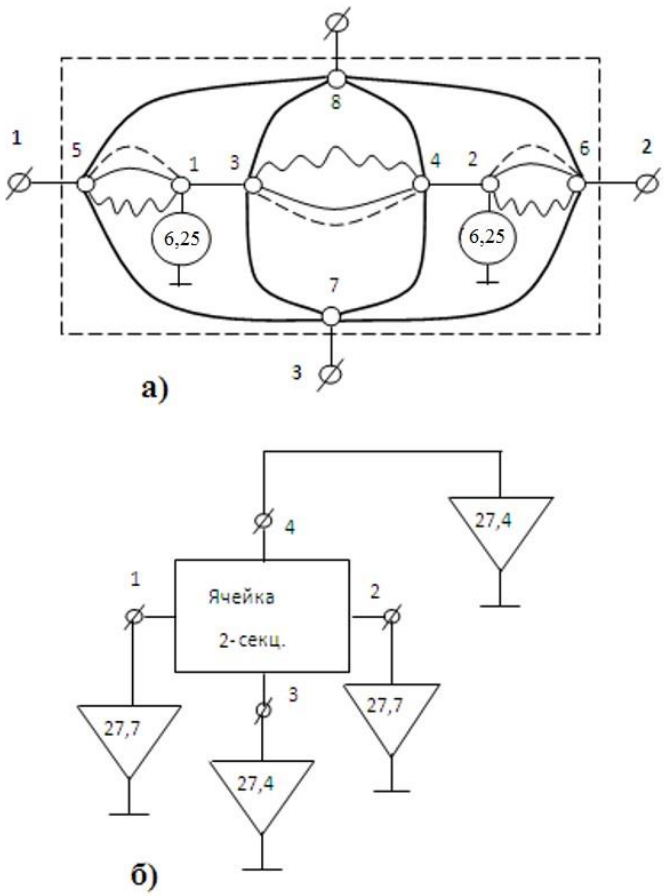


Рис. 3.2.1.1. Модель тепловых процессов 2-секционного модуля: а) – общий вид: 1, 2 – многослойные печатные платы; 3, 4 – металлические основания; 5, 6 – крышки; 7, 8 – рамка и Т-образные вкладки; б) – граничные условия

Таблица 3.2.1.1

Результаты анализа теплового режима модуля

Узел. МТП	Температура, °С	Наименование узла МТП
1	28,4	Печатная плата
2	28,4	Печатная плата
3	28,4	Металлическое основание
4	28,4	Металлическое основание
5	28,1	Крышка модуля
6	28,1	Крышка модуля
7	28,0	Рамка
8	28,0	Рамка
9	28,1	Крышка соседнего модуля (слева)
10	28,1	Крышка соседнего модуля (справа)
11	27,7	Плита нижняя
12	27,7	Плита верхняя

2. Моделирование теплового режима модуля для предложенного варианта стоечной конструкции при естественном охлаждении.

Был выполнен анализ теплового режима модуля для варианта конструкции, в состав которой входила панель (радиатор) с параметрами: высота ребер – 120 мм; количество ребер – 45. На рис. 3.2.1.2 приведены граничные условия, а в табл. 3.2.1.2 – результаты моделирования.

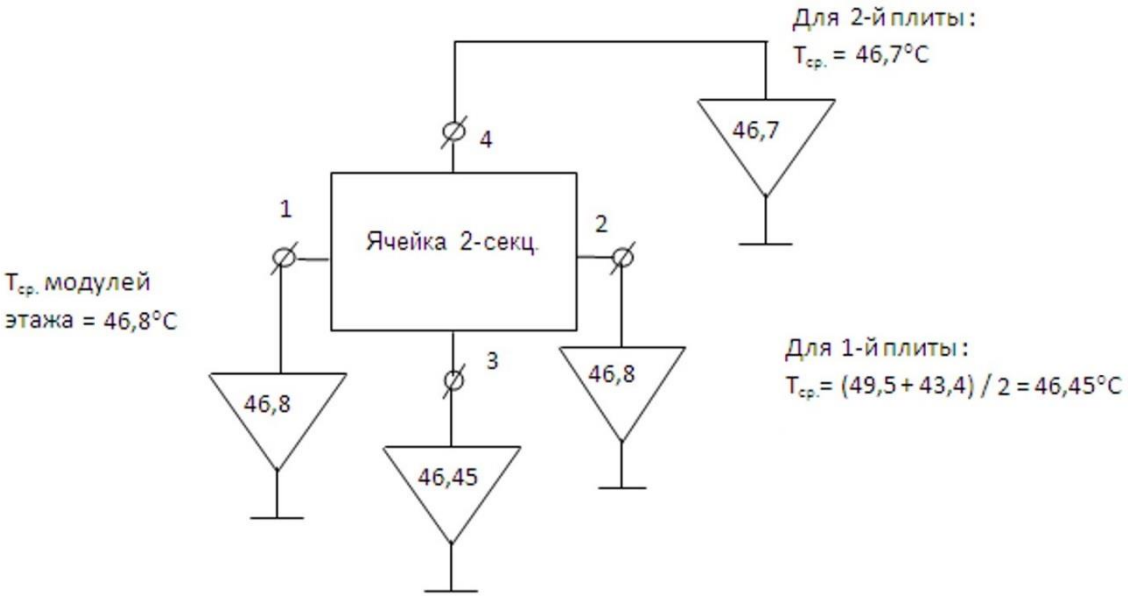


Рис. 3.2.1.2. Модель тепловых процессов 2-секционного модуля

Таблица 3.2.1.2

Результаты анализа теплового режима модуля

Узел. МТП	Температура, °С	Наименование узла МТП
1	28,4	Печатная плата
2	28,4	Печатная плата
3	28,4	Металлическое основание
4	28,4	Металлическое основание
5	28,1	Крышка модуля
6	28,1	Крышка модуля
7	28,0	Рамка
8	28,0	Рамка
9	28,1	Крышка соседнего модуля (слева)
10	28,1	Крышка соседнего модуля (справа)
11	27,7	Плита нижняя
12	27,7	Плита верхняя

3. Моделирование теплового режима модуля для предложенного варианта стоечной конструкции с принудительным воздушным охлаждением.

Результаты моделирования представлены на рис. 3.2.1.3 и в табл. 3.2.1.3.

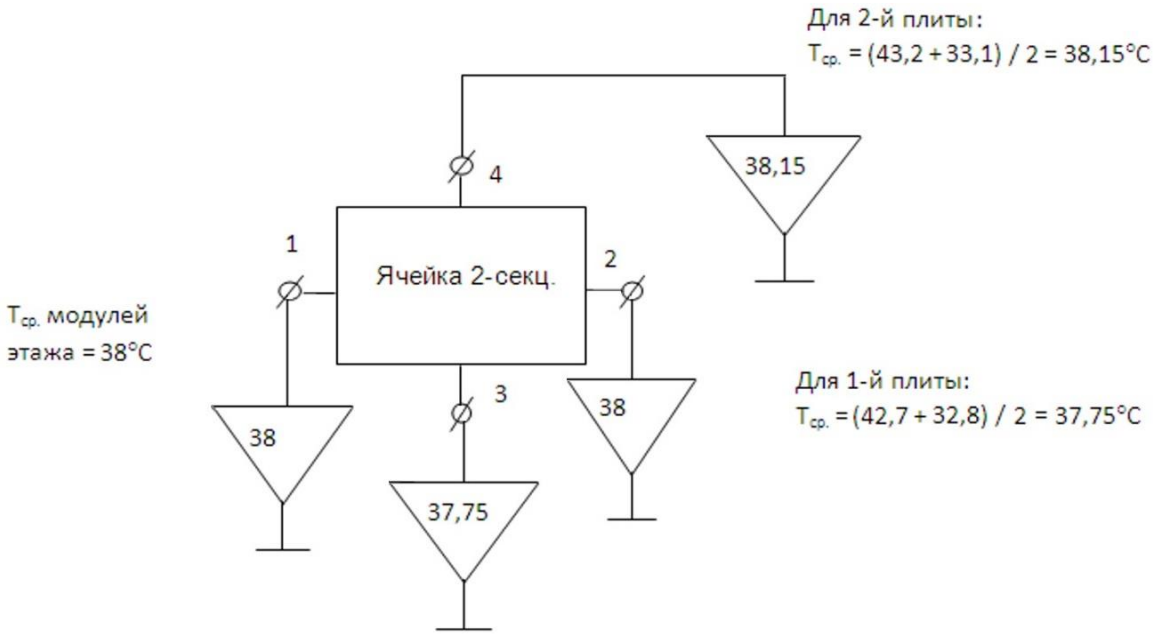


Рис. 3.2.1.3. Модель тепловых процессов 2-секционного модуля

Таблица 3.2.1.3

Результаты анализа теплового режима модуля

Узел. МТП	Температура, °С	Наименование узла МТП
1	38,6	Печатная плата
2	38,6	Печатная плата
3	38,52	Металлическое основание
4	38,52	Металлическое основание
5	38,3	Крышка модуля
6	38,3	Крышка модуля
7	38,3	Рамка
8	38,2	Рамка
9	38,0	Крышка соседнего модуля (слева)
10	38,0	Крышка соседнего модуля (справа)
11	37,75	Плита нижняя
12	38,15	Плита верхняя

4. Моделирование теплового режима модуля для предложенного варианта стоечной конструкции при водяном охлаждении.

Результаты моделирования представлены на рис. 3.2.1.4 и в табл. 3.2.1.4.

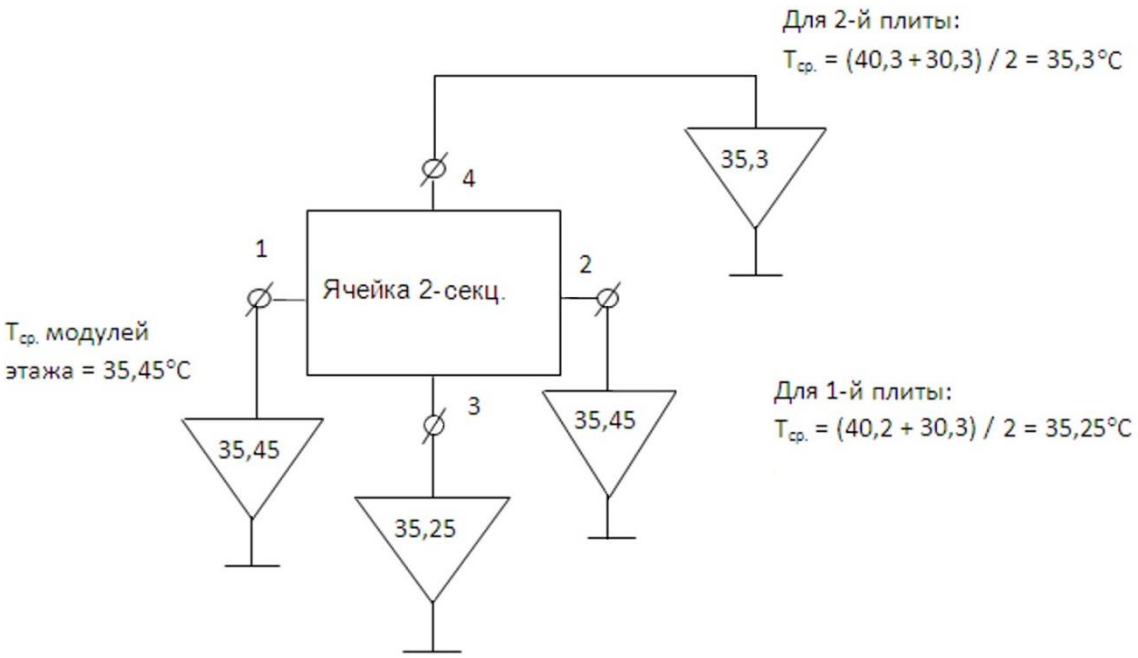


Рис. 3.2.1.4. Модель тепловых процессов 2-секционного модуля

Таблица 3.2.1.4

Результаты анализа теплового режима модуля

Узел. МТП	Температура, °C	Наименование узла МТП
1	36,15	Печатная плата
2	36,15	Печатная плата
3	36,10	Металлическое основание
4	36,10	Металлическое основание
5	35,85	Крышка модуля
6	35,85	Крышка модуля
7	35,80	Рамка
8	35,80	Рамка
9	35,45	Крышка соседнего модуля (слева)
10	35,45	Крышка соседнего модуля (справа)
11	35,25	Плита нижняя
12	35,30	Плита верхняя

Выводы.

Предложены несколько вариантов конструкции с различными вариантами охлаждения. По результатам моделирования тепловых процессов можно выбрать подходящий вариант конструкции.

3.2.2. Моделирование тепловых процессов, протекающих в несущей конструкции приемопередатчика

Задача расчета.

Выполнить моделирование тепловых процессов несущей конструкции приемопередатчика. Определить температуры печатного узла (ПУ) и конструкции приемопередатчика в целом.

Данные для расчета.

В качестве исходных данных для расчета были получены чертежи конструкции и всех необходимых деталей, которые играют важную роль при анализе тепловых воздействий.

Габаритные размеры модуля: 179 × 151 × 48 мм.

Верхняя крышка: 166 × 148,6 × 2 мм (масса 170 г).

Нижняя крышка: 136 × 148,6 × 2 мм (масса 160 г).

Левая стенка: 139 × 2 × 48 мм.

Правая стенка: 139 × 2 × 48 мм.

Передняя стенка: 144,5 × 2 × 48 мм.

Задняя стенка (с радиатором): 144,5 × 2 × 48 мм.

Параметры радиатора на задней стенке модуля: 16 ребер, ширина ребра – 2,5 мм, длина ребра – 48 мм, высота ребра – 40 мм, расстояние между ребрами – 4,5 мм.

Материал несущей конструкции – дюралюминий АЛ2: коэффициент теплопроводности – 169 Вт / (м × К), коэффициент черноты – 0,37.

Модуль всей нижней поверхностью контактирует с теплоотводом, температура которого принимается равной +55 °С (температура окружающей среды). При этом используется паста КПТ-8, для которой коэффициент смазки равен 0,2.

Были определены основные тепловыделяющие узлы и заданы мощности тепловыделения: для модуля СВЧ – 20 Вт;

для печатного узла:

D1 – 2 Вт;

D3 – 200 мВт;

D101 – 200 мВт;

D102 – 200 мВт;

D401 – 2 Вт;

D501, D502 – 1,2 Вт;

V503 – 0,3 Вт;

R314 – 2 Вт;

R315 – 0,5 Вт;

R317 – 0,5 Вт;

Модуль ДСН – 3 Вт.

Таким образом, суммарная мощность, рассеиваемая ПУ, составляет по 12,1 Вт.

Для расчета была принята температура окружающей среды +55 °С. Конструкция блока окружена воздухом.

Анализ тепловых процессов.

На основе полученных данных была построена модель тепловых процессов блока приемопередатчика (рис. 3.2.2.1).

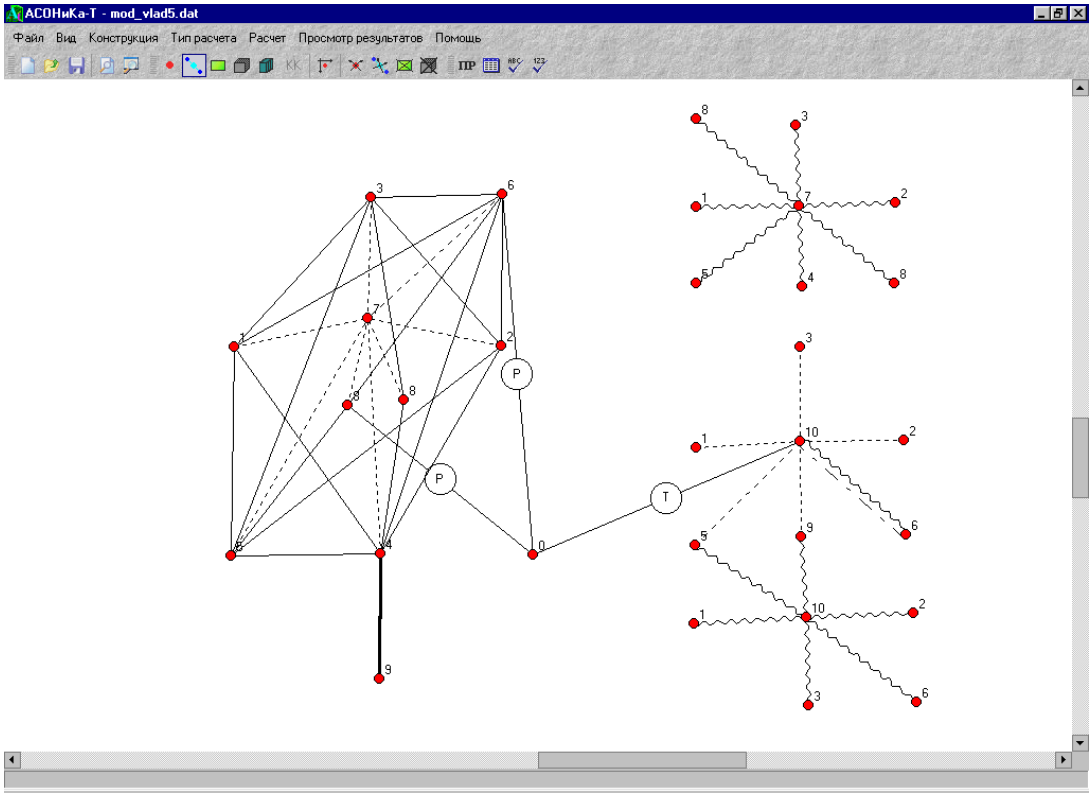


Рис. 3.2.2.1. Модель тепловых процессов блока приемопередатчика и узлы модели: 1 – левая стенка корпуса; 2 – правая стенка корпуса; 3 – верхняя стенка корпуса; 4 – нижняя стенка корпуса; 5 – передняя стенка корпуса; 6 – задняя стенка корпуса; 7 – воздух внутри модуля; 8 – печатный узел; 9 – теплоотвод; 10 – окружающая среда

Стенки корпуса взаимодействуют между собой через кондуктивный теплоперенос, образуя связи 1-3, 1-4, 1-5, 1-6, 2-3, 2-4, 2-5, 2-6, 3-5, 3-6, 4-5, 4-6. Кроме того, печатный узел *8* взаимодействует с передней и задней стенками посредством кондуктивной связи. Все стенки корпуса, кроме задней и нижней, и теплоотвод взаимодействуют с внешней средой посредством излучения и конвекции, образуя связи 1-10, 2-10, 3-10, 5-10, 9-10. Задняя стенка представляет собой радиатор, что в модели отражено ветвью 6-10 (конвективно-кондуктивно-лучистая теплопередача с оребренной поверхности). Нижняя стенка контактирует с теплоотводом (ветвь 4-9). Печатный узел и стенки блока взаимодействует посредством конвекции с воздухом внутри блока, образуя связи 8-7, 1-7, 2-7, 3-7, 4-7, 5-7, 6-7. К соответствующим узлам были подключены ветви,

представляющие собой источники мощности (8-0) и источники температуры (10-0).

Результаты моделирования.

В результате моделирования были получены значения температур в узлах модели (см. табл. 3.2.2.1).

Таблица 3.2.2.1

Значения температур в узлах модели (°С)

Номер узла	Наименование	Температура	Номер узла	Наименование	Температура
1	левая стенка	90,2	2	правая стенка	89,9
3	верхняя стенка	91,2	4	нижняя стенка	91,2
5	передняя стенка	89,3	6	задняя стенка	96,4
7	воздух внутри модуля	91,2	8	печатный узел	91,3
9	теплоотвод	91,2	10	окружающая среда	55

Выводы.

В результате проведенного расчета были получены исходные данные (граничные условия) для последующего анализа температур электрорадиоизделий в составе печатного узла.

3.2.3. Моделирование тепловых процессов в блоке преобразователя напряжения

Задача расчета.

Провести расчет стационарного теплового режима конструкции блока преобразователя напряжения, расположенного в ящике с оребрением и имеющего принудительный обдув с помощью вентилятора внутри ящика. На основе анализа тепловых характеристик сделать выводы о выполнении требований по стойкости блока преобразователя напряжения к тепловым воздействиям.

Данные для расчета:

сборочный чертеж блока (эскиз блока представлен на рис. 3.2.3.1 (на элементе 5 расположены ребра высотой 70 и шириной 20 мм с шагом 20 мм (всего 30 ребер));

мощности тепловыделений элементов конструкции блока (см. табл. 3.2.3.1);

температура окружающей среды +20 ºС;

вентилятор марки АД31 с производительностью 280 м^3/ч.

Анализ исходных данных.

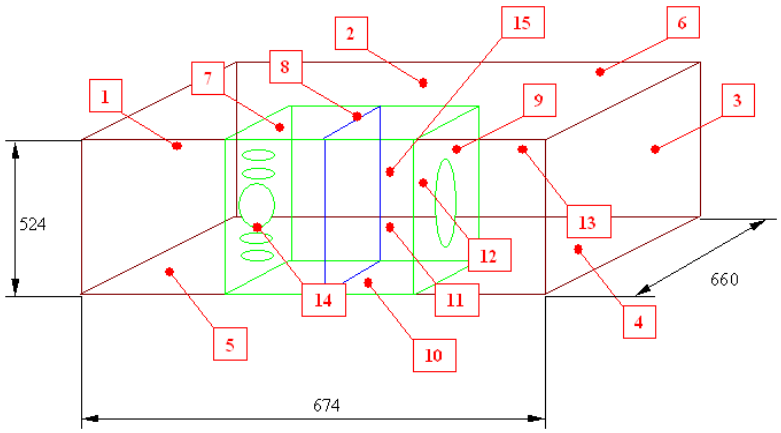


Рис. 3.2.3.1. Модель ящика с блоком

Таблица 3.2.3.1

Номера узлов элементов тепловой модели и мощности тепловыделений

№ узла	Элемент	Мощность тепловыделения, Вт
1	Левая стенка ящика	
2	Верхняя стенка ящика	
3	Правая стенка ящика	
4	Нижняя стенка ящика	
5	Передняя стенка ящика	
6	Задняя стенка ящика	
7	Левая стенка блока	
8	Верхняя стенка блока	
9	Правая стенка блока	
10	Нижняя стенка блока	
11	Передняя стенка блока	
12	Задняя стенка блока	
13	Воздух внутри ящика	
14	Воздух на входе блока	
15	Воздух на выходе блока	
16	Окружающая среда	
17	Элемент A18	100
18	Элемент A19	30
19	Элемент A14	45
20	Элемент A15	45
21	Элемент A16	45
22	Элемент A5	1
23	Элемент A7	1
24	Элемент A10	1
25	Элемент A11	1
26	Элемент A12	1
27	Элемент A9	80
28	Элемент L2	85
29	Элемент A8	165
30	Элемент V2	5
31	Элемент A1	3
32	Элемент A2	1
33	Элемент A6	2

Результаты моделирования.

Конструкция блока разбита на 33 условно изотермических объема, которым ставим в соответствие 33 узла МТП (см. табл. 3.2.3.1).

Рассмотрим МТП преобразователя, находящегося в ящике. Воздух внутри ящика циркулирует как в замкнутом контуре. С одной стороны ящика находится радиатор.

Кроме того, на одной из стенок блока, который устанавливается сзади радиатора, находится вентилятор, а на противоположных стенках имеются отверстия для прохождения воздуха, т.о. воздух циркулирует внутри ящика, обдувая блок со всех сторон.

Все стенки ящика кондуктивно взаимодействуют между собой (ветви 2-6, 2-1, 2-5, 2-3, 4-1, 4-5, 4-3, 4-6, 1-6, 1-5, 3-5, 3-6 типа 2 на рис. 3.2.3.2, а); кроме того, все стенки посредством конвекции и излучения взаимодействуют с воздухом окружающей среды (ветви 1-16, 2-16, 3-16, 6-16, 4-16 типа 26 и 16) и посредством естественной и вынужденной конвекции с воздухом внутри ящика (ветви 1-13, 5-13, 2-13, 3-13, 6-13, 4-13 типа 26 и 51). Противоположные стенки ящика взаимодействуют внутренними поверхностями между собой излучением (ветви 1-3, 2-4, 5-6 типа 16).

Конвективно-кондуктивно-лучистая теплопередача с оребренной поверхности передней стенки ящика моделируется ветвью 5-16 типа 36.

Аналогично ящику тепло кондуктивно передается между стенками блока (ветви 8-12, 8-7, 8-11, 8-9, 10-7, 10-11, 10-9, 10-12, 7-12, 7-11, 9-11, 9-12 типа 2), а также посредством естественной и вынужденной конвекции с обдувающим его воздухом (ветви 7-13, 8-13, 9-13, 12-13, 10-13 типа 26 и 51). Кроме того, стенки блока и ящика взаимодействуют между собой посредством излучения – ветви 9-3, 10-4, 7-1, 8-2 и 12-6 типа 16.

Контактный теплообмен между передней стенкой блока и передней стенкой ящика (радиатором) моделируется ветвью 11-5 типа 11.

Так как внутри блока происходит движение воздуха, то в нем присутствует массоперенос: ветви 13-15-14-13 типа 71.

Внутри блока воздух разделим на две части: воздух на входе в блок и воздух на выходе блока. Внутри блока расположены печатные узлы (8 штук) – A1, A2, A5, A7, A6, A10, A11 и A12, а также элементы A18, A19, A14, A15, A16, A9, L2, A8 и V2.

Воздух на входе в блок (узел 15) взаимодействует посредством естественной (ветви типа 26) и вынужденной (ветви типа 51) конвекции с элементами, обозначенными узлами: 8, 12, 10, 33, 32, 31, 30, 29, 28, 27 и 11, причем с элементами, обозначенными узлами 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, воздух взаимодействует с обеих сторон.

Аналогично воздух на выходе блока (узел 14) взаимодействует посредством естественной (ветви типа 26) и вынужденной (ветви типа 51) конвекции с элементами, обозначенными узлами 11, 8, 12, 10, 26,

25, 24, 23, 22, 21, 20, 19, 17 и 18, а с элементами, обозначенными узлами 26, 25, 24, 23, 22, 21, 20, 19, 17 и 18, воздух взаимодействует с обеих сторон.

Передняя (узел 11) и задняя (узел 12) стенки блока посредством излучения (ветви типа 16) взаимодействуют с элементами, обозначенными узлами 18, 17, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32 и 33.

Контактный теплообмен между передней стенкой блока (узел 11) и элементами, обозначенными узлами 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, моделируется ветвями типа 11.

Контактный теплообмен между передней стенкой блока (узел 11) и элементами, обозначенными узлами 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, моделируется ветвями типа 11.

Выделение тепловой энергии в блоке моделируется включением в узлы 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33 источников тепловой энергии (ветвь типа 101).

Ветвь 16-0 типа 111 моделирует температуру окружающей среды.

Результаты расчета.

Полученные результаты моделирования для различных вариантов конструкции блока преобразователя напряжения приведены в таблице 3.2.3.2. Представленные значения температур соответствуют среднеинтегральным значениям по каждому элементу.

В таблице 3.2.3.3 приведены результаты расчета для рекомендуемого варианта блока: с вентиляцией и проводящим контактом между элементами и передней стенкой блока (смазка КПТ-8). Максимальная температура (элемент А8) составляет 51 °С.

Таблица 3.2.3.2

Результаты моделирования тепловых процессов

№ узла	Элементы	Мощ-ность	Номер варианта							
			1	2	3	4				5
						а	б	в	г	
1	Левая стенка ящика		35,4	22,7	25,3	24,3	25,3	26,5	27,1	22,8
2	Верхняя стенка ящика		47,9	23,9	26,3	25,3	26,3	27,3	27,3	23,2
3	Правая стенка ящика		35,4	22,7	25,3	24,3	25,3	26,5	27,1	22,8
4	Нижняя стенка ящика		47,9	23,9	26,3	25,3	25,8	26,4	26,9	23,4
5	Передняя стенка ящика		114	27	26,6	26,8	26,6	26,3	26,2	27,2
6	Задняя стенка ящика		40,7	23,6	25,8	24,9	25,8	26,8	27,2	23,4
7	Левая стенка блока		56,6	26,5	30,5	28,3	29,4	29,8	27,6	24,8
8	Верхняя стенка блока		80,3	33,8	30,5	32,7	31,6	30,6	27,6	25,7
9	Правая стенка блока		56,6	26,5	30,5	28,3	29,4	29,8	27,6	24,8
10	Нижняя стенка блока		80,3	33,8	30,5	32,7	31,6	30,5	27,6	25,9
11	Передняя стенка блока		114	27,6	27	27,2	27	26,7	26,5	27,3
12	Задняя стенка блока		75,2	33,5	33,1	33,2	32,5	31,2	27,7	26,2

13	Воздух внутри ящика		54,5	26,3	33,1	29,3	30,6	30,6	27,6	25,3
14	Воздух на входе блока		110	44,4	33,1	39,3	34,8	31,4	27,7	27,5
15	Воздух на выходе блока		111	46	33,1	37,9	34,1	31,3	27,7	27,1
16	Окружающая среда		20	20	20	20	20	20	20	20
17	Элемент A18	100	159	82,1	77,7	78,1	74,1	66,6	52,3	41,9
18	Элемент A19	30	150	77,9	71,7	72,5	67,4	58,5	44,4	43,8
19	Элемент A14	45	171	91,2	88,2	88,4	85,7	79,9	51,4	42,4
20	Элемент A15	45	171	91,2	88,2	88,4	85,7	79,9	51,4	42,4
21	Элемент A16	45	171	91,2	88,2	88,4	85,7	79,9	51,4	42,4
22	Элемент A5	1	109	38.1	31,5	35,5	32,8	30,9	27,8	27,8
23	Элемент A7	1	109	38.1	31,5	35,5	32,8	30,6	27,8	27,8
24	Элемент A10	1	113	35,5	31	33,8	32	30,6	27,9	27,9
25	Элемент A11	1	113	35,5	31	33,8	32	30,6	27,9	27,9
26	Элемент A12	1	113	35,9	31	34	32,1	30,6	27,9	27,9
27	Элемент A9	80	182	101	98,1	97,5	94,5	87,5	71,6	44,5
28	Элемент L2	85	145	70,4	64,8	65,6	62,3	56,6	35,8	39,0
29	Элемент A8	165	205	126	123	122	119	111	68,8	51,0
30	Элемент V2	5	117	30,8	29,9	30,3	29,9	29,6	29	27,9
31	Элемент A1	3	114	40,2	34,4	36,5	34,6	32,6	28,2	28,9
32	Элемент A2	1	111	37,8	31,3	34	32,1	30,6	27,8	27,8
33	Элемент A6	2	115	37,8	32,9	34,8	33,3	31,9	28,2	28,5

Примечание – Вариант блока № 1: без вентиляции, без перфорации в блоке и без радиатора; вариант блока № 2: без вентиляции и без перфорации в блоке, но с радиатором; вариант блока № 3: без вентиляции, но с перфорацией в блоке и с радиатором; вариант блока № 4: с вентиляцией и сухим контактом между элементами и передней стенкой блока:

а) скорость воздуха 0,3 м/с; б) скорость воздуха 1,3 м/с;

в) скорость воздуха 10 м/с; г) скорость воздуха 100 м/с;

вариант блока № 5: с вентиляцией и проводящим контактом между элементами и передней стенкой блока (смазка КПТ-8).

Таблица 3.2.3.3

Рекомендуемый вариант блока: с вентиляцией и проводящим контактом между элементами и передней стенкой блока (смазка КПТ-8)

№ узла	Элемент	Мощность тепловыделения, Вт	Температура в узле модели, 0 °С
1	Левая стенка ящика		22,8
2	Верхняя стенка ящика		23,2
3	Правая стенка ящика		22,8
4	Нижняя стенка ящика		23,4
5	Передняя стенка ящика		27,2
6	Задняя стенка ящика		23,4
7	Левая стенка блока		24,8
8	Верхняя стенка блока		25,7
9	Правая стенка блока		24,8
10	Нижняя стенка блока		25,9
11	Передняя стенка блока		27,3
12	Задняя стенка блока		26,2
13	Воздух внутри ящика		25,3
14	Воздух на входе блока		27,5

15	Воздух на выходе блока		27,1
16	Окружающая среда		20,0
17	Элемент A18	100	41,9
18	Элемент A19	30	43,8
19	Элемент A14	45	42,4
20	Элемент A15	45	42,4
21	Элемент A16	45	42,4
22	Элемент A5	1	27,8
23	Элемент A7	1	27,8
24	Элемент A10	1	27,9
25	Элемент A11	1	27,9
26	Элемент A12	1	27,9
27	Элемент A9	80	44,5
28	Элемент L2	85	39,0
29	Элемент A8	165	51,0
30	Элемент V2	5	27,9
31	Элемент A1	3	28,9
32	Элемент A2	1	27,8
33	Элемент A6	2	28,5

Выводы.

Анализ тепловых характеристик показал, что требования по стойкости блока преобразователя напряжения к тепловым воздействиям выполнены.

3.2.4. Моделирование тепловых процессов в блоке картографа: тепловой расчет на предельные температуры

Задача расчета.

Провести моделирование на ЭВМ тепловых процессов в блоке картографа. Сделать выводы о выполнении требований по стойкости блока к тепловым воздействиям. В случае неудовлетворительных результатов дать рекомендации по обеспечению тепловых режимов блока.

Данные для расчета:

сборочный чертеж конструкции блока (см. эскиз на рис. 2.2.3.1 – данная конструкция картографа рассчитывалась в п. 2.2.3 при помощи АСОНИКА-В);

мощности тепловыделений в узлах блока:

1 – дисплей NL6448AC20-6: 5,5 Вт;

4 – компьютер PC-510: 7,8 Вт;

5 – флеш-диск SDIBI-40-101: 0,6 Вт;

6 – блок электроэлементов: 8,1 Вт;

7 – приемное устройство 14Ц821В1: 5 Вт;

максимально допустимая температура узла в блоке +45 °С;

температура окружающей среды +50 ºС.

Составление МТП картографа.

Конструкция разбита на 11 условно изотермических объемов, которым ставим в соответствие 11 узлов МТП:

1 – левая стенка блока;

2 – верхняя стенка блока (1);

3 – правая стенка блока;

4 – нижняя стенка блока;

5 – передняя стенка блока;

6 – задняя стенка блока;

7 – окружающая среда;

8 – компьютер РС-510 (4);

9 – флеш-диск SDIBI-40-101 (5);

10 – блок электроэлементов (6);

11 – приемное устройство 14Ц821В1 (7).

Каждая стенка блока взаимодействует с четырьмя соседними стенками блока (ветви: 1-2, 1-4, 1-5, 1-6, 2-3, 2-5, 2-6, 3-4, 3-5, 3-6, 4-5, 4-6, 5-6 типа 02 – кондукция, вычисляемое тепловое сопротивление).

Естественная конвекция и излучение от стенок блока в окружающую среду моделируются ветвями 1-7, 2-7, 3-7, 4-7, 5-7, 6-7 типа 26 и 16. Ветвь 7-0 типа 111 моделирует температуру окружающей среды.

Печатная плата компьютера РС-510 (узел 8) взаимодействует излучением с правой стенкой блока (ветвь 8-3 типа 16). Кроме того, взаимодействие между платой и правой стенкой блока описывается ветвью 8-3 типа 30 - естественная конвекция между двумя плоскими неразвитыми поверхностями. Выделение тепловой энергии в плате моделируется включением в узел 8 источника тепловой энергии (ветвь типа 101).

Флеш-диск SDIBI-40-101 (узел 9) взаимодействует излучением с блоком электроэлементов (узел 10) (ветвь 9-10 типа 16) и с приемным устройством 14Ц821В1 (узел 11) (ветвь 9-11 типа 16). Кроме того, взаимодействие между флеш-диском и блоком электроэлементов описывается ветвью 9-10 типа 30 – естественная конвекция между двумя плоскими неразвитыми поверхностями. Ветвью 9-11 типа 30

описывается взаимодействие между флеш-диском и приемным устройством. Кондуктивный теплообмен между флеш-диском и верхней стенкой блока (узел 2) моделируется ветвью 9-2 типа 1. Выделение тепловой энергии в флеш-диске моделируется включением в узел 9 источника тепловой энергии (ветвь типа 101).

Блок электроэлементов (узел 10) взаимодействует излучением с приемным устройством 14Ц821В1 (узел 11) (ветвь 10-11 типа 16) и с нижней стенкой блока (узел 4) (ветвь 10-4 типа 16). Кроме того, взаимодействие между блоком электроэлементов и нижней стенкой блока описывается ветвью 10-4 типа 30 – естественная конвекция между двумя плоскими неразвитыми поверхностями. Ветвью 10-11 типа 30 описывается взаимодействие между блоком электроэлементов и приемным устройством. Кондуктивный теплообмен между блоком электроэлементов и верхней стенкой блока (узел 2) моделируется ветвью 10-2 типа 1. Выделение тепловой энергии в блоке электроэлементов моделируется включением в узел 10 источника тепловой энергии (ветвь типа 101).

Приемное устройство 14Ц821В1 (узел 11) взаимодействует излучением с левой стенкой блока (узел 1) (ветвь 11-1 типа 16) и с нижней стенкой блока (узел 4) (ветвь 11-4 типа 16). Кроме того, взаимодействие между приемным устройством и нижней стенкой блока описывается ветвью 11-4 типа 30 – естественная конвекция между двумя плоскими неразвитыми поверхностями. Ветвью 11-1 типа 30 описывается взаимодействие между приемным устройством и левой стенкой блока. Кондуктивный теплообмен между приемным устройством и верхней стенкой блока (узел 2) моделируется ветвью 11-2 типа 1. Выделение тепловой энергии в блоке электроэлементов моделируется включением в узел 11 источника тепловой энергии (ветвь типа 101).

Внутри блока взаимодействуют излучением верхняя и нижняя стенки блока (ветвь 2-4 типа 16). Кроме того, взаимодействие между ними описывается ветвью 2-4 типа 30 – естественная конвекция между двумя плоскими неразвитыми поверхностями.

После ввода описанных выше ветвей МТП в графическом редакторе АСОНИКА-Т формируется файл МТП, который выглядит следующим образом.

```
ТИПК=01
ТИПР=01
 ФПЧ=00
ТЕСТ=00
  11 - количество узлов модели
"11122233311111111222222223333333344444444555555556666666677777 7
   1  2  2     300       1     161     180
   1  5  2     169       1     226     180
   1  4  2     300       1     161     180
   1  6  2     169       1     226     180
   2  3  2     300       1     161     180
   2  5  2     152       1     235     180
   2  6  2     152       1     235     180
   4  3  2     300       1     161     180
   3  5  2     169       1     226     180
   3  6  2     169       1     226     180
   4  6  2     152       1     235     180
   4  5  2     152       1     235     180
   1  7 26     169     300       1       4     760
   1  7 16     169     300     0.2       1
   7  0111      50
   3  7 26     169     300       1       4     760
   3  7 16     169     300     0.2       1
   5  7 26     152     169       1       4     760
   6  7 16      70     245     0.2       1
   2  7 26     152     300      42       1     760
   4  7 26     152     300       1       1     760
   2  7 16     152     300     0.2       1
   4  7 16     152     300     0.2       1
   5  7 16     0.2       1     150     200
   8  3 16     204     146    0.25       1
   8  3 30     204     146    60.5
   8  0101     7.8
   9  0101     0.6
  10  0101     8.1
   1 11 30     150     100    22.5
   1 11 16     150     100     0.8       1
  11  0101       5
  11 10 16     180      18     0.8       1
  11 10 30     180      18       1
   9 11 30     180      18       1
  11  9 16     180      18     0.8       1
   2  0101     5.5
   4 10 30     180      18     133
  10  4 16     180      18     0.8       1
   2 10  1       1
  11  2  1       1
   9  2  1       1
   4 11 30     150      24      69
   4 11 16     150      24     0.8       1
   9 10 16     180      18     0.8       1
  10  9 30     180      18       5
   4  2 30     300      83     169
   2  4 16     300      83     0.9       1
*
*
начальное время работы       0.000
конечное время  работы       0.000
точность расчетов            0.000
минимальный шаг              0.000
максимальный шаг             0.000
начальная температура        0.000
```

Результаты расчета.

Полученные результаты моделирования для исходного варианта блока приведены в табл. 3.2.4.1. Видно, что экспериментальные и расчетные значения температур очень близки.

Таблица 3.2.4.1

Результаты моделирования для исходного варианта

Номер узла	Наименование элемента	Расчетное значение температуры, ºС	Экспериментальное значение температуры, ºС
1	Левая стенка	51,2	51,5
2	Верхняя стенка	61,8	58,0
3	Правая стенка	52,0	51,5
4	Нижняя стенка	52,4	51,5
5	Передняя стенка	50,7	51,5
6	Задняя стенка	50,7	51,5
7	Окружающая среда	50,0	50,0
8	Компьютер РС-510 (4)	85,9	86,0
9	Флеш-диск SDIBI-40-101 (5)	62,6	59,5
10	Блок электроэлементов	68,9	70,0
11	Приемное устройство 14Ц821В1 (7)	64,3	-

Понятно, что при температуре окружающей среды +50 ºС снизить температуру центрального процессора (ЦП) компьютера РС-510 в блоке с +85,9 ºС до +45 ºС можно только при использовании принудительного водяного охлаждения. Вентиляция позволит только максимально приблизиться к температуре окружающей среды +50 ºС. Кондуктивный теплообмен со стенками корпуса позволит максимально приблизиться к температуре стенок корпуса.

Так как принудительное водяное охлаждение изначально не предполагается, то были рассчитаны два других варианта: вентиляция и кондукция.

1. Вентиляция.

В МТП необходимо добавить следующие ветви. В узел 8 (компьютер РС-510) введена ветвь 8-3 типа 61 – вынужденная конвекция с плоской неразвитой поверхности в окружающую среду, т.е. на плате на процессоре установлен вентилятор. В табл. 3.2.4.2 приведены результаты моделирования блока при различных скоростях воздушного потока вентилятора.

Таблица 3.2.4.2

Результаты моделирования при различных скоростях воздушного потока вентилятора

Скорость воздушного потока, м/с	1	2	3	4	5
Температура в блоке, ºС	73,6	68,8	65,9	64	62,6

2. Кондукция.

В МТП необходимо добавить следующие ветви. В узел 8 (компьютер РС-510) введена ветвь 8-4 типа 2 – кондуктивный теплообмен между радиатором и нижней стенкой блока через предлагаемую медную пластинку размерами 50 × 2 × 40 мм. В табл. 3.2.4.3 приведены результаты моделирования ЦП при различных толщинах пластинки.

Таблица 3.2.4.3

Результаты моделирования ЦП при различных толщинах пластинки

Толщина медной пластинки, мм	1	2	3	4	5
Температура в блоке, ºС	65,2	61,0	59,2	58,2	57,6

3. Кондукция и вентиляция.

При совместном использовании вентиляции (скорость 5 м/с) и медной пластинки (толщина 5 мм) температуру удается снизить до 56 ºС.

Выводы.

Для снижения температуры в блоке предлагается использовать вентиляцию или кондуктивный теплообмен через медную пластинку, соединяющую радиатор ЦП с основанием блока, либо одновременно и то и другое. Наиболее эффективна кондукция: температура снижается от 85,9 до 57,6 ºС.

3.2.5. Моделирование тепловых процессов в конструкции блока с радиаторами

Задача расчета.

Провести моделирование на ЭВМ тепловых процессов в блоке с радиатором с целью получения максимальной мощности, при которой обеспечиваются требования по предельно допустимым температурам.

Данные для расчета:

сборочный чертеж блока;

максимально допустимая температура корпуса блока +85 ºС;

температура окружающей среды +25 ºС.

Составление МТП.

Укрупненная математическая модель тепловых процессов (МТП) блока с радиатором представлена на рис. 2.3.5.1 (введена с помощью графического интерфейса АСОНИКА-Т). Для удобства изображения и восприятия МТП блока представлена в виде фрагментов. Конструкция разбита на 8 условно изотермических объемов, которым ставим в соответствие 8 узлов МТП:

1 – радиатор и крышка блока;

2 – нижняя стенка блока;

3 – передняя стенка блока;

4 – задняя стенка блока;

5 – правая стенка блока;
6 – левая стенка блока;
7 – воздух внутри блока;
8 – окружающая среда.

Каждая стенка блока взаимодействует с четырьмя соседними стенками блока (ветви: 1-2, 1-4, 1-5, 1-6, 2-3, 2-5, 2-6, 3-4, 3-5, 3-6, 4-5, 4-6, 5-6 типа 02 – кондукция, вычисляемое тепловое сопротивление).

Ветвь 8-0 типа 111 моделирует температуру окружающей среды.

Естественная конвекция и излучение от стенок блока (кроме радиатора) в окружающую среду моделируются ветвями 1-8, 2-8, 3-8, 4-8, 5-8, 6-8 типа 26 и 16.

Конвективно-кондуктивно-лучистая теплопередача с оребренной поверхности крышки моделируется ветвью 8-1, 9 типа 37.

Моделирование тепловыделения на радиаторе осуществляется путем введения связи 0-1 с типом связи 101, источник мощности.

Результаты моделирования.

Полученные результаты моделирования для исходного варианта блока приведены в таблице 3.2.5.1.

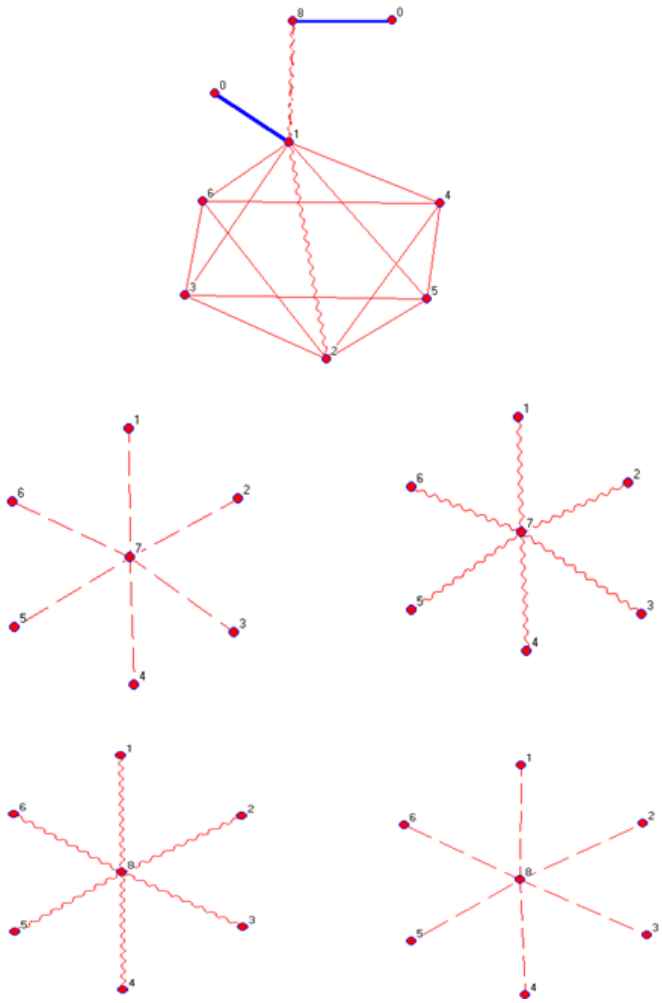


Рис. 2.3.5.1. Укрупненная МТП блока с радиатором

Таблица 3.2.5.1

Результаты моделирования

Номер узла	Обозначение	Температура, °С	Номер узла	Обозначение	Температура, °С
1	Радиатор	84,7	2	Нижняя стенка	69,5
3	Передняя стенка	72,7	4	Задняя стенка	72,9
5	Правая стенка	73,2	6	Левая стенка	73,2
7	Воздух внутри	75,8	8	Внешняя среда	25

Данные результаты были получены при моделировании конструкции блока с подведенной к радиатору мощностью 850 Вт.

Далее предлагается внести некоторые изменения в конструкцию радиатора блока, которые должны сократить расход материала и в то же время привести к повышению возможной отводимой мощности.

1-й вариант радиатора.

В данном варианте предлагается снизить количество штырей оребренной поверхности радиатора с 441 до 241, при этом необходимо увеличить шаг установки штырей с 9 мм до 11.

Полученные результаты моделирования для нового 1-го варианта радиатора приведены в таблице 3.2.5.2.

Таблица 3.2.5.2

Результаты моделирования

Номер узла	Обозначение	Температура, °С	Номер узла	Обозначение	Температура, °С
1	Радиатор	84,1	2	Радиатор	69
3	Передняя стенка	72,2	4	Передняя стенка	72,4
5	Правая стенка	72,7	6	Правая стенка	72,7
7	Воздух внутри	75,2	8	Воздух внутри	25

При данной конструкции радиатора возможная отводимая мощность достигает значения 1100 Вт.

2-й вариант радиатора.

В данном варианте предлагается снизить количество штырей оребренной поверхности радиатора с 441 до 141, при этом необходимо увеличить шаг установки штырей до 12 мм и высоту штырей до 16 мм.

Полученные результаты моделирования для нового 2-го варианта блока приведены в таблице 3.2.5.3.

Таблица 3.2.5.3

Результаты моделирования

Номер узла	Обозначение	Температура, °С	Номер узла	Обозначение	Температура, °С
1	Радиатор	84,4	2	Радиатор	69,3
3	Передняя стенка	72,5	4	Передняя стенка	72,7
5	Правая стенка	73	6	Правая стенка	73
7	Воздух внутри	75,5	8	Воздух внутри	25

При данной конструкции радиатора возможная отводимая мощность достигает значения 1100 Вт.

Выводы.

В результате проведенного расчета было установлено значение максимально допустимой мощности элементов (850 Вт), при которой не нарушается температурный режим. Кроме того, были предложены варианты конструкции радиатора, которые должны привести к экономии материала и повышению значения мощности (1100 Вт).

3.2.6. Расчет максимально допустимой рассеивающей мощности тепловыделения в корпусе усилителя мощности

Задача расчета.

Определить максимально допустимую рассеивающую мощность тепловыделения в корпусе усилителя мощности.

Данные для расчета.

В качестве исходных данных для расчета были получены чертежи конструкции и всех необходимых деталей, которые играют важную роль при анализе тепловых воздействий, а именно чертежи радиаторов. Мощности задавались на стенки корпуса.

Для расчета были приняты температуры окружающей среды +60 °C и +35 °C. Максимально допустимая температура внутри корпуса равна 85 °C.

Построение МТП.

На основе полученных данных была построена следующая модель тепловых процессов (МТП) усилителя мощности (рис. 3.2.6.1).

В данной модели были определены следующие узлы:

1 – передняя стенка;

2 – задняя стенка;

3 – верхняя стенка (радиатор);

4 – нижняя стенка;

5 – правая стенка;

6 – левая стенка;

7 – воздух внутри конструкции;

8 – окружающая среда.

МТП усилителя представляется в следующем виде. Стенки корпуса взаимодействуют между собой через кондуктивный теплоперенос, образуя связи 1-3, 1-2, 1-4, 1-6, 2-3, 2-5, 2-4, 3-5, 3-6, 4-5, 4-6. Кроме того, узел 3 посредством кондуктивно-конвективной лучистой связи моделирует радиатор с пластинчатым оребрением, связь 3-8. Все стенки корпуса, кроме передней, взаимодействуют с внутренним воздухом посредством конвекции и излучения, образуя связи 2-7, 3-7, 4-7, 5-7, 6-7. К соответствующим узлам были приложены связи, отвечающие за источники мощности и источники температуры.

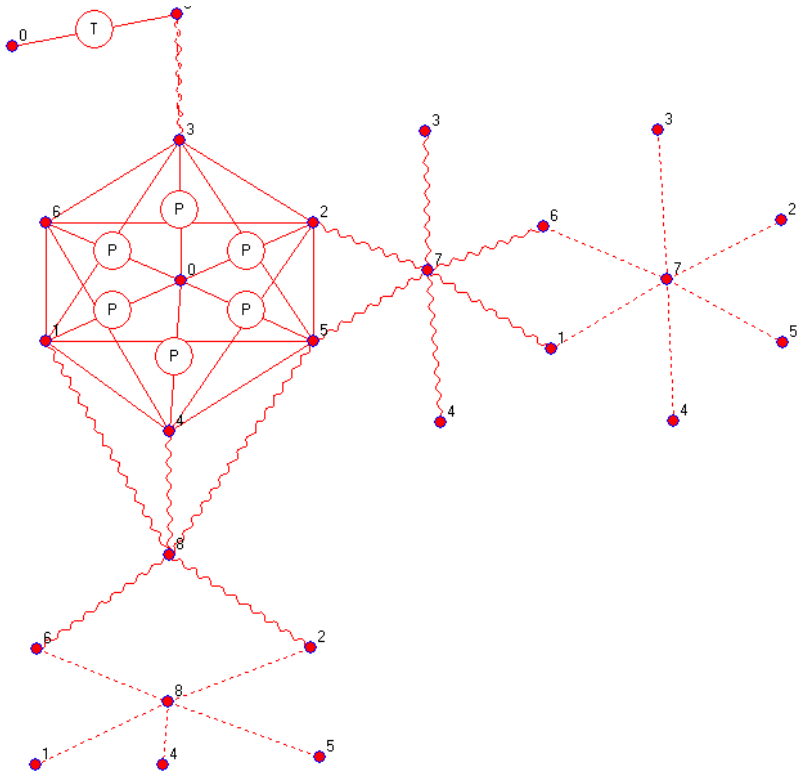


Рис. 3.2.6.1. МТП усилителя мощности

Результаты моделирования.

1. Моделирование при температуре окружающей среды +50 °С с различными мощностями тепловыделения.

В результате моделирования были получены следующие результаты температур в узлах (см. табл. 3.2.6.1). Мощность тепловыделения 50 Вт.

Таблица 3.2.6.1

Результаты моделирования

Номер узла	Обозначение	Температура, °С	Номер узла	Обозначение	Температура, °С
1	передняя стенка	75,4	2	задний радиатор	71,1
3	верхняя стенка	61,5	4	нижняя стенка	73,0
5	правая стенка	73,9	6	левая стенка	68,9
7	внутренний воздух	69,7	8	внешняя среда	50

В результате моделирования с мощностью тепловыделения 100 Вт получены результаты, представленные в табл. 3.2.6.2.

Таблица 3.2.6.2

Результаты моделирования

Номер узла	Обозначение	Температура, °С	Номер узла	Обозначение	Температура, °С
1	передняя стенка	94,6	2	задний радиатор	85,9
3	верхняя стенка	66,5	4	нижняя стенка	89,9
5	правая стенка	91,5	6	левая стенка	81,5
7	внутренний воздух	83,3	8	внешняя среда	50

В результате моделирования с мощностью тепловыделения 120 Вт получены результаты, представленные в табл. 3.2.6.3.

Таблица 3.2.6.3

Результаты моделирования

Номер узла	Обозначение	Температура, °С	Номер узла	Обозначение	Температура, °С
1	передняя стенка	102,0	2	задний радиатор	91,4
3	верхняя стенка	68,1	4	нижняя стенка	96,2
5	правая стенка	98,2	6	левая стенка	86,2
7	внутренний воздух	88,4	8	внешняя среда	50

В результате моделирования с мощностью тепловыделения 110 Вт получены результаты, представленные в табл. 3.2.6.4.

Таблица 3.2.6.4

Результаты моделирования

Номер узла	Обозначение	Температура, °С	Номер узла	Обозначение	Температура, °С
1	передняя стенка	98,2	2	задний радиатор	88,7
3	верхняя стенка	67,3	4	нижняя стенка	93,0
5	правая стенка	94,9	6	левая стенка	83,9
7	внутренний воздух	85,9	8	внешняя среда	50

2. Моделирование при температуре окружающей среды +35 °С с различными мощностями тепловыделения.

Моделирование с параметром мощность тепловыделения 50 Вт (см. табл. 3.2.6.5).

Таблица 3.2.6.5

Результаты моделирования

Номер узла	Обозначение	Температура, °С	Номер узла	Обозначение	Температура, °С
1	передняя стенка	60,1	2	задний радиатор	55,6
3	верхняя стенка	45,6	4	нижняя стенка	57,7
5	правая стенка	58,6	6	левая стенка	53,4
7	внутренний воздух	54,3	8	внешняя среда	35,0

Моделирование с параметром мощность тепловыделения 100 Вт (см. табл. 3.2.6.6).

Таблица 3.2.6.6

Результаты моделирования

Номер узла	Обозначение	Температура, °С	Номер узла	Обозначение	Температура, °С
1	передняя стенка	79,3	2	задний радиатор	70,3
3	верхняя стенка	50,2	4	нижняя стенка	74,6
5	правая стенка	76,3	6	левая стенка	66,0
7	внутренний воздух	67,8	8	внешняя среда	35,0

Моделирование с параметром мощность тепловыделения 200 Вт (см. табл. 3.2.6.7).

Таблица 3.2.6.7

Результаты моделирования

Номер узла	Обозначение	Температура, °С	Номер узла	Обозначение	Температура, °С
1	передняя стенка	114	2	задний радиатор	96,5
3	верхняя стенка	56,8	4	нижняя стенка	105
5	правая стенка	108	6	левая стенка	88,0
7	внутренний воздух	91,8	8	внешняя среда	35,0

Моделирование с параметром мощность тепловыделения 170 Вт (см. табл. 3.2.6.8).

Таблица 3.2.6.8

Результаты моделирования

Номер узла	Обозначение	Температура, °С	Номер узла	Обозначение	Температура, °С
1	передняя стенка	104	2	задний радиатор	89,0
3	верхняя стенка	55,1	4	нижняя стенка	96,0
5	правая стенка	98,9	6	левая стенка	81,7
7	внутренний воздух	84,9	8	внешняя среда	35,0

3. Моделирование при температуре окружающей среды +60 °С с различными мощностями излучения при добавлении обдува поверхности радиатора.

При суммарной мощности излучения 120 Вт (см. табл. 3.2.6.9).

Таблица 3.2.6.9

Результаты моделирования

Номер узла	Обозначение	Температура, °С	Номер узла	Обозначение	Температура, °С
1	передняя стенка	65,2	2	задний радиатор	63,0
3	верхняя стенка	55,1	4	нижняя стенка	60,0
5	правая стенка	64,5	6	левая стенка	64,8
7	внутренний воздух	64,3	8	внешняя среда	60

При суммарной мощности излучения 300 Вт (см. табл. 3.2.6.10).

Таблица 3.2.6.10

Результаты моделирования

Номер узла	Обозначение	Температура, °С	Номер узла	Обозначение	Температура, °С
1	передняя стенка	71,9	2	задний радиатор	70,1
3	верхняя стенка	63,0	4	нижняя стенка	67,0
5	правая стенка	71,4	6	левая стенка	71,9
7	внутренний воздух	71,0	8	внешняя среда	60

При суммарной мощности излучения 600 Вт (см. табл. 3.2.6.11).

Таблица 3.2.6.11

Результаты моделирования

Номер узла	Обозначение	Температура, °С	Номер узла	Обозначение	Температура, °С
1	передняя стенка	82,1	2	задний радиатор	80,1
3	верхняя стенка	73,0	4	нижняя стенка	77,0
5	правая стенка	81,4	6	левая стенка	81,9
7	внутренний воздух	81,0	8	внешняя среда	60

Выводы.

В результате проведенного расчета была установлены максимально допустимые мощности тепловыделения при заданных температурных режимах эксплуатации.

3.2.7. Моделирование теплового режима блока УМТК-2

Задача расчета.

Выполнить тепловой расчет модуля унифицированного тепловизионного канала УМТК-2. Провести исследование путем моделирования на ЭВМ и выработать рекомендации по улучшению конструкции модуля унифицированного тепловизионного канала УМТК-2 с точки зрения тепловых воздействий, возникающих в процессе эксплуатации.

Для блока УМТК-2 провести: расчет теплового режима (температур элементов конструкции блока) при тепловых воздействиях, возникающих в процессе эксплуатации в исходном варианте; теплового режима предложенного конструктивного варианта УМКТ-2 с индивидуальными теплостоками для мощных интегральных микросхем (ИМС), направленного на выполнение требований ТУ, и выдачу рекомендаций на конструкторские доработки.

Данные для расчета.

Модуль унифицированный тепловизионного канала УМТК-2 (рис. 3.2.7.1) представляет собой герметичный прямоугольный алюминиевый блок с внутренней термоизоляцией. Внутри блока установлены три печатных узла: на передней стенке – аналогово-цифровой преобразователь, на боковой стенке – блок цифровой обработки и на

нижней стенке установлен блок питания. На передней стенке блока имеется крепление для установки объектива. Термоизоляция – пенофол тип А ТУ 2244-056-4696843-98 (пенополиэтилен ООО «Интем») толщиной 2 мм, с коэффициентом теплопроводности 0,033 Вт/(м·К), покрытый фольгой толщиной 0,03 мм.

Одна из боковых стенок выполнена в виде пластинчатого радиатора.

Диапазон температур окружающей среды от -60 °С до +60 °С.

Охлаждение УМТК-2 – естественная конвекция. Основные расчеты будут проводиться при температуре окружающей среды 60 °С. Расчеты при других температурах будут указываться явно.

Анализируемые варианты:

исходный;

исходный вариант с теплостоками для мощных микросхем.

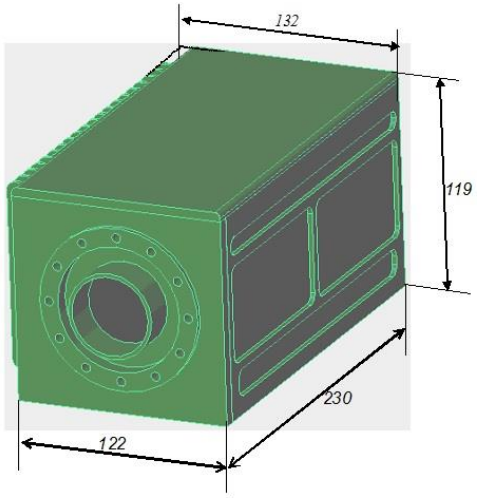


Рис. 3.2.7.1. Модуль унифицированного тепловизионного канала УМТК-2

1. Моделирование тепловых режимов исходного варианта блокаУМТК-2.

Для построения модели теплового режима УМТК-2 подробнее представим конструкцию УМТК-2 (рис. 3.2.7.2, вид со стороны стенки-радиатора: 1 – ПУ аналого-цифрового преобразования; 2 – ПУ питания; 3 – ПУ блока цифровой обработки и формирования видеосигнала).

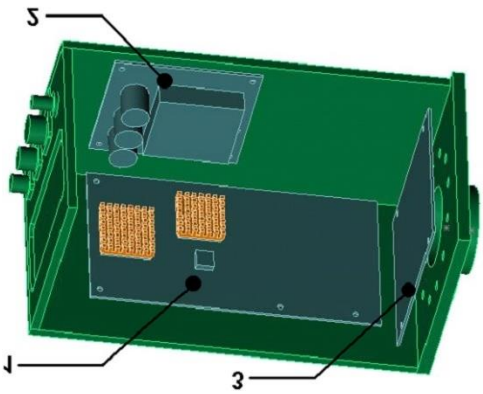


Рис. 3.2.7.2. Конструкция УМТК-2: вид со стороны стенки-радиатора

На рис. 3.2.7.3 представлены эскизы элементов конструкции УМТК-2 и внутренние размеры УМТК-2.

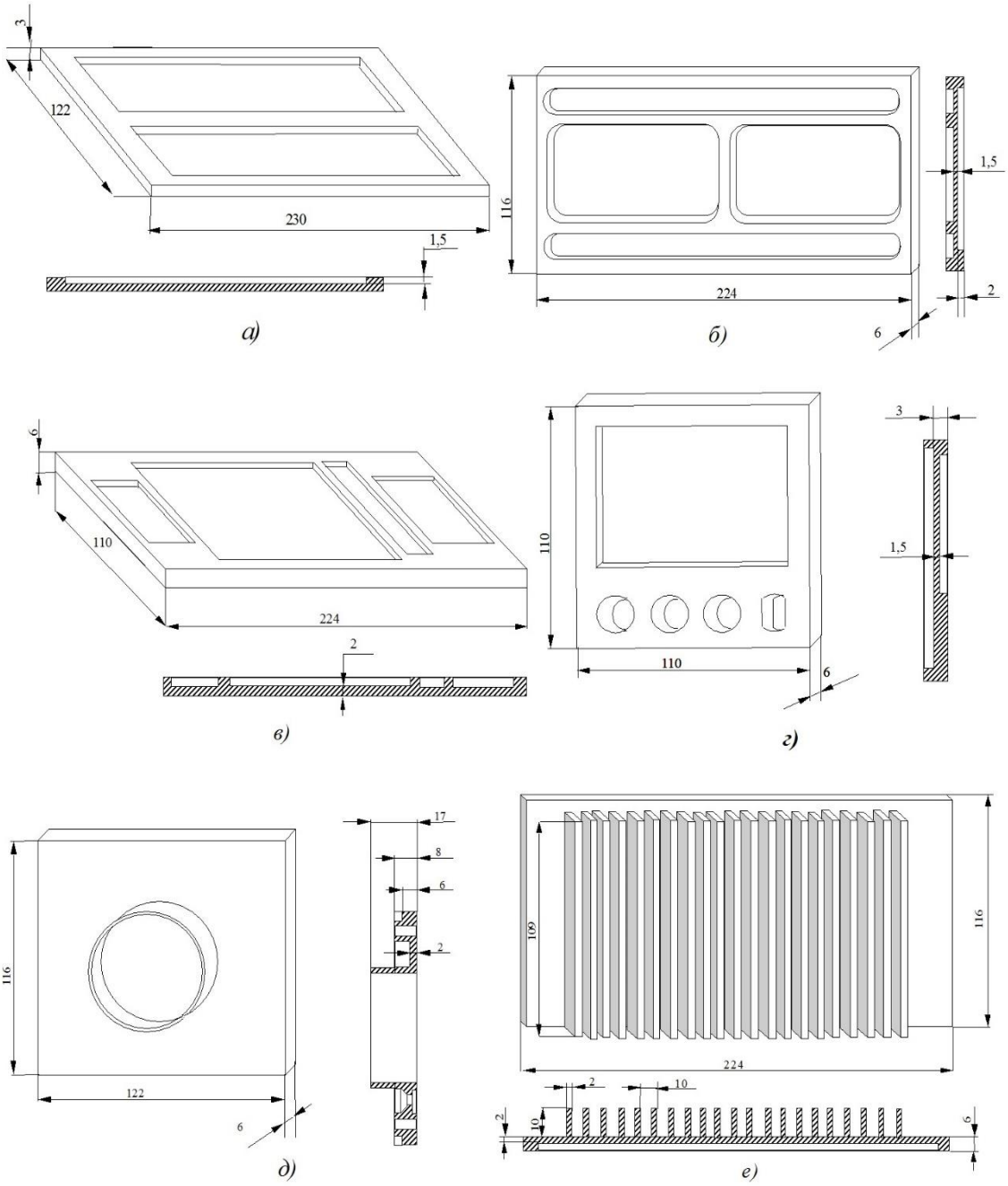


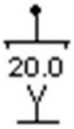
Рис. 3.2.7.3. Эскизы элементов конструкции УМТК-2: а) – стенка верхняя АМГ6 (представлена в перевернутом виде); б) – стенка боковая АМГ6; в) – стенка нижняя Д16; г) – стенка задняя АМГ6; д) – стенка передняя Д16; е) – радиатор

Рассмотрев УМТК-2 с точки зрения конструктивного исполнения и протекания тепловых процессов, построим модель тепловых процессов (МТП) УМТК-2.

В табл. 3.2.7.1 приводятся обозначения ветвей графа (отражают различные типы тепловых проводимостей), которые будут использоваться в дальнейшем при изображении моделей тепловых процессов.

Таблица 3.2.7.1

Обозначение ветвей тепловых моделей

№ п/п	Тип ветви	Обозначение ветви в топологических моделях	Пояснение
1.	2		Кондукция
2.	41		Теплопередача через воздушную прослойку
3.	16		Излучение
4.	65		Вынужденная конвекция
5.	75		Теплоперенос
6.	11		Контактный теплообмен
7.	26		Естественная конвекция
8.	36		Конвективно-кондуктивно-лучистая теплопередача с оребренной поверхности
9.	52		Обдув оребренной поверхности (игольчато-штыревое оребрение)
10.	—		Источник с заданной температурой, °С
11.	—		Источник с заданной мощностью, Вт

МТП исходного варианта конструкции УМТК-2 представлена на рис. 3.2.7.4, а в табл. 3.2.7.2 подробнее представлены узлы МТП и их обозначения.

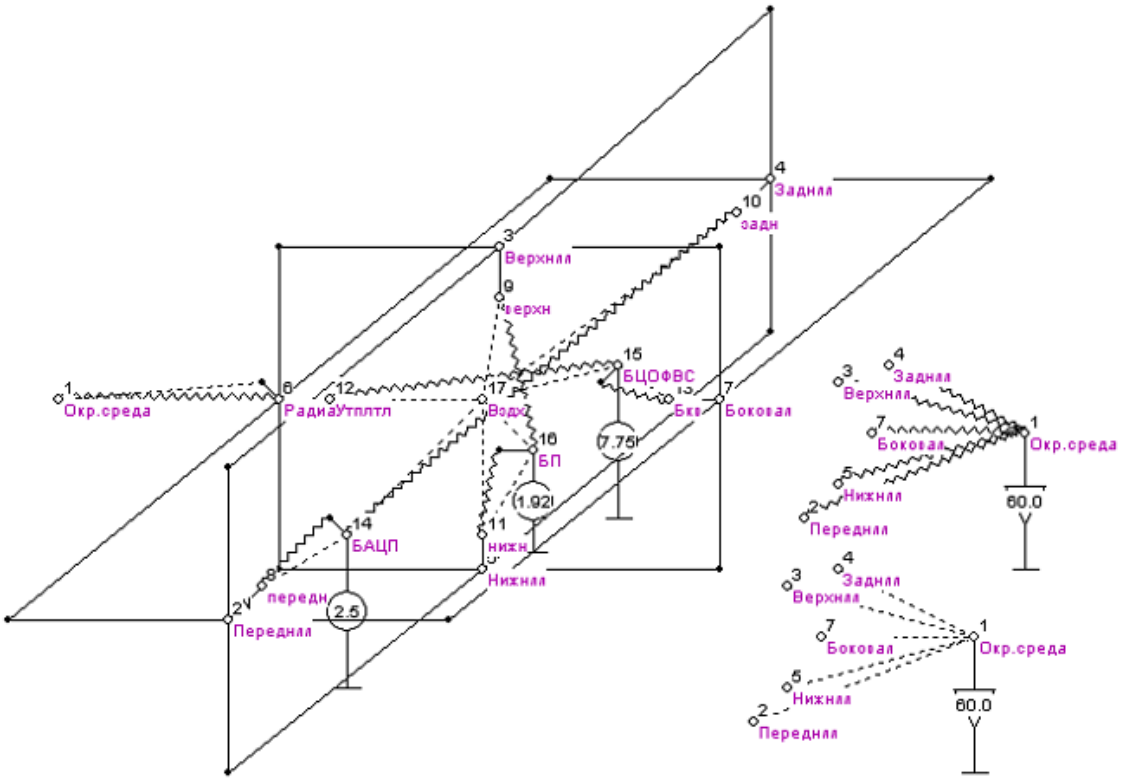


Рис. 3.2.7.4. МТП исходного варианта блока УМТК-2

Таблица 3.2.7.2

Обозначения узлов МТП исходного варианта УМТК-2

№	Элемент		№	Элемент
1	Окружающая среда			
	Стенки УМТК-2:		9, 11	- верхний и нижний
2, 4	- передняя и задняя		12,13	- правый и левый
3, 5	- верхняя и нижняя			Печатные узлы:
6	- боковая, радиатор		14	АЦП
7	- боковая, правая		15	БЦОС
	Утеплитель:		16	БП
8, 10	- передний и задний		17	Внутренний воздушный объем

В результате автоматизированного расчета получены температуры элементов, представленные в табл. 3.2.7.3.

Вариант 1 – с оребрением с теплоизоляцией при темп. окр. среды 60 °С.

Вариант 2 – с оребрением с теплоизоляцией при темп. окр. среды 28 °С.

Вариант 3 – с оребрением с теплоизоляцией при темп. окр. среды -60 °С.

Вариант 4 – с оребрением без теплоизоляции при темп. окр. среды 60 °С.

Вариант 5 – без оребрения с теплоизоляцией при темп. окр. среды 60 °С.

Таблица 3.2.7.3

Результаты моделирования теплового процесса в УМТК-2

№ узла	Элемент	Значение температуры, °С				
		Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3	Вариант 4	Вариант 5
1	2	3	4	5	6	7
	Окружающая среда	60,0	28,0	-60,0	60,0	60,0
	Стенки УМТК-2:					
	- передняя	68,2	37,2	-48,0	67,6	69,5
	- верхняя	67,4	36,5	-48,9	67,3	68,6
	- задняя	67,5	36,6	-48,9	67,6	68,7
	- нижняя	67,5	36,7	-48,7	67,2	68,7
	- боковая стенка-радиатор	67,3	36,3	-49,4	67,3	69,2
	- правая боковая	68,3	37,5	-47,8	68,3	69,3
	Утеплитель:					
	- передний	68,2	37,2	-48,0	67,6	69,5
	- верхний	71,5	40,7	-44,5	67,3	72,8
	- задний	73,6	42,6	-43,6	67,6	74,8
	- нижний	72,1	41,5	-43,1	67,2	73,3
	- правый	76,1	44,6	-42,7	67,3	77,8
	- левый	78,6	48,0	-36,5	68,3	79,8
	Печатные узлы:					
	- АЦП	86,1	57,2	-23,3	83,2	87,3
	- БЦОС	101	72,7	-54,2	92,9	102
	- БП	87,5	58,8	-21,7	83,1	88,7
	Внутренний воздушный объем	80,2	50,1	-33,7	75,4	81,5

Выводы.

Расчет при температуре 28 °С (табл. 3.2.7.3, вариант 2) проведен для моделирования эксперимента.

При отрицательной температуре окружающей среды -60 °С (табл. 3.2.7.3, вариант 3) расчетная температура внутри корпуса получилась равной -33,7 °С, что не совсем хорошо для используемой элементной базы. У многих используемых здесь ИМС нижняя рабочая температура 0°С, и они не подходят для применения при данных отрицательных температурах.

Дальнейшие расчеты при температуре окружающей среды +60 °С проведены для оценки влияния тепловой изоляции на тепловой режим элементов (табл. 3.2.7.3, вариант 4).

В качестве обобщенного показателя эффективности можно использовать температуру воздуха внутри блока (узел № 17). Как

видно, температура воздуха внутри корпуса (узел 17) после снятия тепловой изоляции уменьшилась на 80,2 – 75,4 = 4,8 °С.

Для данной конструкции применение оребрения повышает ее стоимость, поэтому проверим, насколько его применение эффективно. Расчет МТП (табл. 3.2.7.3, вариант 5) проведен без оребрения, но с теплоизоляцией. При этом средняя температура воздуха внутри блока (узел 17) изменилась с 80,2 до 81,5 °С, т.е. повысилась всего на 1,3 °С.

Исключение теплоизоляции снижает общую температуру на 4,8 °С, т.е. тепловой режим улучшается. Исключение оребрения стенки-радиатора приводит к повышению температуры на 1,3 °С, т.е. если исключить теплоизоляцию и убрать оребрение, то это приведет к общему снижению температуры на 4,8 – 1,3 = 3,5 °С.

3.3. Тепловые расчеты элементов

3.3.1. Моделирование тепловых процессов в конструкции транзистора КТ43 на пластине

Задача расчета.

Выполнить моделирование тепловых процессов в конструкции транзистора КТ43 на пластине, определить размеры охлаждающей пластины, при которых температура корпуса транзистора не превышает допустимой по ТУ.

Данные для расчета:

геометрические размеры транзистора (по чертежу из ТУ);
пластина из меди луженой толщиной 35 мкм;
тепловое сопротивление транзистора переход-корпус 125 °С/Вт;
максимально допустимая температура корпуса транзистора +150 °С;
температура окружающей среды -60...+70 °С;
мощность тепловыделения в кристалле транзистора 0,2...1 Вт.

Моделирование тепловых процессов.

Укрупненная математическая модель тепловых процессов транзистора на пластине представлена на рис. 3.3.1.1. Здесь узел 1 – кристалл транзистора; узел 2 – корпус транзистора; узел 3 – окружающая среда; узел 4 – пластина.

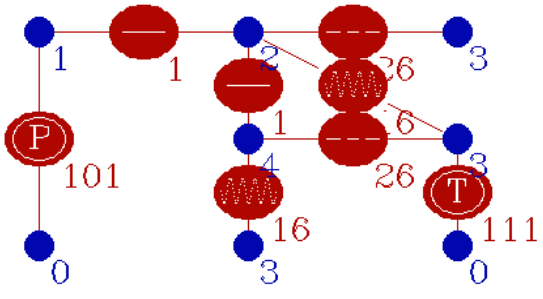


Рис. 3.3.1.1. МТП транзистора на пластине

Тепловая энергия, рассеиваемая в кристалле транзистора (узел 1), через внутреннее тепловое сопротивление (ветвь 1-2 типа 01) транзистора передается корпусу транзистора (узел 2). Затем часть тепловой энергии с открытой поверхности корпуса транзистора конвекцией (ветвь 2-3 типа 26) и излучением (ветвь 2-3 типа 16) передается в окружающую среду (узел 3). Другая часть тепловой энергии с корпуса транзистора через контактное тепловое сопротивление между корпусом транзистора и пластиной (ветвь 2-4 типа 11) передается пластине (узел 4). С поверхности пластины тепловая энергия конвекцией (ветвь 4-3 типа 26) и излучением (ветвь 4-3 типа 16) передается в окружающую среду. Таким образом, показано тепловое взаимодействие выделенных четырех условно изотермических объемов: кристалла, корпуса транзистора, пластины и окружающей среды.

Так как в кристалле транзистора выделяется тепловая энергия, включаем в узел 1 модели тепловых процессов источник тепловой мощности 1 Вт (максимальное значение). В узел 3, соответствующий окружающей среде, включаем источник заданной температуры 70 °С (максимальное значение).

Результаты моделирования.

Полученные результаты моделирования при максимальных значениях мощности и температуры окружающей среды, когда еще выполняются требования ТУ по допустимой температуре, приведены в табл. 3.3.1.1. При этом площадь пластины составляет 20 мм^2 (5 мм × 4 мм).

Таблица 3.3.1.1

Результаты моделирования

Номер узла	Наименование элемента	Значение температуры, °С
1	Кристалл транзистора	274
2	Корпус транзистора	149
3	Окружающая среда	70
4	Пластина	148

Варьирование площади пластины:

при мощности 0,2 Вт – 2 мм × 1,6 мм (температуры: 175, 150, 70, 150);

при мощности 0,5 Вт – 4 мм × 2,4 мм (температуры: 211, 148, 70, 148);

при мощности 0,7 Вт – 5 мм × 2,7 мм (температуры: 237, 150, 70, 150).

Результаты моделирования при толщине пластины 0,2 мм, размерах 5 мм × 4 мм, мощности 1 Вт и температуре 70 °С приведены в табл. 3.3.1.2.

Таблица 3.3.1.2

Результаты моделирования

Номер узла	Наименование элемента	Значение температуры, °С
1	Кристалл транзистора	409
2	Корпус транзистора	284
3	Окружающая среда	70
4	Пластина	284

Выводы.

Для выполнения требований ТУ необходимо использовать пластину площадью 20 мм^2 (например, размером 5 мм × 4 мм).

3.3.2. Моделирование тепловых процессов в конструкции транзистора КТ819 на радиаторе

Задача расчета.

Выполнить моделирование тепловых процессов в конструкции транзистора КТ819 на радиаторе, определить максимальную мощность, рассеиваемую на радиаторе транзистором.

Данные для расчета:

геометрические размеры радиатора (по чертежу);

материал радиатора Д16;

масса транзистора 2,5 г;

габаритные размеры корпуса транзистора 10,65 × 15,9 × 4,8 мм;

тепловое сопротивление транзистора переход-корпус 3,12 °С/Вт;

максимально допустимая температура корпуса транзистора +150 °С;

температура окружающей среды -60...+60 °С.

Моделирование тепловых процессов.

Укрупненная математическая модель тепловых процессов транзистора на радиаторе представлена на рис. 3.3.2.1. Здесь узел 1 – кристалл транзистора; узел 2 – корпус транзистора; узел 3 – окружающая среда; узел 4 – радиатор.

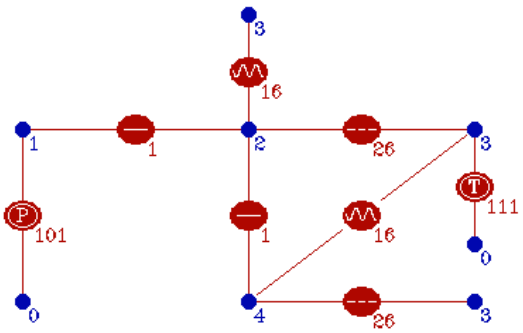


Рис. 3.3.2.1. МТП транзистора на радиаторе

Тепловая энергия, рассеиваемая в кристалле транзистора (узел 1), через внутреннее тепловое сопротивление (ветвь 1-2 типа 01) транзистора передается корпусу транзистора (узел 2). Затем часть тепловой энергии с открытой поверхности корпуса транзистора конвекцией (ветвь 2-3 типа 26) и излучением (ветвь 2-3 типа 16) передается в окружающую среду (узел 3). Другая часть тепловой энергии с корпуса транзистора через контактное тепловое сопротивление между корпусом транзистора и радиатором (ветвь 2-4 типа 11) передается радиатору (узел 4). С поверхности радиатора тепловая энергия конвекцией (ветвь 4-3 типа 26) и излучением (ветвь 4-3 типа 16) передается в окружающую среду. Таким образом, показано тепловое взаимодействие выделенных четырех условно изотермических объемов: кристалла, корпуса транзистора, радиатора и окружающей среды.

Так как в кристалле транзистора выделяется тепловая энергия, включаем в узел 1 модели тепловых процессов источник тепловой мощности. При этом подбираем значение максимальной мощности. В узел 3, соответствующий окружающей среде, включаем источник заданной температуры 60 °С (максимальное значение).

Результаты моделирования.

Полученные результаты моделирования при максимальных значениях мощности и температуры окружающей среды, когда еще выполняются требования ТУ по допустимой температуре, приведены в табл. 3.3.2.1. При этом мощность равна 1,05 Вт.

Таблица 3.3.2.1

Результаты моделирования

Номер узла	Наименование элемента	Значение температуры, °С
1	Кристалл транзистора	153
2	Корпус транзистора	150
3	Окружающая среда	60
4	Радиатор	150

Результаты моделирования при мощности 1,46 Вт и температуре 25 °С приведены в табл. 3.3.2.2.

Таблица 3.3.2.2

Результаты моделирования

Номер узла	Наименование элемента	Значение температуры, °С
1	Кристалл транзистора	154
2	Корпус транзистора	150
3	Окружающая среда	25
4	Радиатор	149

Результаты моделирования без радиатора при мощности 1 Вт и температуре 25 °С (согласно ТУ) приведены в табл. 3.3.2.3.

Таблица 3.3.2.3

Результаты моделирования

Номер узла	Наименование элемента	Значение температуры, °С
1	Кристалл транзистора	149
2	Корпус транзистора	146
3	Окружающая среда	25

Результаты моделирования без радиатора при мощности 0,68 Вт и температуре 60 °С (согласно ТУ) приведены в табл. 3.3.2.4.

Таблица 3.3.2.4

Результаты моделирования

Номер узла	Наименование элемента	Значение температуры, °С
1	Кристалл транзистора	144
2	Корпус транзистора	142
3	Окружающая среда	60

Выводы.

Максимальная мощность на радиаторе, когда еще выполняются требований ТУ по тепловым характеристикам транзистора, составляет 1,05 Вт.

4. ТЕПЛОВЫЕ И МЕХАНИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ ПУ (АСОНИКА-ТМ)

4.1. Механические расчеты ПУ

4.1.1. Расчет устойчивости и прочности печатных узлов изделия «Л-01» к воздействию механических факторов

Задача расчета.

Провести моделирование на ЭВМ механических процессов с помощью системы АСОНИКА-ТМ и оценить устойчивость и прочность печатных узлов.

Данные для расчета (см. п. 1.1.2).

В п. 1.1.2 рассматривался пример расчета конструктивных элементов изделия «Л-01» к воздействию механических факторов. Данный пример (п. 4.1.1) является продолжением расчета, только в данном случае рассматривается анализ устойчивости и прочности печатных узлов изделия «Л-01» к воздействию механических факторов. Поэтому исходные данные для расчета, приведенные в п. 1.1.2, актуальны для данного примера.

Анализ исходных данных.

Исходные данные были представлены для 8 печатных узлов (ПУ). Рассмотрим подробно один из них – МБПФ9М в составе прибора 46 5-стоечного стеллажа. Выходной файл PCAD не предоставлен. Данные вводились вручную с помощью графического интерфейса подсистемы АСОНИКА-ТМ (см. рис. 4.1.1.1). Масса ПУ составляет 700 г.

Параметры механических воздействий уже были описаны в п. 1.1.2. Зависимость входного ускорения гармонической вибрации от частоты представлена на рис. 1.1.2.4. Зависимость входного механического удара одиночного действия от времени представлена на рис. 1.1.2.5. Зависимость входного механического удара многократного действия от времени представлена на рис. 1.1.2.6.

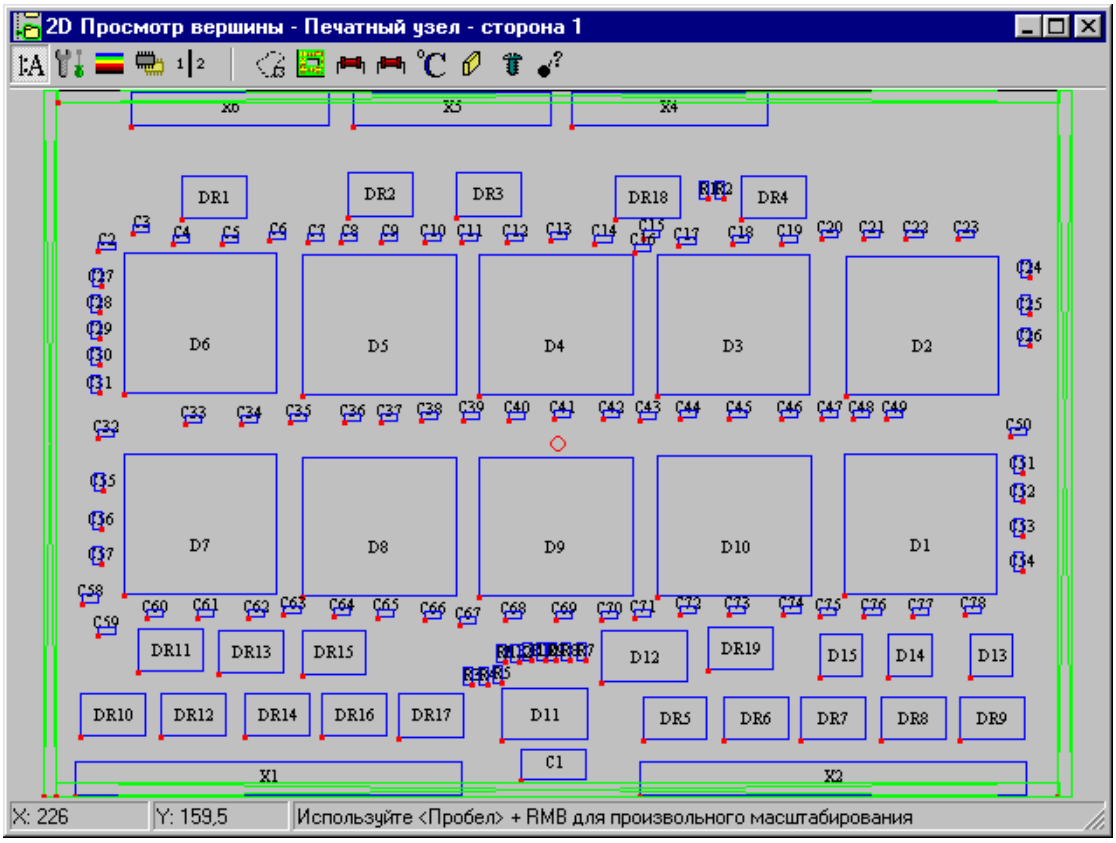


Рис. 4.1.1.1. Эскиз печатного узла МБПФ9М

Результаты расчета.

1. Моделирование печатного узла МБПФ9М при воздействии гармонической вибрации

На рис. 4.1.1.2 представлена зависимость виброускорения от частоты в центре платы. Как видно из рисунка, ПУ не имеет резонансов в заданном диапазоне частот. На рис. 4.1.1.3 представлены максимальные виброускорения ЭРИ на плате. В табл. 4.1.1.1 представлена карта механических режимов работы ЭРИ при воздействии гармонической вибрации (фрагмент). Как видно, расчетные ускорения ЭРИ при воздействии гармонической вибрации не превышают максимально допустимые значения по ТУ.

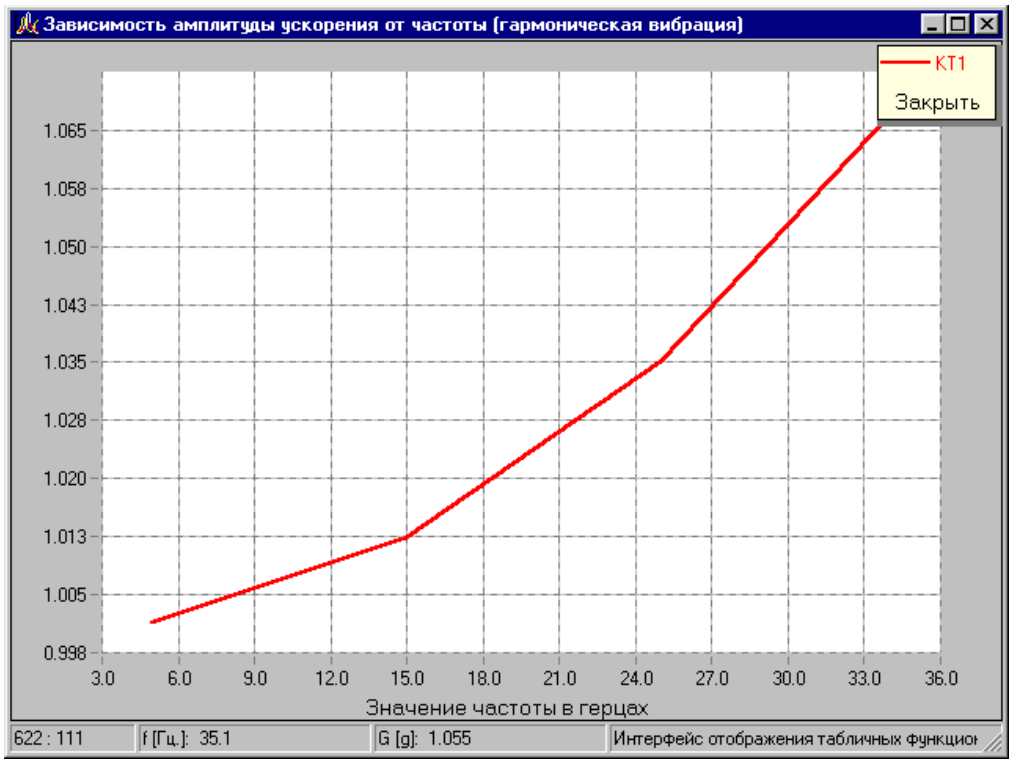


Рис. 4.1.1.2. Зависимость ускорения гармонической вибрации от частоты в центре печатного узла МБПФ9М

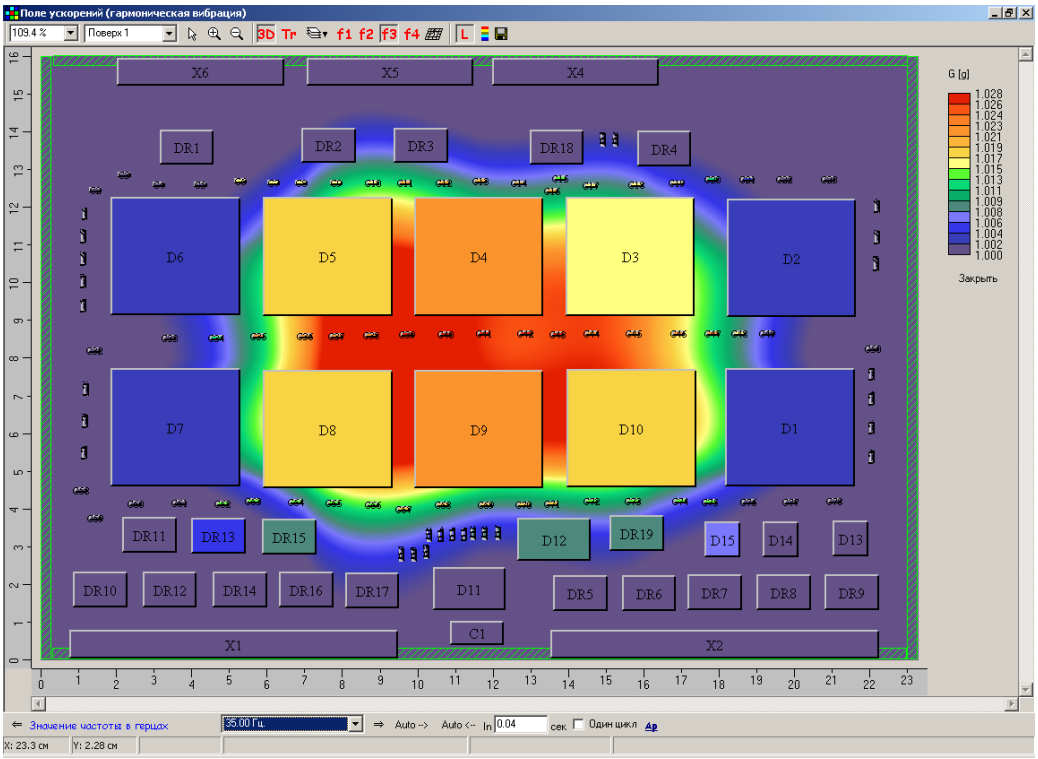


Рис. 4.1.1.3. Максимальные виброускорения ЭРИ печатного узла МБПФ9М при воздействии гармонической вибрации

Таблица 4.1.1.1

Карта механических режимов работы ЭРЭ
(при гармонической вибрации)

N П/П	ОБОЗНАЧЕНИЕ ЭРЭ	УСКОРЕНИЕ ЭРЭ: ЧАСТОТА, [Гц]	УСКОРЕНИЕ ЭРЭ: МАКСИМАЛЬНОЕ РАСЧЕТНОЕ, [G]	УСКОРЕНИЕ ЭРЭ: МАКСИМАЛЬНОЕ ДОПУСТИМОЕ ПО ТУ, [G]	КОЭФ-ЕНТ МЕХАНИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ ЭРЭ, [ОТ.ЕД.]	ПЕРЕГРУЗКА ЭРЭ, [G]
1	2	3	4	5	6	7
1	X6	5.00	1.00	40.00	0.025	
2	X5	5.00	1.00	40.00	0.025	
3	X4	5.00	1.00	40.00	0.025	
4	X1	5.00	1.00	40.00	0.025	
5	X2	5.00	1.00	40.00	0.025	
6	D1	35.00	1.02	40.00	0.025	
7	C1	5.00	1.00	20.00	0.050	
8	D2	35.00	1.01	40.00	0.025	
27	DR11	35.00	1.01	40.00	0.025	
28	DR12	35.00	1.00	40.00	0.025	
29	DR13	35.00	1.01	40.00	0.025	
30	DR14	35.00	1.01	40.00	0.025	
31	DR15	35.00	1.02	40.00	0.025	
32	DR16	35.00	1.01	40.00	0.025	
33	DR17	35.00	1.01	40.00	0.025	
34	DR18	35.00	1.01	40.00	0.025	
35	DR19	35.00	1.02	40.00	0.026	
36	C2	5.00	1.00	20.00	0.050	
37	C3	35.00	1.00	20.00	0.050	
38	C4	35.00	1.01	20.00	0.051	
39	C5	35.00	1.01	20.00	0.051	
40	C6	35.00	1.02	20.00	0.051	
41	C7	35.00	1.02	20.00	0.051	
107	C73	35.00	1.03	20.00	0.052	
108	C74	35.00	1.02	20.00	0.051	
109	C75	35.00	1.02	20.00	0.051	
110	C76	35.00	1.01	20.00	0.051	
111	C77	35.00	1.01	20.00	0.051	
112	C78	35.00	1.00	20.00	0.050	
113	R1	35.00	1.01	20.00	0.051	
114	R2	35.00	1.01	20.00	0.051	
115	R3	35.00	1.01	20.00	0.051	
116	R4	35.00	1.01	20.00	0.051	
117	R5	35.00	1.01	20.00	0.051	
118	R6	35.00	1.02	20.00	0.051	
119	R7	35.00	1.02	20.00	0.051	
120	R8	35.00	1.02	20.00	0.051	
121	R9	35.00	1.02	20.00	0.051	
122	R10	35.00	1.02	20.00	0.051	
123	R11	35.00	1.02	20.00	0.051	
124	R12	35.00	1.02	20.00	0.051	
125	D12	35.00	1.02	40.00	0.026	
126	D11	35.00	1.01	40.00	0.025	
127	D13	5.00	1.00	40.00	0.025	
128	D14	35.00	1.01	40.00	0.025	
129	D15	35.00	1.02	40.00	0.025	

2. Моделирование печатного узла МБПФ9М при воздействии механического удара одиночного действия.

На рис. 4.1.1.4 представлена зависимость ускорения механического удара одиночного от времени в центре платы. Как видно из рисунка, коэффициент передачи по ускорению в контрольной точке

равен 4. На рис. 4.1.1.5 представлены максимальные ускорения ЭРИ на плате. В табл. 4.1.1.2 представлена карта механических режимов работы ЭРИ при воздействии механического удара одиночного действия (фрагмент). Как видно, расчетные ускорения ЭРИ при воздействии механического удара одиночного действия не превышают максимально допустимые значения по ТУ.

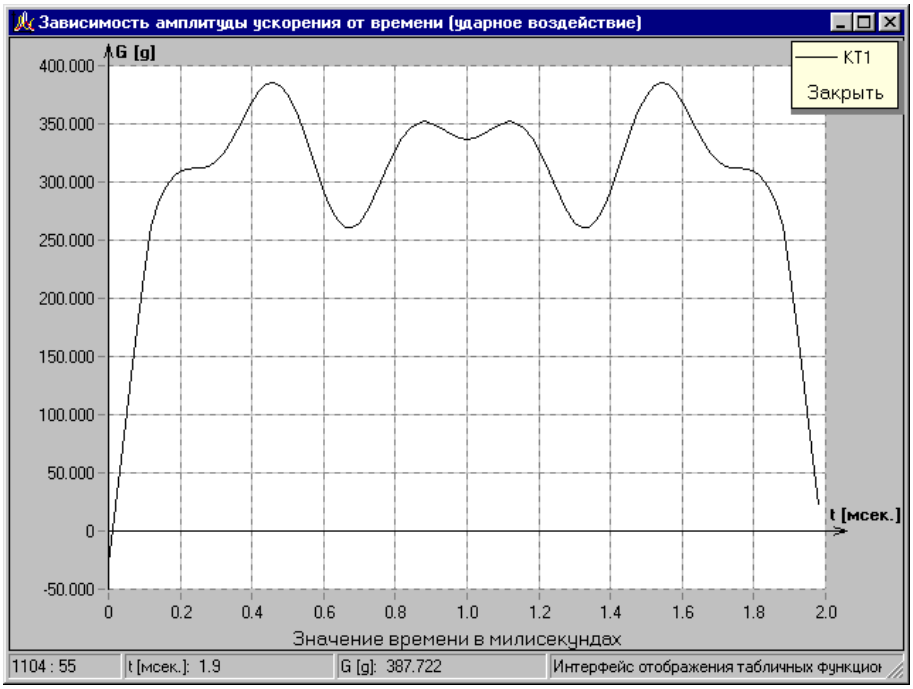


Рис. 4.1.1.4. Зависимость ускорения механического удара одиночного действия от времени в центре печатного узла МБПФ9М

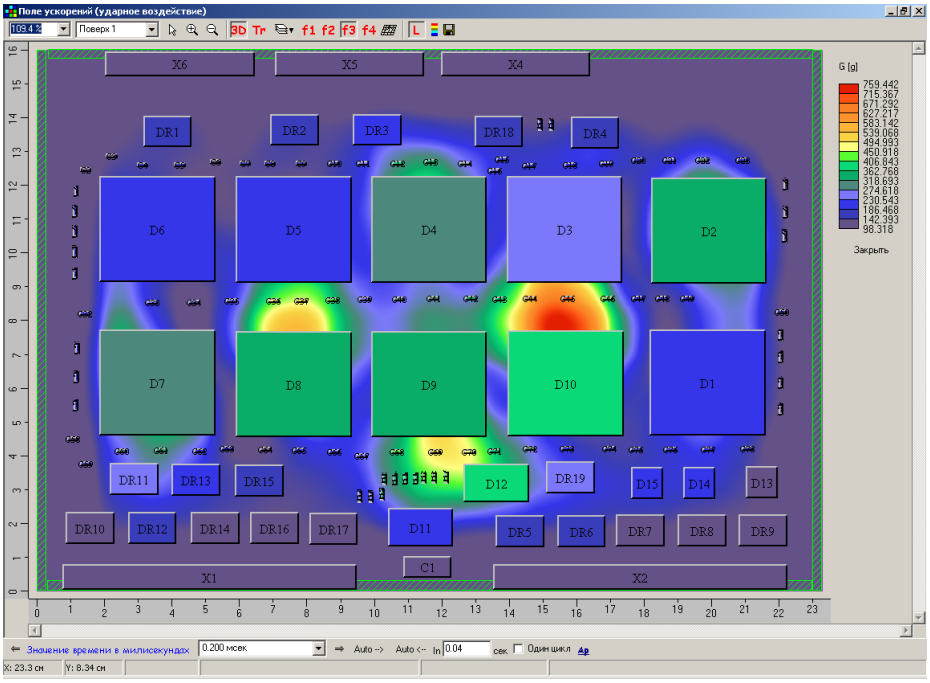


Рис. 4.1.1.5. Максимальные ускорения ЭРИ печатного узла МБПФ9М при воздействии механического удара одиночного действия

Таблица 4.1.1.2

Карта механических режимов работы ЭРЭ
(при механическом ударе одиночного действия)

N П/П	ОБОЗНАЧЕНИЕ ЭРЭ	УСКОРЕНИЕ ЭРЭ: ВРЕМЯ, [с]	УСКОРЕНИЕ ЭРЭ: МАКСИМАЛЬНОЕ РАСЧЕТНОЕ, [G]	УСКОРЕНИЕ ЭРЭ: МАКСИМАЛЬНОЕ ДОПУСТИМОЕ ПО ТУ, [G]	КОЭФ-ЕНТ МЕХАНИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ ЭРЭ, [ОТ.ЕД.]	ПЕРЕГРУЗКА ЭРЭ, [G]
1	X6	1.00	100.19	1000.00	0.100	
2	X5	0.20	100.20	1000.00	0.100	
3	X4	1.00	100.20	1000.00	0.100	
4	X1	0.80	100.00	1000.00	0.100	
5	X2	0.76	100.00	1000.00	0.100	
6	D1	0.20	218.51	1500.00	0.146	
7	C1	0.32	105.32	1000.00	0.105	
8	D2	0.20	328.55	1500.00	0.219	
28	DR12	0.16	154.88	1500.00	0.103	
29	DR13	0.16	224.23	1500.00	0.149	
30	DR14	0.14	154.79	1500.00	0.103	
31	DR15	0.16	164.82	1500.00	0.110	
32	DR16	0.14	152.15	1500.00	0.101	
33	DR17	0.16	146.24	1500.00	0.097	
34	DR18	0.28	175.24	1500.00	0.117	
35	DR19	0.42	245.59	1500.00	0.164	
36	C2	0.14	133.41	1000.00	0.133	
37	C3	0.14	133.23	1000.00	0.133	
38	C4	0.16	180.18	1000.00	0.180	
39	C5	0.28	159.26	1000.00	0.159	
40	C6	0.18	139.90	1000.00	0.140	
41	C7	0.20	153.27	1000.00	0.153	
107	C73	0.14	216.81	1000.00	0.217	
108	C74	0.42	209.86	1000.00	0.210	
109	C75	0.40	229.20	1000.00	0.229	
110	C76	0.38	239.54	1000.00	0.240	
111	C77	0.24	233.14	1000.00	0.233	
112	C78	0.18	164.28	1000.00	0.164	
113	R1	0.14	184.65	500.00	0.369	
114	R2	0.14	192.20	500.00	0.384	
115	R3	0.14	254.55	500.00	0.509	
116	R4	0.14	254.55	500.00	0.509	
117	R5	0.16	328.24	500.00	0.656	
118	R6	0.18	355.13	500.00	0.710	
119	R7	0.32	482.49	500.00	0.965	
120	R8	0.32	482.49	500.00	0.965	
121	R9	0.30	474.23	500.00	0.948	
122	R10	0.20	387.87	500.00	0.776	
123	R11	0.18	373.39	500.00	0.747	
124	R12	0.18	364.52	500.00	0.729	
125	D12	0.38	406.14	1000.00	0.406	
126	D11	0.18	209.73	1000.00	0.210	
127	D13	0.14	141.01	1000.00	0.141	
128	D14	0.20	196.34	1000.00	0.196	
129	D15	0.30	210.90	1000.00	0.211	

3. Моделирование печатного узла МБПФ9М при воздействии механического удара многократного действия.

На рис. 4.1.1.6 представлена зависимость ускорения механического удара многократного действия от времени в центре платы. Как видно из рисунка, коэффициент передачи по ускорению в контрольной точке равен 12. На рис. 4.1.1.7 представлены максимальные ускорения ЭРИ на плате. В табл. 4.1.1.3 представлена

карта механических режимов работы ЭРИ при воздействии механического удара многократного действия. Как видно, расчетные ускорения ЭРИ при воздействии механического удара многократного действия не превышают максимально допустимые значения по ТУ.

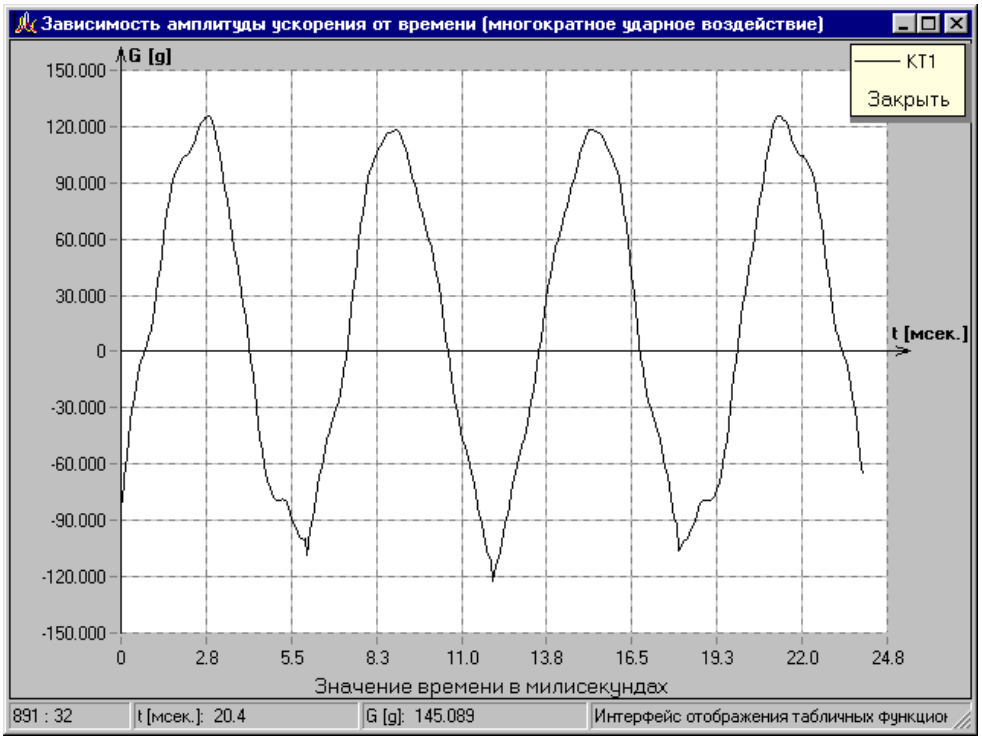


Рис. 4.1.1.6. Зависимость ускорения механического удара многократного действия от времени в центре печатного узла МБПФ9М

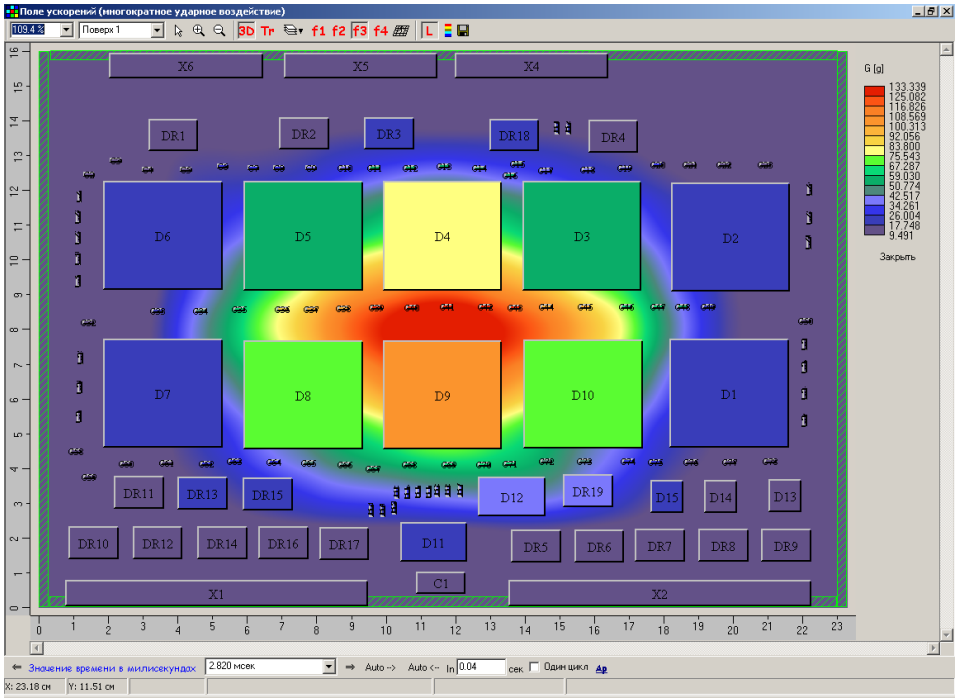


Рис. 4.1.1.7. Максимальные ускорения ЭРИ печатного узла МБПФ9М при воздействии механического удара многократного действия

Таблица 4.1.1.3

Карта механических режимов работы ЭРЭ
(при механическом ударе многократного действия)

N П/П	ОБОЗНАЧЕНИЕ ЭРЭ	УСКОРЕНИЕ ЭРЭ: ВРЕМЯ, [с]	УСКОРЕНИЕ ЭРЭ: МАКСИМАЛЬНОЕ РАСЧЕТНОЕ, [G]	УСКОРЕНИЕ ЭРЭ: МАКСИМАЛЬНОЕ ДОПУСТИМОЕ ПО ТУ, [G]	КОЭФ-ЕНТ МЕХАНИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ ЭРЭ, [ОТ.ЕД.]	ПЕРЕГРУЗКА ЭРЭ, [G]
1	2	3	4	5	6	7
1	X6	5.04	10.00	150.00	0.067	
2	X5	11.40	10.00	150.00	0.067	
3	X4	11.52	10.00	150.00	0.067	
4	X1	5.10	10.00	150.00	0.067	
5	X2	5.04	10.00	150.00	0.067	
6	D1	8.22	23.72	150.00	0.158	
7	C1	7.68	10.00	150.00	0.067	
8	D2	3.06	20.99	150.00	0.140	
28	DR12	20.70	13.78	150.00	0.092	
29	DR13	7.92	20.90	150.00	0.139	
30	DR14	23.76	20.09	150.00	0.134	
31	DR15	7.92	26.43	150.00	0.176	
32	DR16	23.76	19.98	150.00	0.133	
33	DR17	23.76	18.84	150.00	0.126	
34	DR18	22.32	19.90	150.00	0.133	
35	DR19	2.82	37.45	150.00	0.250	
36	C2	5.64	10.00	150.00	0.067	
37	C3	7.98	11.73	150.00	0.078	
38	C4	23.76	19.26	150.00	0.128	
39	C5	23.76	19.26	150.00	0.128	
40	C6	2.94	29.02	150.00	0.193	
41	C7	2.94	29.02	150.00	0.193	
107	C73	21.18	51.04	150.00	0.340	
108	C74	2.82	29.70	150.00	0.198	
109	C75	2.82	29.70	150.00	0.198	
110	C76	3.00	15.68	150.00	0.105	
111	C77	3.00	14.39	150.00	0.096	
112	C78	3.00	10.99	150.00	0.073	
113	R1	22.38	18.21	150.00	0.121	
114	R2	22.38	18.21	150.00	0.121	
115	R3	2.94	20.71	150.00	0.138	
116	R4	2.94	20.71	150.00	0.138	
117	R5	2.94	20.71	150.00	0.138	
118	R6	2.88	29.76	150.00	0.198	
119	R7	2.88	42.53	150.00	0.284	
120	R8	2.88	42.53	150.00	0.284	
121	R9	2.88	42.36	150.00	0.282	
122	R10	2.88	36.43	150.00	0.243	
123	R11	2.88	35.36	150.00	0.236	
124	R12	2.88	29.76	150.00	0.198	
125	D12	2.88	39.76	150.00	0.265	
126	D11	2.94	18.55	150.00	0.124	
127	D13	5.64	10.00	150.00	0.067	
128	D14	7.98	13.33	150.00	0.089	
129	D15	2.76	21.50	150.00	0.143	

Выводы.

На третьем этапе моделирования рассматривались печатные узлы. В качестве примера приведены результаты моделирования одного из восьми печатных узлов – платы МБПФ9М. Моделирование на ЭВМ механических процессов в 7 печатных узлах с помощью подсистемы АСОНИКА-ТМ показало, что даже без использования

виброизоляторов расчетные ускорения ЭРИ при воздействии гармонической вибрации, механического удара одиночного действия и механического удара многократного действия не превышают максимально допустимые значения по ТУ.

Использование виброизоляторов в стеллажах позволяет значительно снизить нагрузку, приходящуюся на шкафы и печатные узлы, в рабочем диапазоне частот. Поэтому, если даже в конструкции приборов, входящих в состав стеллажа, будут наблюдаться резонансы, это практически не приведет к перегрузкам.

4.1.2. Моделирование механических характеристик печатных узлов 191 и 192 при воздействии гармонической вибрации и сравнение полученных результатов с экспериментальными значениями

Задача расчета.

Провести с помощью системы АСОНИКА-ТМ моделирование механических характеристик 2 печатных узлов 191 и 192 при воздействии гармонической вибрации и сравнить полученные результаты с экспериментальными значениями.

Данные для расчета:

чертежи конструкций печатных узлов (рис. 4.1.2.1, рис. 4.1.2.2); перечни элементов; выходные файлы PCAD; параметры гармонической вибрации: 5…500 Гц, 5g.

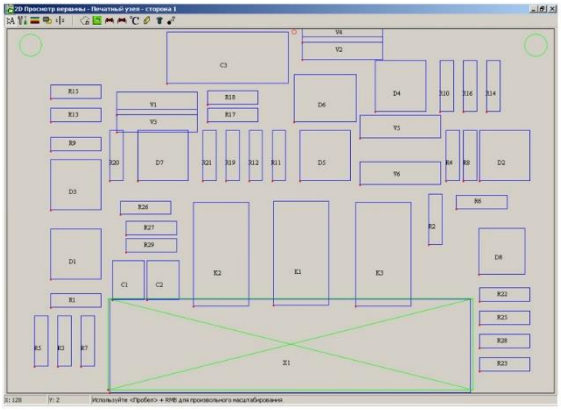


Рис. 4.1.2.1. Изображение печатного узла 191 в графическом редакторе системы АСОНИКА-ТМ

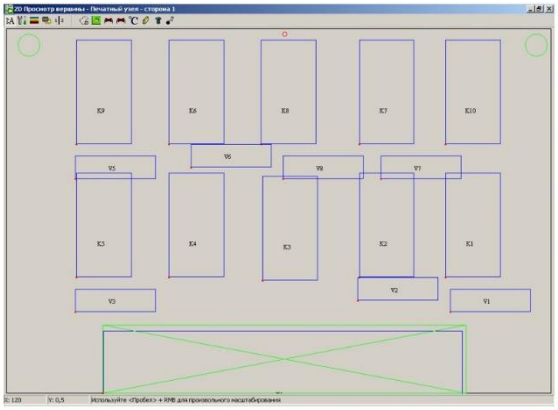


Рис. 4.1.2.2. Изображение печатного узла 192 в графическом редакторе системы АСОНИКА-ТМ

Результаты расчета.

Размещение электрорадиоизделий (ЭРИ) было автоматически считано системой АСОНИКА-ТМ из выходных файлов PCAD. Затем были заданы крепления (на рис. 4.1.2.1, 4.1.2.2 окрашены в зеленый цвет) и контрольные точки (на рис. 4.1.2.1, 4.1.2.2 показаны красным кружком). Контрольные точки имитируют вибродатчики.

Было задано входное механическое воздействие (см. рис. 4.1.2.3).

Результаты моделирования представлены на рис. 4.1.2.4 – 4.1.2.7 и в табл. 4.1.2.1, 4.1.2.2.

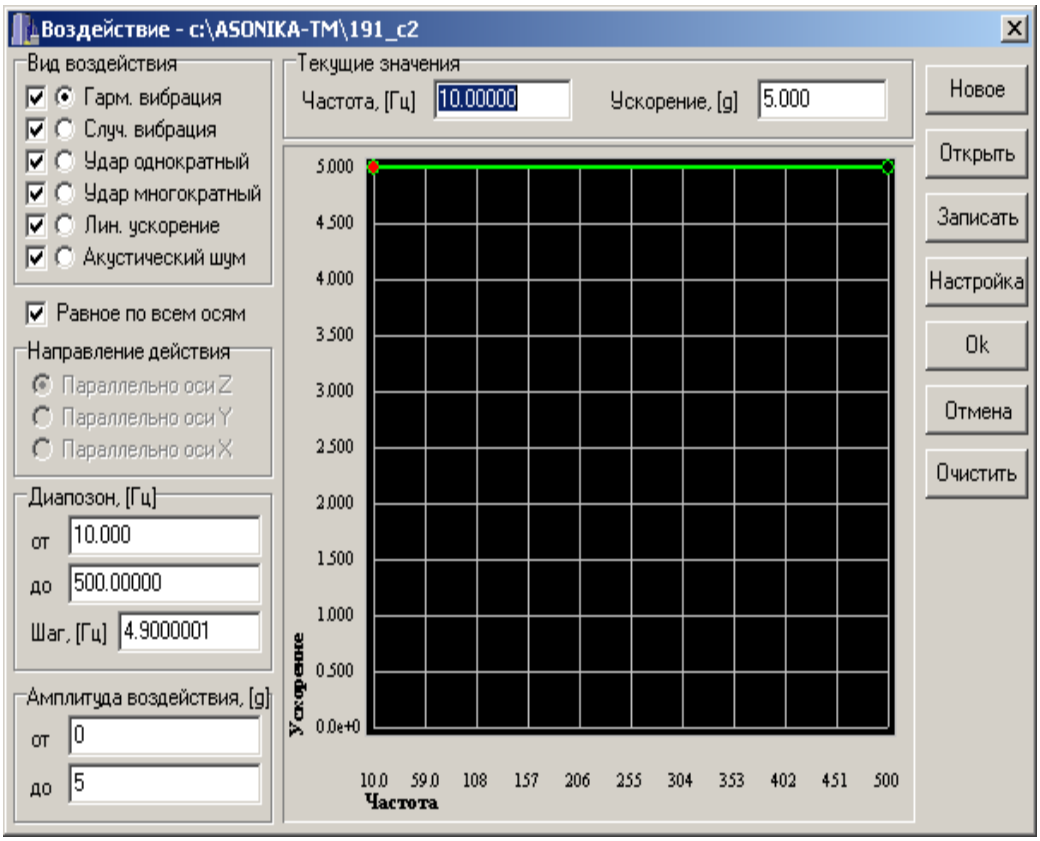


Рис. 4.1.2.3. Заданное входное вибрационное воздействие

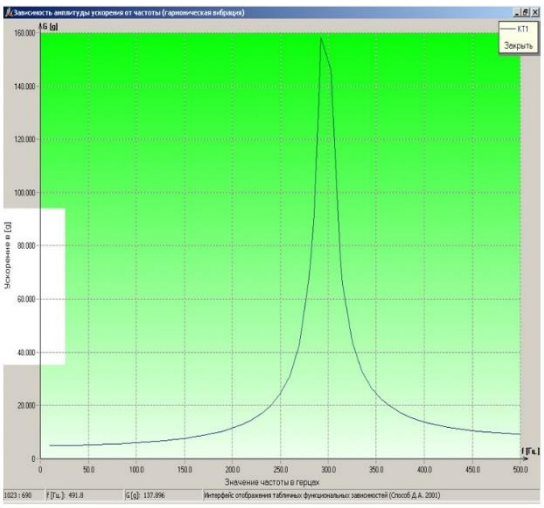


Рис. 4.1.2.4. Зависимость виброускорения в контрольной точке от частоты для печатного узла 191

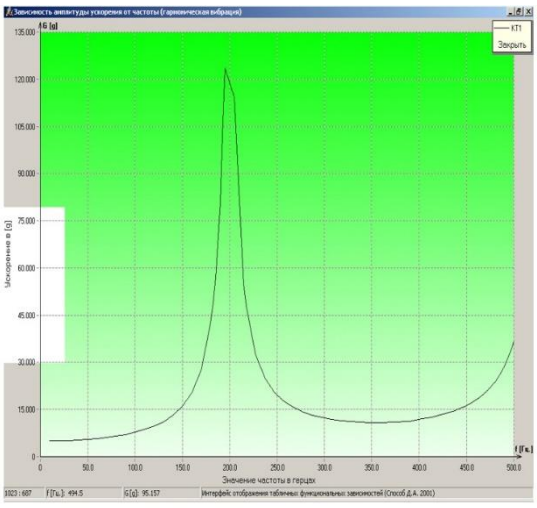


Рис. 4.1.2.5. Зависимость виброускорения в контрольной точке от частоты для печатного узла 192

Таблица 4.1.2.1

Карта механических режимов работы ЭРИ для печатного узла 191
(при гармонической вибрации)

N П/П	ОБОЗНАЧЕНИЕ ЭРЭ	УСКОРЕНИЕ ЭРЭ: ЧАСТОТА, [Гц]	УСКОРЕНИЕ ЭРЭ: МАКСИМАЛЬНОЕ РАСЧЕТНОЕ, [G]	УСКОРЕНИЕ ЭРЭ: МАКСИМАЛЬНОЕ ДОПУСТИМОЕ ПО ТУ, [G]	КОЭФ-ЕНТ МЕХАНИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ ЭРЭ, [ОТ.ЕД.]	ПЕРЕГРУЗКА ЭРЭ, [G]
1	2	3	4	5	6	7
1	C1	292.50	7.81	30.00	0.260	
. .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .
3	C3	292.50	137.18	30.00	4.573	107.18
4	D1	292.50	9.51	30.00	0.317	
. .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .
7	D4	292.50	89.13	30.00	2.971	59.13
8	D5	292.50	99.27	30.00	3.309	69.27
9	D6	292.50	133.18	30.00	4.439	103.18
10	D7	292.50	67.90	30.00	2.263	37.90
. .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .
12	K1	292.50	29.83	30.00	0.994	
. .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .
15	R1	500.00	5.51	30.00	0.184	
. .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .
18	R4	292.50	33.72	30.00	1.124	3.72
. .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .
24	R10	292.50	46.74	30.00	1.558	16.74
25	R11	292.50	105.76	30.00	3.525	75.76
26	R12	292.50	104.27	30.00	3.476	74.27
. .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .
30	R16	292.50	31.68	30.00	1.056	1.68
31	R17	292.50	121.98	30.00	4.066	91.98
32	R18	292.50	134.62	30.00	4.487	104.62
33	R19	292.50	100.95	30.00	3.365	70.95
34	R20	292.50	41.91	30.00	1.397	11.91
35	R21	292.50	91.94	30.00	3.065	61.94
. .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .
39	R26	292.50	36.71	30.00	1.224	6.71
. .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .
43	V1	292.50	82.18	30.00	2.739	52.18
44	V2	292.50	137.09	30.00	4.570	107.09
45	V3	292.50	78.09	30.00	2.603	48.09
46	V4	292.50	137.80	30.00	4.593	107.80
47	V5	292.50	77.92	30.00	2.597	47.92
48	V6	292.50	58.64	30.00	1.955	28.64
49	X1	290.00	5.00	30.00	0.167	

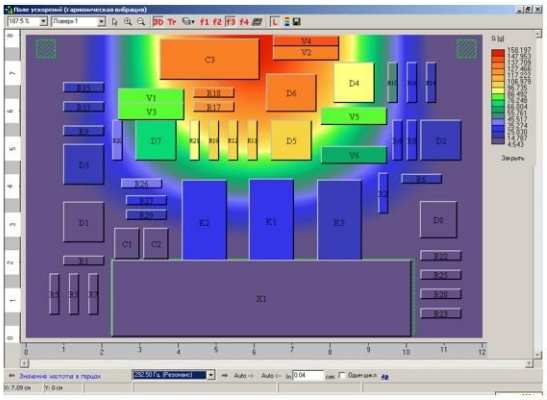


Рис. 4.1.2.6. Поле виброускорений в печатном узле 191 на резонансной частоте

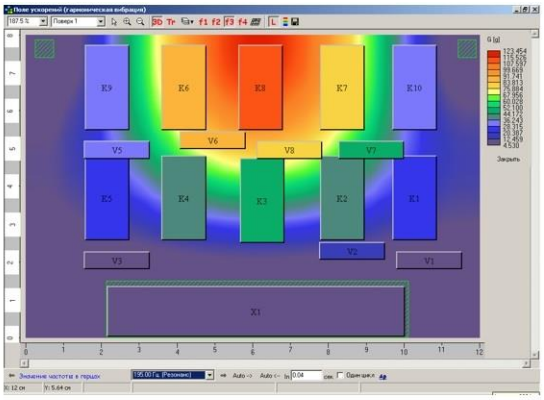


Рис. 4.1.2.7. Поле виброускорений в печатном узле 192 на резонансной частоте

Таблица 4.1.2.2

Карта механических режимов работы ЭРИ для печатного узла 192

N п/п	ОБОЗНАЧЕНИЕ ЭРЭ	УСКОРЕНИЕ ЭРЭ: ЧАСТОТА, [Гц]	УСКОРЕНИЕ ЭРЭ: МАКСИМАЛЬНОЕ РАСЧЕТНОЕ, [G]	УСКОРЕНИЕ ЭРЭ: МАКСИМАЛЬНОЕ ДОПУСТИМОЕ ПО ТУ, [G]	КОЭФ-ЕНТ МЕХАНИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ ЭРЭ, [ОТ.ЕД.]	ПЕРЕГРУЗКА ЭРЭ, [G]
1	2	3	4	5	6	7
1	K1	500.00	32.03	30.00	1.068	2.03
2	K2	195.00	40.27	30.00	1.342	10.27
3	K3	195.00	50.18	30.00	1.673	20.18
4	K4	195.00	42.38	30.00	1.413	12.38
5	K5	500.00	32.28	30.00	1.076	2.28
6	K6	195.00	89.97	30.00	2.999	59.97
7	K7	195.00	83.65	30.00	2.788	53.65
8	K8	195.00	113.86	30.00	3.795	83.86
9	K9	195.00	33.65	30.00	1.122	3.65
10	K10	195.00	31.01	30.00	1.034	1.01
11	V1	500.00	17.07	30.00	0.569	
. .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .
14	V5	195.00	36.04	30.00	1.201	6.04
15	V6	195.00	84.39	30.00	2.813	54.39
16	V7	195.00	50.71	30.00	1.690	20.71
17	V8	195.00	82.00	30.00	2.733	52.00
18	X1	192.50	5.00	30.00	0.167	

В табл. 4.1.2.3 приведены результаты сравнения расчетных и экспериментальных результатов для печатного узла 191. В табл. 4.1.2.4 приведены результаты сравнения расчетных и экспериментальных результатов для печатного узла 192.

Таблица 4.1.2.3

Сравнение расчетных и экспериментальных результатов для печатного узла 191

№ п/п	Характеристика	Расчетное значение	Экспериментальное значение	Погрешность, %
1	Резонансная частота	292 Гц	300 Гц	2,6
2	Виброускорение в контрольной точке	158 g	150 g	5,3

Таблица 4.1.2.4

Сравнение расчетных и экспериментальных результатов для печатного узла 192

№ п/п	Характеристика	Расчетное значение	Экспериментальное значение	Погрешность, %
1	Резонансная частота	195 Гц	184 Гц	6
2	Виброускорение в контрольной точке	124 g	150 g	17

Выводы.

В результате сравнения расчетных и экспериментальных результатов было получено, что погрешность расчетов для печатного узла 191 составляет 2,6 % по частоте и 5,3 % по амплитуде. Погрешность расчетов для печатного узла 192 составляет 6 % по частоте и 17 % по амплитуде. Погрешность расчетов по системе АСОНИКА-ТМ является вполне удовлетворительной для инженерных расчетов.

Таким образом, система АСОНИКА-ТМ может быть использована при проектировании конструкций электронной аппаратуры на предприятии.

4.1.3. Расчет конструкций печатных узлов в составе блока преобразователя напряжения при механических воздействиях

Задача расчета.

Провести расчет конструкций семи печатных узлов (ПУ) в составе блока преобразователя напряжения при механических воздействиях – вибрациях и ударах. На основе анализа механических характеристик сделать выводы о выполнении требований по стойкости блока преобразователя напряжения к механическим воздействиям.

Данные для расчета:

1) сборочные чертежи печатных узлов А1, А2, А3, А5, А6, А7, А10 (в п. 4.1.3 в качестве примера будут представлены результаты расчета одного из семи ПУ (эскиз конструкции ПУ А3 представлен на рис. 4.1.3.1: опоры на рисунке закрашены в черный цвет; контрольные точки (места установки датчиков) показаны крестиком));

2) перечни электрорадиоэлементов (ЭРЭ) для каждого ПУ (перечень ЭРЭ для ПУ А3 см. табл. 4.1.3.1);

3) параметры механических воздействий. Блок преобразователя напряжения должен функционировать при следующих механических воздействиях: гармоническая вибрация с ускорением 1g в диапазоне частот 1-100 Гц; механический удар многократного действия с пиковым ударным ускорением до 4g при длительности воздействия ударного импульса 50-100 мс.

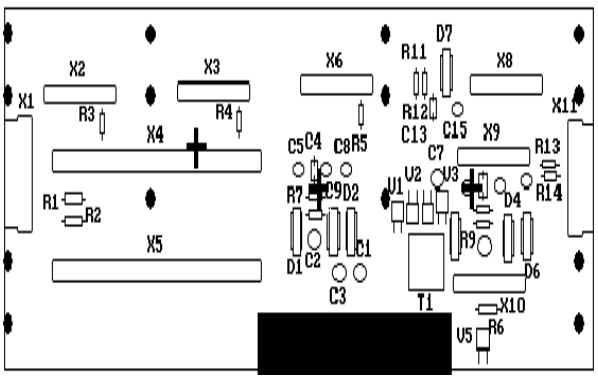


Рис. 4.1.3.1. Эскиз конструкции ПУ А3

Таблица 4.1.3.1

Перечень ЭРЭ для ПУ А3

Обозначение	Наименование	Количество
R1, R2	С2-33Н-1-5,1кОм±5%-А-Д-В	2
…	…	…
Т1	Трансформатор Т5-01 ВМИЖ.671121.008	1
…	…	…
V1…V5	Диод КД 212А аАО.336.175 ТУ	5
…	…	…
Х1	Вилка ГРПП3-14 ШП-В КЕО.364.003 ТУ	1
…	…	…
С1…С3	К50-68-25В 100 мкФ±20%-В	3
…	…	…
D2	КР142ЕН5А бК0.348.634-02 ТУ	1
…	…	…

Результаты расчета.

На рис. 4.1.3.2 – 4.1.3.3 представлены зависимости амплитуды виброускорения от частоты и ударного ускорения от времени в контрольных точках ПУ. В табл. 4.1.3.2 – 4.1.3.3 и на рис. 4.1.3.4 – 4.1.3.7 представлены результаты механических режимов работы ЭРЭ для всех ПУ при вибрационных и ударных воздействиях.

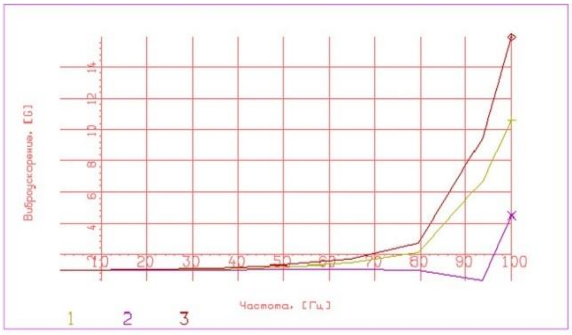


Рис. 4.1.3.2. Зависимость амплитуды виброускорения от частоты в контрольных точках ПУ А3

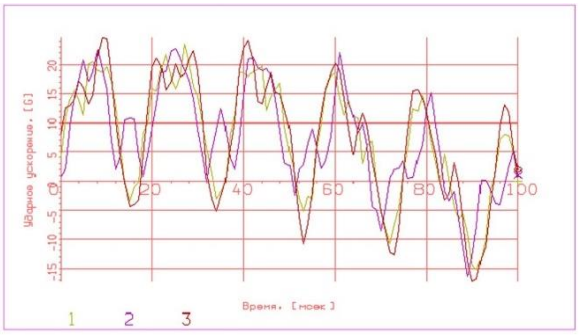


Рис. 4.1.3.3. Зависимость ударного ускорения от времени в контрольных точках ПУ А3

Таблица 4.1.3.2

Карта механических режимов работы ЭРЭ для ПУ А3 при воздействии гармонической вибрации

N П/П	ОБОЗН. ЭРЭ	УСКОРЕНИЕ ЭРЭ: МАХ РАСЧ-Е ЧАСТОТА [ГЦ]	УСКОРЕНИЕ ЭРЭ: МАХ РАСЧ-Е УСКОР. [G]	УСКОРЕНИЕ ЭРЭ: МАКСИМАЛЬНОЕ ДОПУСТИМОЕ ПО ТУ, [G]	КОЭФФИЦ-Т МЕХАНИЧ-Й НАГРУЗКИ ЭРЭ, [ОТ.ЕД.]	ПЕРЕГРУЗКА ЭРЭ, [G]
1	R1	100.	2.6	30.0	.09	
15	C1	94.	2.1	10.0	.21	
18	C4	100.	14.5	10.0	1.45	4.5
19	C5	100.	14.5	10.0	1.45	4.5
23	C9	100.	14.5	10.0	1.45	4.5
30	V1	94.	1.1	40.0	.03	
35	D1	100.	10.6	40.0	.26	
42	T1	100.	2.7	40.0	.07	
43	X1	100.	1.2	30.0	.04	

Таблица 4.1.3.3

Карта механических режимов работы ЭРЭ для ПУ А3 при ударном воздействии

N П/П	ОБОЗН. ЭРЭ	УДАРНОЕ УСКОРЕНИЕ ЭРЭ: РАСЧЕТНОЕ [G]	УДАРНОЕ УСКОРЕНИЕ ЭРЭ: МАКСИМАЛЬНОЕ ДОПУСТИМОЕ ПО ТУ, [G]	КОЭФФИЦ-Т МЕХАНИЧ-Й НАГРУЗКИ ЭРЭ, [ОТ.ЕД.]	ПЕРЕГРУЗКА ЭРЭ, [G]
1	R1	21.4	150.0	.14	
15	C1	19.2	40.0	.48	
30	V1	19.3	150.0	.13	
35	D1	19.0	150.0	.13	
42	T1	19.9	150.0	.13	
43	X1	19.9	50.0	.40	

ПУ А3 имеет 1-й резонанс на частоте 98 Гц. Согласно карте механических режимов (см. табл. 4.1.3.2) перегрузку имеют только три конденсатора С4, С5, С9, расположенные в центре платы (см. рис. 4.1.3.1). Для них коэффициент механической нагрузки, представляющий собой отношение расчетного значения виброускорения ЭРЭ к максимально допустимому по ТУ, составляет 1,45. Можно было бы предложить ввести дополнительные крепления, чтобы вывести резонансную частоту ПУ А3 за диапазон воздействия гармонической вибрации. Однако, учитывая, что перегрузку имеют

только три элемента и что на плате есть достаточно места для переразмещения ЭРЭ, для снижения ускорений конденсаторов можно их переставить подальше от центра, воспользовавшись для выбора места их расположения полем виброускорений на резонансе, представленным на рис. 4.1.3.5.

Расчет всех ПУ при ударном воздействии перегрузок ЭРЭ не выявил (см. табл. 4.1.3.3).

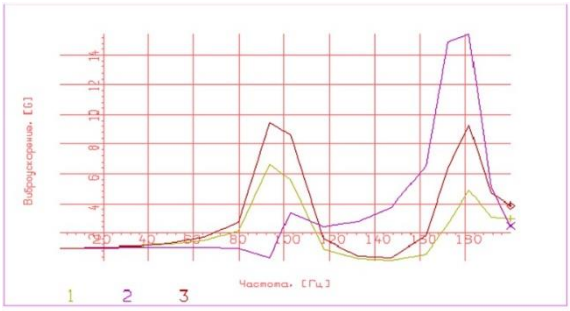


Рис. 4.1.3.4. Зависимость амплитуды виброускорений от частоты в контрольных точках ПУ А3 за пределами заданного диапазона

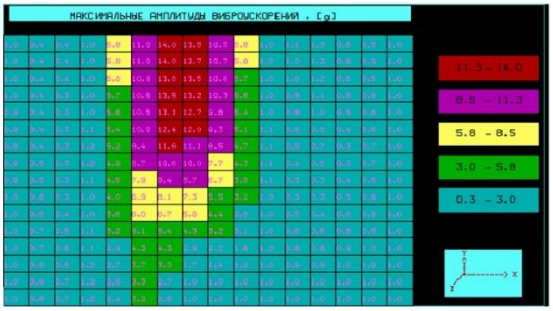


Рис. 4.1.3.5. Поле виброускорений на 1-м (98 Гц) резонансе для ПУ А3



Рис. 4.1.3.6. Максимальные виброускорения ЭРЭ в диапазоне частот для ПУ А3

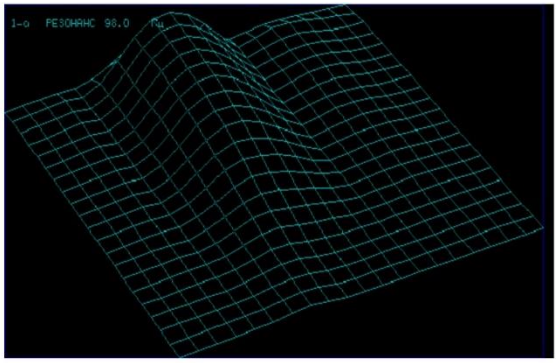


Рис. 4.1.3.7. Форма колебаний на 1-м (98 Гц) резонансе для ПУ А3

Выводы.

Анализ механических характеристик показал, что требования по стойкости к механическим воздействиям выполняются для всех печатных узлов блока преобразователя напряжения, кроме ПУ А3. При воздействии гармонической вибрации три конденсатора С4, С5, С9 имеют перегрузку. Для устранения перегрузки рекомендуется переразместить эти конденсаторы, воспользовавшись полем виброускорений на резонансе, представленным в данном отчете на рис. 4.1.3.5.

4.1.4. Расчет различных вариантов конструкции печатного узла при механических воздействиях

Задача расчета.

Провести расчет различных вариантов конструкции печатного узла при механических воздействиях. На основе анализа механических характеристик предложить вариант, наилучшим образом отвечающий выполнению требований по стойкости к механическим воздействиям.

Данные для расчета:

сборочный чертеж ПУ (рис. 4.1.4.1);

перечень ЭРЭ на плате (табл. 4.1.4.1);

параметры механических воздействий (табл. 4.1.4.2);

масса реле уменьшена в 2 раза и составляет по 7 г.

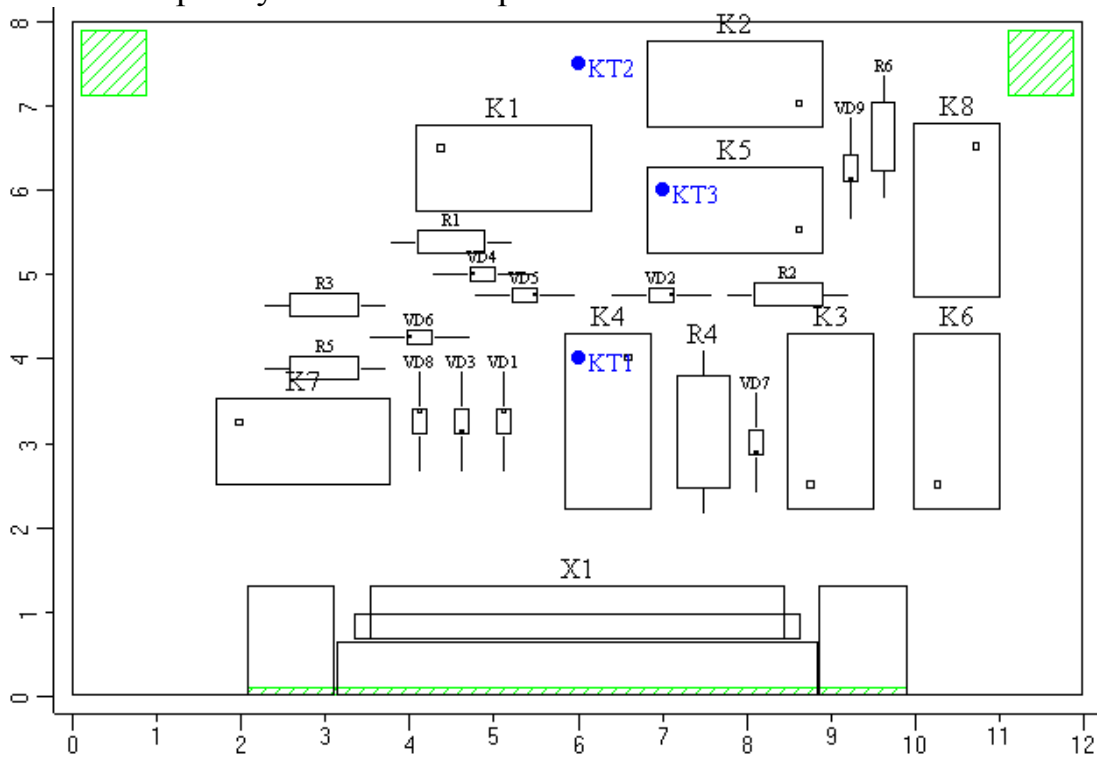


Рис. 4.1.4.1. Сборочный чертеж ПУ

Таблица 4.1.4.1

Перечень ЭРЭ на плате

№ п/п	Позиционное обозначение	Тип	Количество	Масса ЭРЭ, г	Допустимое ускорение вибрации, g
1	K1…K8	RES48	8	7 (56)	40
2	R1…R3, R5, R6	S2-3325	5	0,3 (1,5)	40
3	R4	S2-331	1	1,5 (1,5)	40
4	VD1…VD9	2D102	9	0,2 (1,8)	40
5	X1	GRPM1-31	1	10 (10)	40
Итого			24	126,8	-

Таблица 4.1.4.2

Параметры воздействия

Гармоническая вибрация	
Диапазон частот, Гц	Входное воздействие, g
1…125	6
125…500	3

Результаты расчета.

1. Расчет платы с толщиной основания ПУ 1,5 мм.

Расчет выявил один резонанс конструкции ПУ на частоте вибрации 320,30 Гц. Зависимость виброускорения от частоты в контрольных точках платы представлена на рис. 4.1.4.2.

Поле виброускорений по плате на резонансной частоте 320,30 Гц представлено на рис. 4.1.4.3, поле напряжений – на рис. 4.1.4.4.

Как видно, максимальные расчетные напряжения (19,075 МПа) уменьшились по сравнению с предыдущим вариантом (масса реле была в 2 р. больше) в 1,57 раза. Расчетные напряжения в области реле К8 также уменьшились и составляют около 7,63 МПа на резонансной частоте (ранее составляли 16 МПа).

В табл. 4.1.4.3 представлена карта механических режимов работы ЭРЭ при воздействии гармонической вибрации. Как видно, расчетные ускорения ЭРЭ при воздействии гармонической вибрации превышают максимально допустимые значений по ТУ.

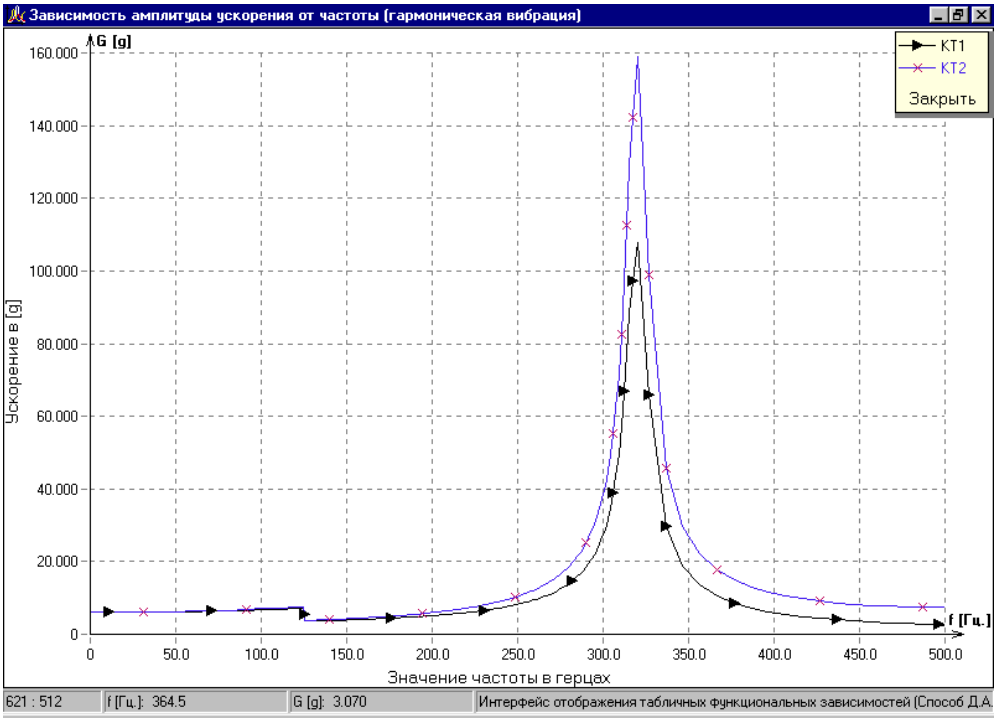


Рис. 4.1.4.2. Зависимость амплитуды виброускорения в контрольных точках ПУ от частоты

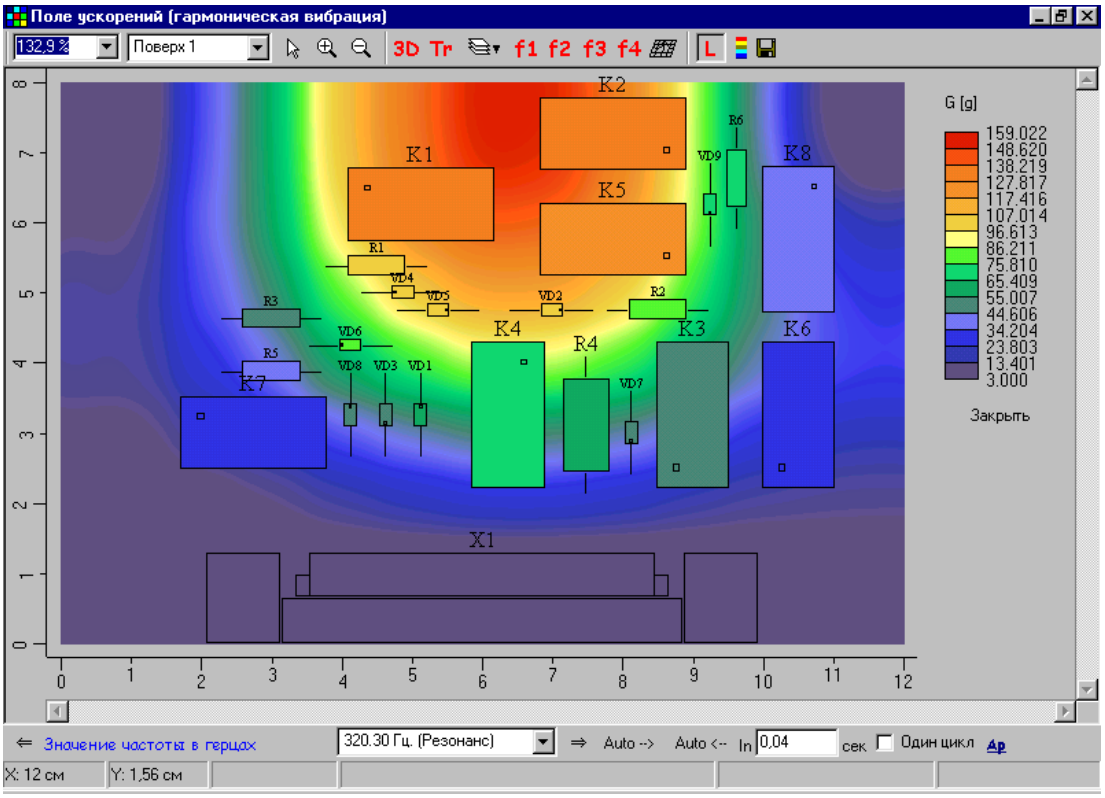


Рис. 4.1.4.3. Поле виброускорений на резонансной частоте f = 320,30 Гц

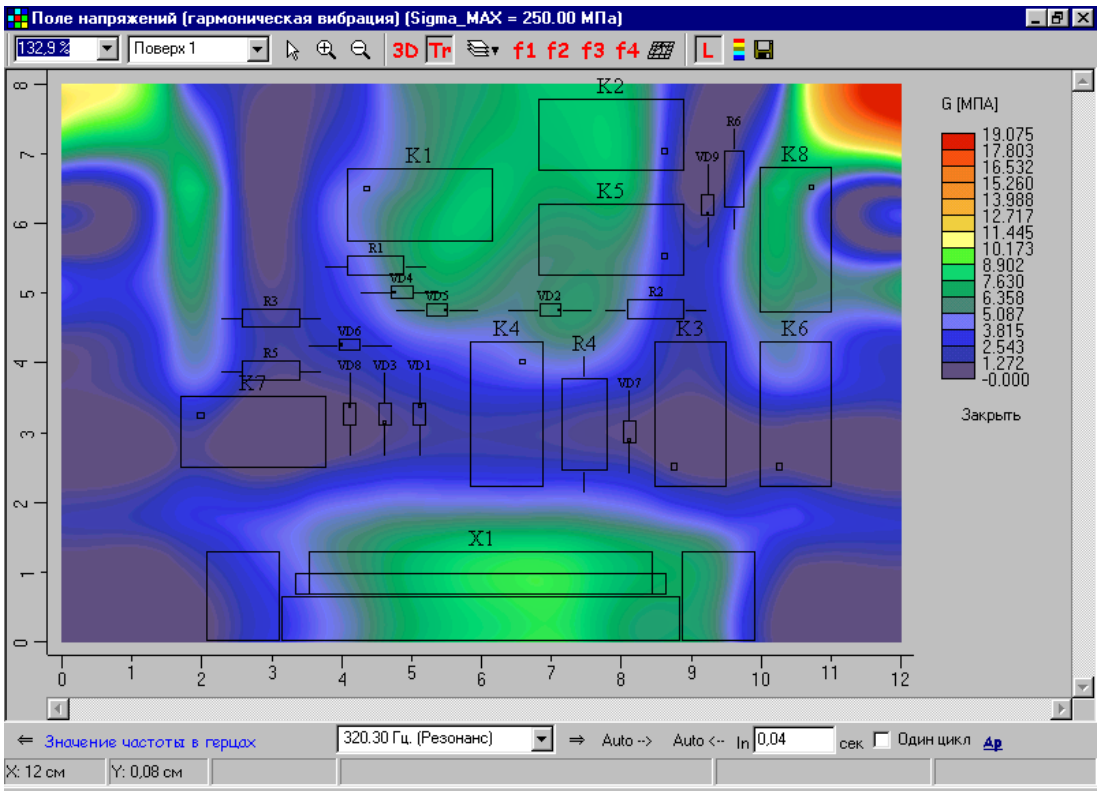


Рис. 4.1.4.3. Поле напряжений на резонансной частоте f = 320,30 Гц

Таблица 4.1.4.3

Карта механических режимов работы ЭРЭ ПУ

N П/П	ОБОЗНАЧЕНИЕ ЭРЭ	УСКОРЕНИЕ ЭРЭ: ЧАСТОТА, [Гц]	УСКОРЕНИЕ ЭРЭ: МАКСИМАЛЬНОЕ РАСЧЕТНОЕ, [G]	УСКОРЕНИЕ ЭРЭ: МАКСИМАЛЬНОЕ ДОПУСТИМОЕ ПО ТУ, [G]	КОЭФ-ЕНТ МЕХАНИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ ЭРЭ, [ОТ.ЕД.]	ПЕРЕГРУЗКА ЭРЭ, [G]
1	2	3	4	5	6	7
1	K1	320.30	131.83	40.00	3.296	91.83
2	K2	320.30	133.30	40.00	3.332	93.30
3	K3	320.30	47.97	40.00	1.199	7.97
4	K4	320.30	66.44	40.00	1.661	26.44
5	K5	320.30	120.23	40.00	3.006	80.23
6	K6	320.30	32.00	40.00	0.800	
7	K7	320.30	26.93	40.00	0.673	
8	K8	320.30	39.61	40.00	0.990	
9	R1	320.30	106.77	40.00	2.669	66.77
10	R2	320.30	83.88	40.00	2.097	43.88
11	R3	320.30	53.31	40.00	1.333	13.31
12	R4	320.30	58.24	40.00	1.456	18.24
13	R5	320.30	39.57	40.00	0.989	
14	R6	320.30	71.36	40.00	1.784	31.36
15	VD6	320.30	77.63	40.00	1.941	37.63
16	VD8	320.30	51.91	40.00	1.298	11.91
17	VD4	320.30	104.23	40.00	2.606	64.23
18	VD3	320.30	51.91	40.00	1.298	11.91
19	VD1	320.30	61.42	40.00	1.536	21.42
20	VD5	320.30	99.02	40.00	2.476	59.02
21	VD2	320.30	104.61	40.00	2.615	64.61
22	VD7	320.30	47.42	40.00	1.186	7.42
23	VD9	320.30	71.58	40.00	1.789	31.58
24	X1	125.00	6.03	40.00	0.151	

2. Расчет платы с толщиной основания ПУ 2,5 мм

Расчет выявил один резонанс конструкции ПУ на частоте вибрации 420 Гц (см. рис. 4.1.4.4).

3. Расчет платы с толщиной основания ПУ 1,5 мм и дополнительными креплениями.

Добавлено 3 опоры (см. рис. 4.1.4.5). Расчет не выявил резонансов конструкции ПУ.

Зависимость виброускорения от частоты в контрольных точках платы представлена на рис. 4.1.4.6. Поле виброускорений по плате представлено на рис. 4.1.4.7, поле напряжений – на рис. 4.1.4.8.

Как видно, максимальные расчетные напряжения (2,62 МПа) уменьшились по сравнению с первоначальным вариантом в 11,45 раза. Расчетные напряжения в области реле К8 существенно уменьшились и составляют около 0,175 МПа (ранее составляли 16 МПа).

В табл. 4.1.4.4 представлена карта механических режимов работы ЭРЭ при воздействии гармонической вибрации. Как видно, расчетные ускорения ЭРЭ при воздействии гармонической вибрации не превышают максимально допустимые значения по ТУ.

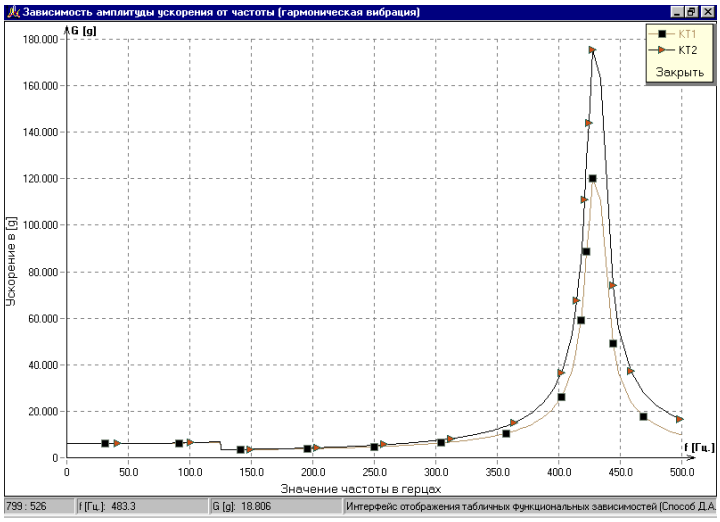


Рис. 4.1.4.4. Зависимость амплитуды виброускорения в контрольных точках ПУ от частоты

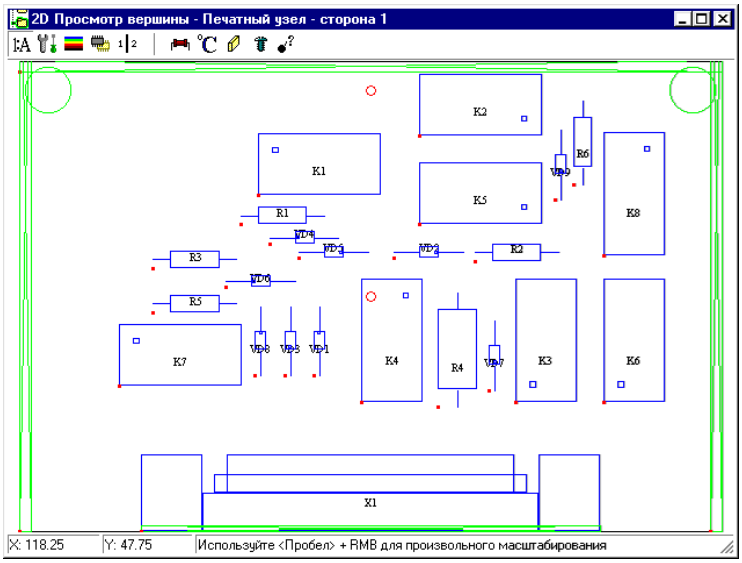


Рис. 4.1.4.5. Сборочный чертеж ПУ с дополнительными креплениями

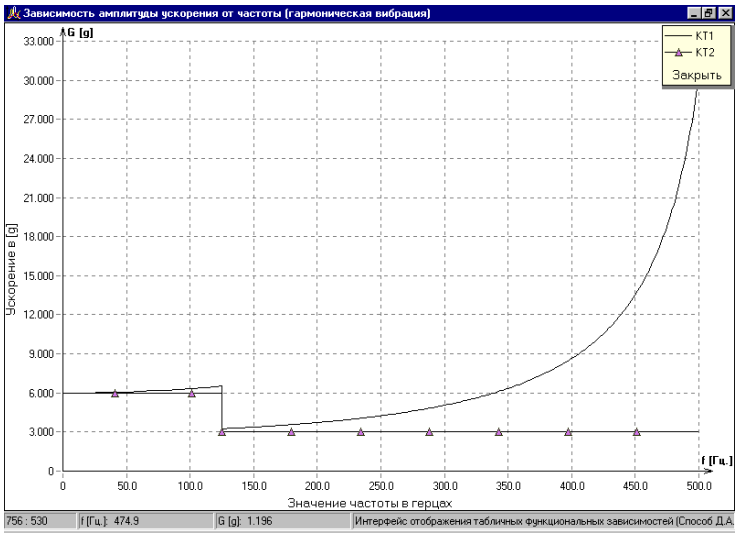


Рис. 4.1.4.6. Зависимость амплитуды виброускорения в контрольных точках ПУ от частоты

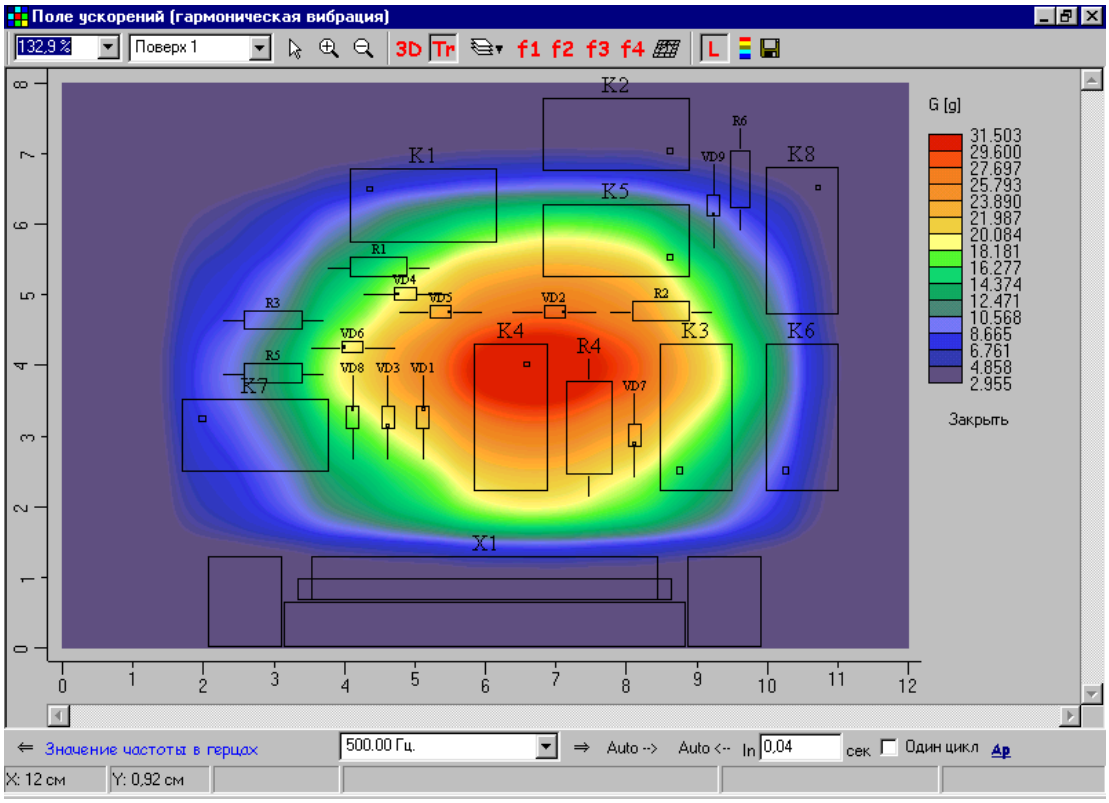


Рис. 4.1.4.7. Поле максимальных виброускорений

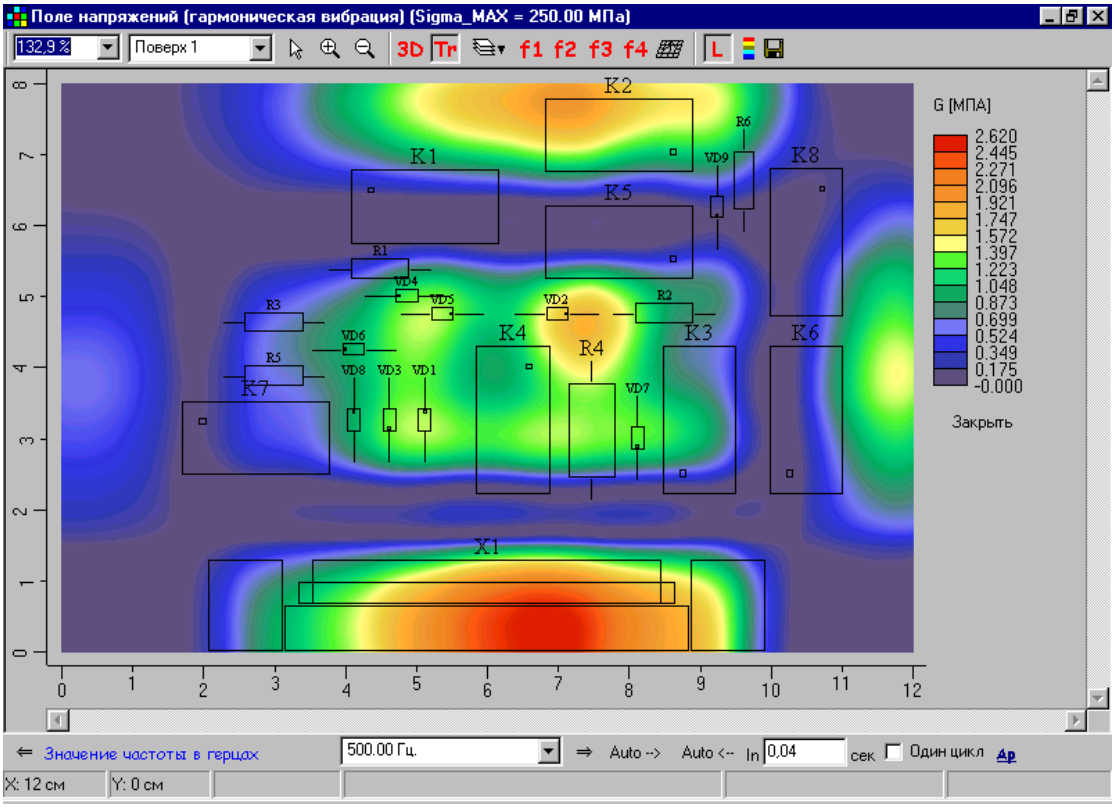


Рис. 4.1.4.8. Поле максимальных напряжений

Таблица 4.1.4.4

Карта механических режимов работы ЭРЭ ПУ

N П/П	ОБОЗНАЧЕНИЕ ЭРЭ	УСКОРЕНИЕ ЭРЭ: ЧАСТОТА, [Гц]	УСКОРЕНИЕ ЭРЭ: МАКСИМАЛЬНОЕ РАСЧЕТНОЕ, [G]	УСКОРЕНИЕ ЭРЭ: МАКСИМАЛЬНОЕ ДОПУСТИМОЕ ПО ТУ, [G]	КОЭФ-ЕНТ МЕХАНИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ ЭРЭ, [ОТ.ЕД.]	ПЕРЕГРУЗКА ЭРЭ, [G]
1	2	3	4	5	6	7
1	K1	500.00	11.64	40.00	0.291	
2	K2	125.00	6.04	40.00	0.151	
3	K3	500.00	19.19	40.00	0.480	
4	K4	500.00	27.73	40.00	0.693	
5	K5	500.00	18.25	40.00	0.456	
6	K6	500.00	8.24	40.00	0.206	
7	K7	500.00	10.97	40.00	0.274	
8	K8	500.00	6.37	40.00	0.159	
9	R1	500.00	15.94	40.00	0.398	
10	R2	500.00	24.34	40.00	0.608	
11	R3	500.00	12.92	40.00	0.323	
12	R4	500.00	26.34	40.00	0.659	
13	R5	500.00	13.53	40.00	0.338	
14	R6	500.00	6.47	40.00	0.162	
15	VD6	500.00	19.14	40.00	0.478	
16	VD8	500.00	20.31	40.00	0.508	
17	VD4	500.00	20.54	40.00	0.513	
18	VD3	500.00	20.31	40.00	0.508	
19	VD1	500.00	25.44	40.00	0.636	
20	VD5	500.00	25.80	40.00	0.645	
21	VD2	500.00	29.91	40.00	0.748	
22	VD7	500.00	21.83	40.00	0.546	
23	VD9	500.00	8.81	40.00	0.220	
24	X1	125.00	6.03	40.00	0.151	

Выводы.

При уменьшении массы реле в 2 раза напряжения в области реле К8 уменьшаются в 1,57 р. Однако ускорения ЭРЭ существенно превышают максимально допустимые значения по ТУ.

Увеличение толщины платы при этом до 2,5 мм не позволяет избавиться от резонанса. Ускорения ЭРЭ еще более возрастают.

Для существенного снижения напряжений в конструкции (в 11,45 р.) можно использовать дополнительные крепления по краям платы. Ускорения ЭРЭ при этом не превышают максимально допустимые значения по ТУ.

4.2. Тепловые расчеты ПУ

4.2.1. Моделирование теплового режима функциональной ячейки, входящей в модуль стойки БНК-3

Задача расчета.

Продолжить моделирование тепловых процессов стойки БНК-3 (см. п. 3.1.1, 3.2.1) в соответствии со схемой последовательности этапов моделирования стоечной конструкции (рис. 3.1.1.8). В данном параграфе будет рассмотрен этап 3 – моделирование теплового режима функциональной ячейки для исходного варианта стоечной конструкции, для предложенного варианта стоечной конструкции при естественном воздушном охлаждении, при принудительном воздушном охлаждении и при водяном охлаждении.

Данные для расчета: см. п. 3.1.1, 3.2.1.

Результаты моделирования.

1. Моделирование теплового режима модуля для исходного варианта стоечной конструкции.

Данный этап моделирования позволяет осуществить расчет локальных температур элементов, устанавливаемых на функциональной ячейке (см. рис. 3.1.1.7), с учетом граничных условий, полученных на предыдущих этапах (см. рис. 3.1.1.8).

В используемом программном обеспечении тепловая модель конструктивов типа «печатный узел» или «функциональная ячейка» формируются в автоматическом режиме на основе геометрических и теплофизических параметров конструкции и ЭРЭ, а также с учетом координат размещения ЭРЭ.

В качестве граничных условий используются температуры конструктивных элементов модуля (см. табл. 3.2.1.1) и интегральные температуры соседних модулей (см. табл. 3.1.1.2).

На рис. 4.2.1.1 представлена условная схема задания граничных условий для анализа теплового режима функциональной ячейки.

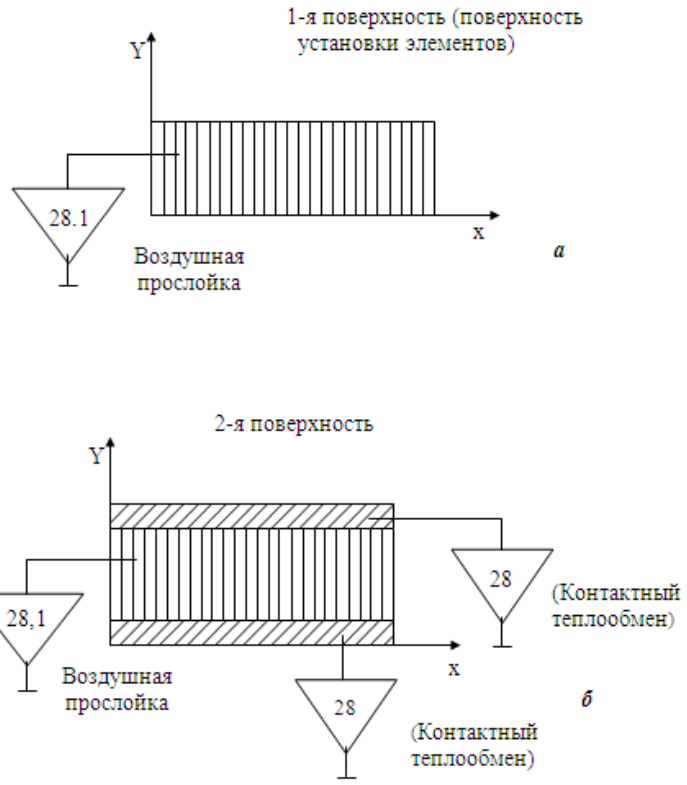


Рис. 4.2.1.1. Схема задания граничных условий для функциональной ячейки

На рис. 4.2.1.2 приведен эскиз функциональной ячейки с температурами ЭРЭ, полученными в результате моделирования теплового режима ячейки, а на рис. 4.2.1.3 – изотермы основания функциональной ячейки.

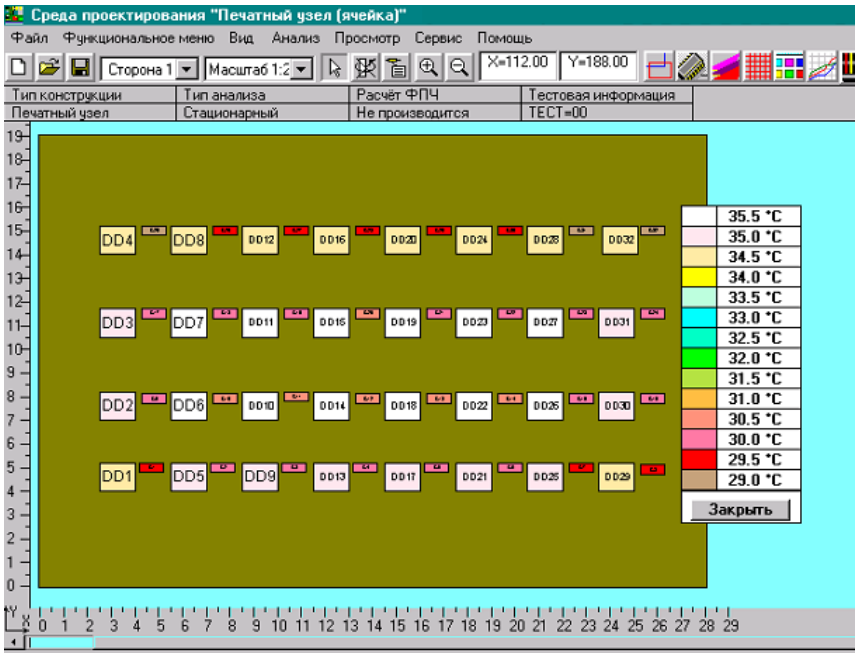


Рис. 4.2.1.2. Тепловой режим элементов функциональной ячейки (исходный вариант конструкции)

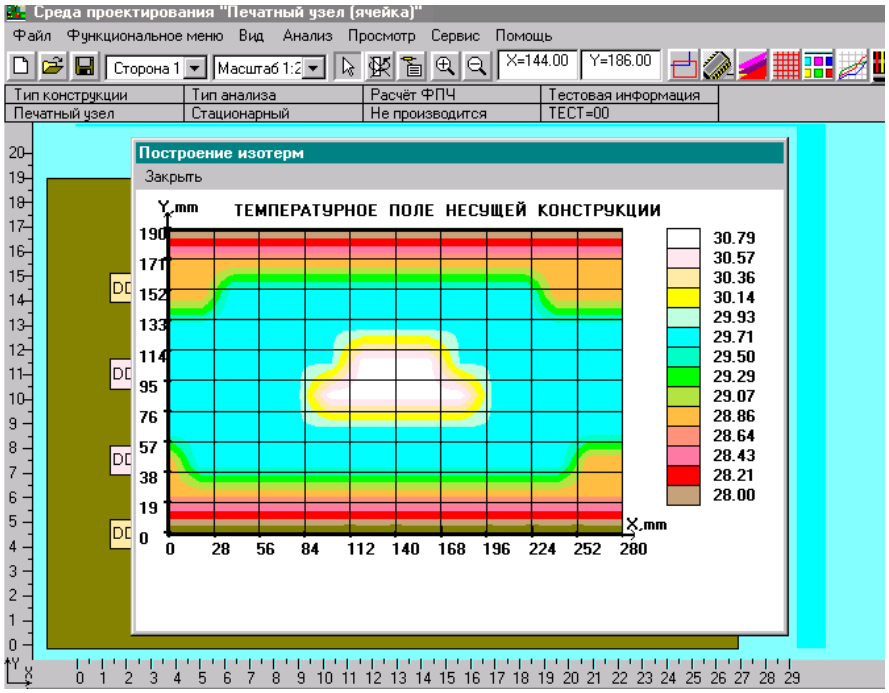


Рис. 4.2.1.3. Изотерма основания функциональной ячейки (исходный вариант)

В табл. 4.2.1.1 приведена карта тепловых режимов работы ЭРЭ (приведен фрагмент таблицы).

Таблица 4.2.1.1

Карта тепловых режимов работы ЭРЭ

№ п/п	Обозначение ЭРЭ	Номер поверхности КУ	Температура корпуса ЭРЭ, °С	Температура активной зоны (p-n перехода) ЭРЭ, °С	Температура КУ в месте установки ЭРЭ, °С	Температура ЭРЭ макс. допустимая, °С	Коэффициент тепловой нагрузки отн. ед.	Перегрев ЭРЭ, °С
1	DD1	1	32,65	34,65	29,54	125,00	0,28	
2	DD2	1	33,20	35,20	30,14	125,00	0,28	
3	DD3	1	33,20	35,20	30,13	125,00	0,28	
4	DD4	1	32,51	34,51	29,39	125,00	0,28	
5	DD5	1	32,73	34,73	29,63	125,00	0,28	
6	DD6	1	33,36	35,36	30,31	125,00	0,28	
7	DD7	1	33,35	35,35	30,30	125,00	0,28	
8	DD8	1	32,60	34,60	29,49	125,00	0,28	
9	DD9	1	32,84	34,84	29,75	125,00	0,28	
10	DD10	1	33,48	35,48	30,44	125,00	0,28	

Выводы: температуры ЭРЭ лежат в диапазоне 29-35,5 °С.

2. Моделирование теплового режима модуля для предложенного варианта стоечной конструкции при естественном охлаждении.

Выполнен детальный анализ теплового режима функциональной ячейки при следующих параметрах панели (радиатора). На рис. 4.2.1.4

приведена схема задания граничных условий. На рис. 4.2.1.5 и 4.2.1.6 представлены результаты моделирования функциональной ячейки. В табл. 4.2.1.2 приводится карта тепловых режимов работы ЭРЭ (приведен фрагмент таблицы).

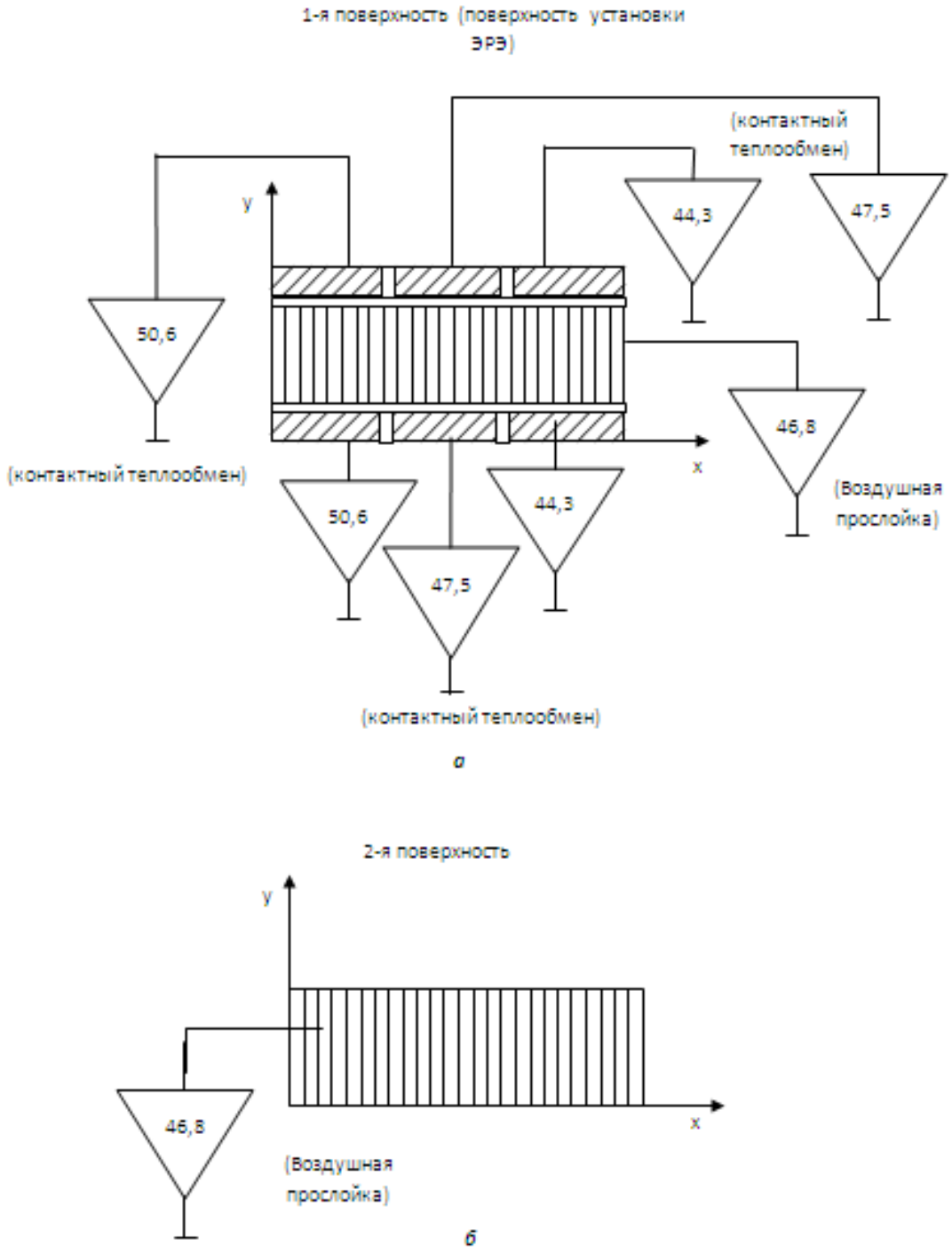


Рис. 4.2.1.4. Схема задания граничных условий для функциональной ячейки

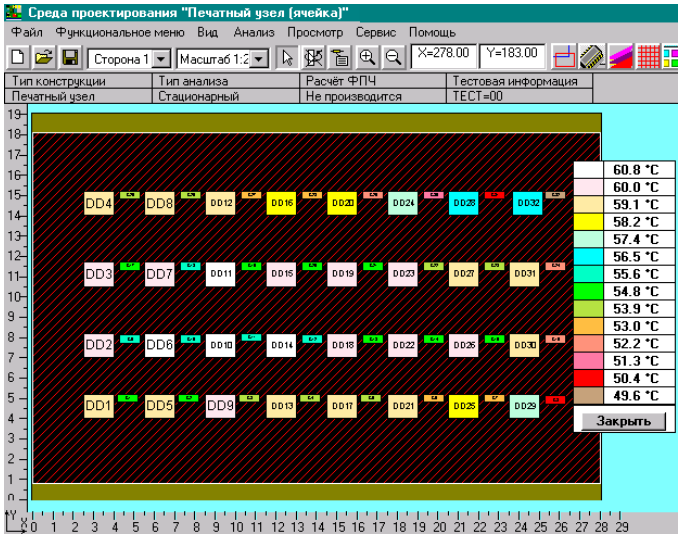


Рис. 4.2.1.5. Тепловой режим элементов функциональной ячейки

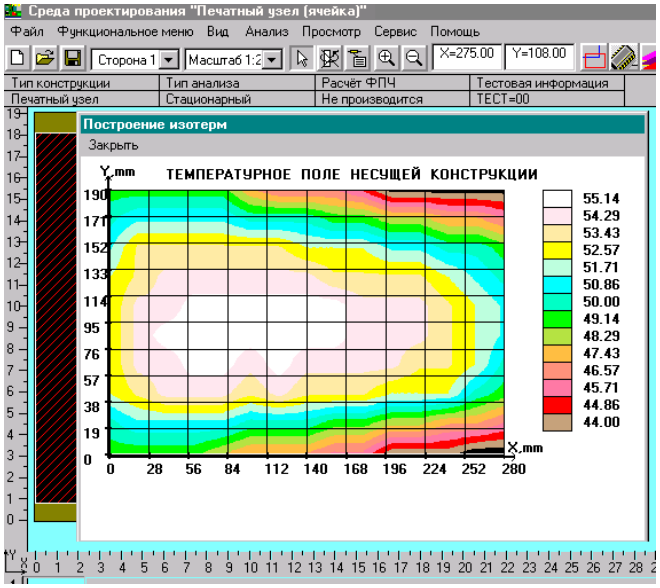


Рис. 4.2.1.6. Изотермы основания функциональной ячейки

Таблица 4.2.1.2

Карты тепловых режимов работы ЭРЭ

Обозн. ЭРЭ	*Пов-ть*	XN, мм	XK, мм	YN, мм	YK, мм	P, мВт	Rtk, К/Вт	Rtv, К/Вт	Tmax, Гр.Ц	Кчер	H, мм	S, мм^2	CE Дж/К
DD1	1	25,0	40,0	40,0	52,0	200	17,4	10,0	125	0,8	3	432	0,8
DD2	1	25,0	40,0	70,0	82,0	200	17,4	10,0	125	0,8	3	432	0,8
DD3	1	25,0	40,0	105	117	200	17,4	10,0	125	0,8	3	432	0,8
DD4	1	25,0	40,0	140	152	200	17,4	10,0	125	0,8	3	432	0,8
DD5	1	55,0	70,0	40,0	52,0	200	17,4	10,0	125	0,8	3	432	0,8
DD6	1	55,0	70,0	70,0	82,0	200	17,4	10,0	125	0,8	3	432	0,8
DD7	1	55,0	70,0	105	117	200	17,4	10,0	125	0,8	3	432	0,8
DD8	1	55,0	70,0	140	152	200	17,4	10,0	125	0,8	3	432	0,8
DD9	1	85,0	100,0	40,0	52,0	200	17,4	10,0	12,0	0,8	3	432	0,8
DD10	1	85,0	100,0	70,0	82,0	200	17,4	10,0	125	0,8	3	432	0,8

3. Моделирование теплового режима модуля для предложенного варианта стоечной конструкции с принудительным воздушным охлаждением.

Результаты моделирования представлены на рис. 4.2.1.7 – 4.2.1.9 и в табл. 4.2.1.3 (приведен фрагмент таблицы).

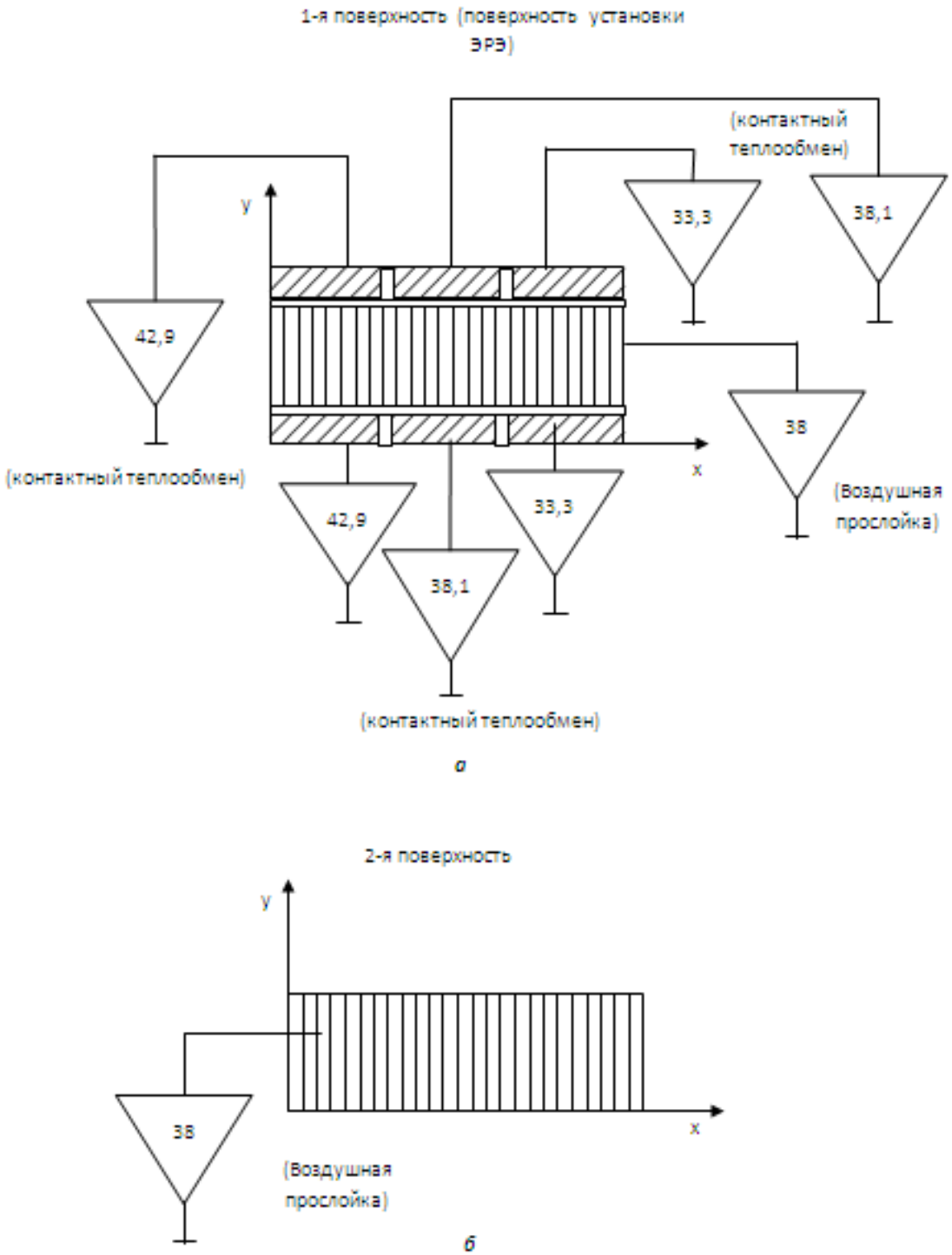


Рис. 4.2.1.7. Схема задания граничных условий для функциональной ячейки

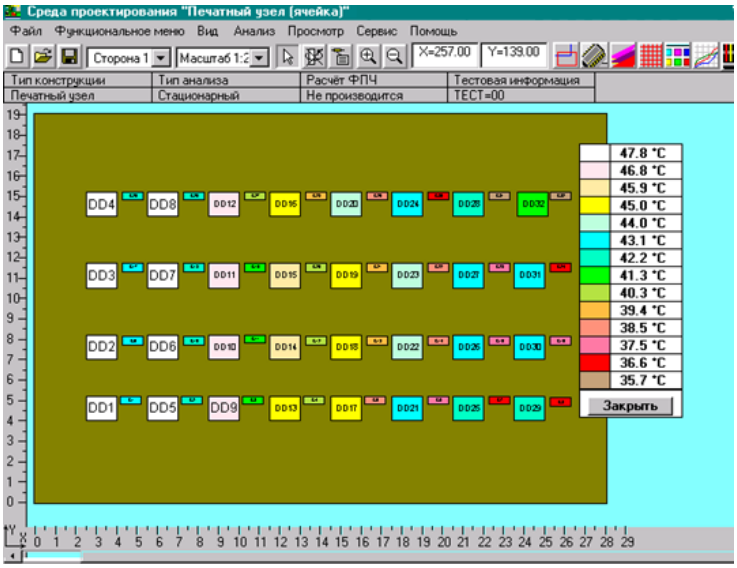


Рис. 4.2.1.8. Тепловой режим элементов функциональной ячейки

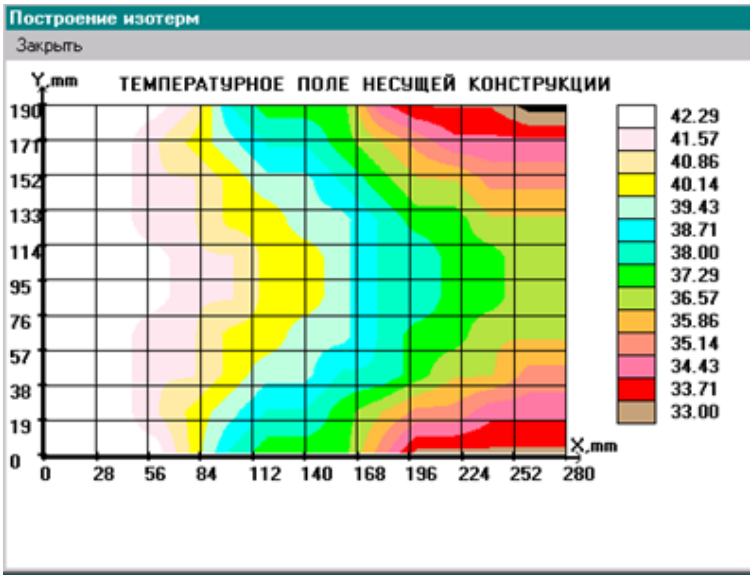


Рис. 4.2.1.9. Изотермы основания функциональной ячейки

Таблица 4.2.1.3

Карта тепловых режимов работы ЭРЭ

Обозн. ЭРЭ	*Пов-ть*	XN, мм	XK, мм	YN, мм	YK, мм	P, мВт	Rtk, К/Вт	Rtv, К/Вт	Tmax, Гр.Ц	Кчер	H, мм	S, мм^2	CE Дж/К
DD1	1	25,0	40,0	40,0	52,0	200	17,4	10,0	125,0	0,8	3	432	0,8
DD2	1	25,0	40,0	70,0	82,0	200	17,4	10,0	125,0	0,8	3	432	0,8
DD3	1	25,0	40,0	105	117	200	17,4	10,0	125,0	0,8	3	432	0,8
DD4	1	25,0	40,0	140	152	200	17,4	10,0	125,0	0,8	3	432	0,8
DD5	1	55,0	70,0	40,0	52,0	200	17,4	10,0	125,0	0,8	3	432	0,8
DD6	1	55,0	70,0	70,0	82,0	200	17,4	10,0	125,0	0,8	3	432	0,8
DD7	1	55,0	70,0	105	117	200	17,4	10,0	125,0	0,8	3	432	0,8
DD8	1	55,0	70,0	140	152	200	17,4	10,0	125,0	0,8	3	432	0,8
DD9	1	85,0	100,	40,0	52,0	200	17,4	10,0	125,0	0,8	3	432	0,8
DD10	1	85,0	100,	70,0	82,0	200	17,4	10,0	125,0	0,8	3	432	0,8

4. Моделирование теплового режима модуля для предложенного варианта стоечной конструкции при водяном охлаждении.

Результаты моделирования представлены в табл. 4.2.1.4.

Таблица 4.2.1.4

Карта тепловых режимов работы ЭРЭ

Обозн. ЭРЭ	*Пов-ть*	XN, мм	XK, мм	YN, мм	YK, мм	P, мВт	Rtk, К/Вт	Rtv, К/Вт	Tmax, Гр.Ц	Кчер	H, мм	S, мм^2	CE Дж/К
DD1	1	25,0	40,0	40,0	52,0	200	17,4	10,0	125,0	0,8	3	432	0,8
DD2	1	25,0	40,0	70,0	82,0	200	17,4	10,0	125,0	0,8	3	432	0,8
DD3	1	25,0	40,0	105	117	200	17,4	10,0	125,0	0,8	3	432	0,8
DD4	1	25,0	40,0	140	152	200	17,4	10,0	125,0	0,8	3	432	0,8
DD5	1	55,0	70,0	40,0	52,0	200	17,4	10,0	125,0	0,8	3	432	0,8
DD6	1	55,0	70,0	70,0	82,0	200	17,4	10,0	125,0	0,8	3	432	0,8
DD7	1	55,0	70,0	105	117	200	17,4	10,0	125,0	0,8	3	432	0,8
DD8	1	55,0	70,0	140	152	200	17,4	10,0	125,0	0,8	3	432	0,8
DD9	1	85,0	100,	40,0	520	200	17,4	10,0	125,0	0,8	3	432	0,8
DD10	1	85,0	100,	70,0	82,0	200	17,4	10,0	125,0	0,8	3	432	0,8

Выводы.

Предложены несколько вариантов конструкции с различными вариантами охлаждения. По результатам моделирования тепловых процессов можно выбрать подходящий вариант конструкции.

4.2.2. Моделирование тепловых процессов, протекающих в печатном узле приемопередатчика

Задача расчета.

Провести расчет печатного узла в составе блока приемопередатчика при стационарном тепловом воздействии. На основании анализа тепловых характеристик печатного узла сделать выводы о соответствии техническим условиям на электрорадиоизделия (ЭРИ).

Данные для расчета:

сборочный чертёж печатного узла (эскиз на рис. 4.2.2.1);

перечень ЭРИ на плате;

параметры тепловых воздействий, мощности тепловыделений ЭРИ.



Рис. 4.2.2.1. Эскиз печатного узла

Анализ исходных данных.

В результате проведенного расчета блока приемопередатчика были получены исходные данные (граничные условия) для последующего анализа температур электрорадиоизделий в составе печатного узла.

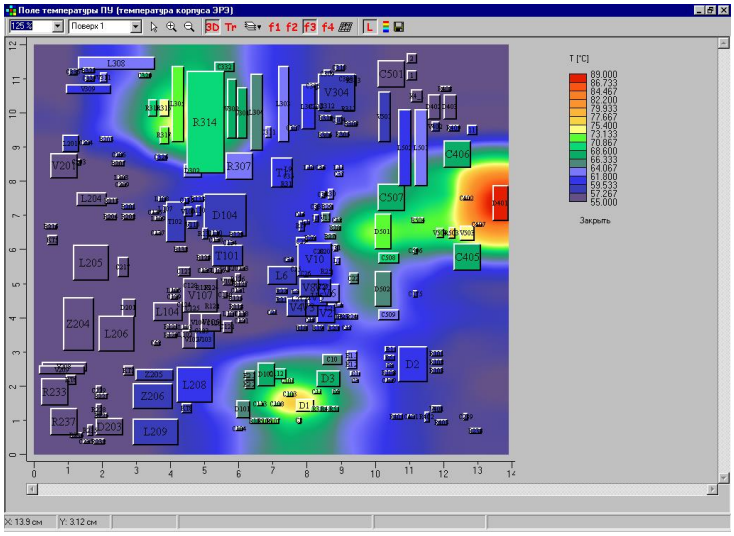
Печатный узел АНП имеет следующие параметры:

размер 139 × 120 × 1,5 мм;

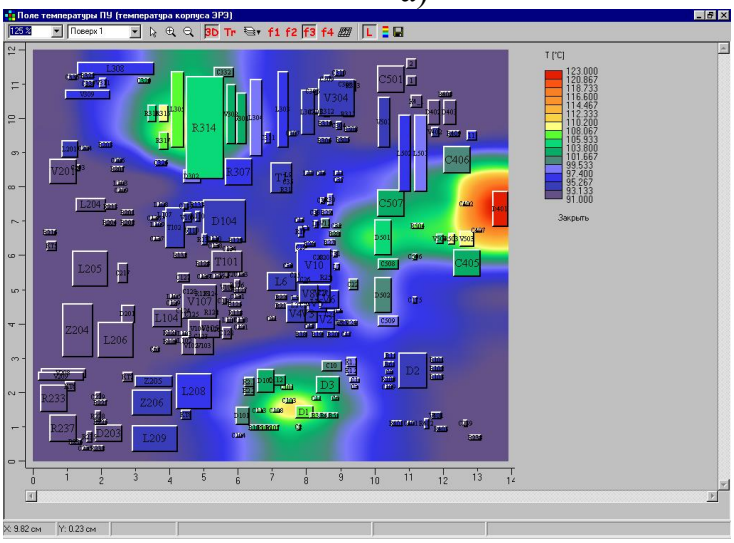
суммарная мощность, рассеиваемая в узле, 12,1 Вт.

Результаты моделирования.

На рис. 4.2.2.2 показано распределение температур по площади печатной платы, откуда видно, что максимальная температура на плате составляет 89 °С при температуре окружающей среды 55 °С (а) и 123 °С при температуре окружающей среды 91,2 °С (б).



а)



б)

Рис. 4.2.2.2. Термограмма печатного узла

Выводы. Ни у одного элемента нет температурной перегрузки.

4.3. Тепловые и механические расчеты ПУ

4.3.1. Моделирование механических и тепловых процессов в печатном узле ПКН1

Задача расчета.

Провести моделирование на ЭВМ механических и тепловых процессов в печатном узле (ПУ) ПКН1 с помощью подсистемы АСОНИКА-ТМ. Сравнить полученные расчетные результаты с экспериментальными.

Данные для расчета:

сборочный чертеж конструкции печатного узла ПКН1 (рис. 4.3.1.1);

перечень электрорадиоизделий (ЭРИ), установленных на ПУ;

параметры гармонической вибрации: 1g в диапазоне 10...500 Гц;

температура окружающей среды: +20 °С.

Эскиз конструкции печатного узла ПКН1, левый край у которого свободный, введен с помощью графического интерфейса подсистемы АСОНИКА-ТМ, представлен на рис. 4.3.1.1 (размещение ЭРИ берется автоматически из выходного файла PCAD).

Размеры ПУ: 220 × 100 × 1,5 мм.

Из справочной литературы были получены следующие параметры материала ПУ:

плотность: 1910 кг/м^3;

модуль упругости: 16900000000 Па;

коэффициент Пуассона: 0,22;

коэффициент механических потерь (КМП) в начальной точке графика зависимости КМП от механического напряжения в плате: 0,05;

коэффициент зависимости КМП от механического напряжения в плате: 1E-9.

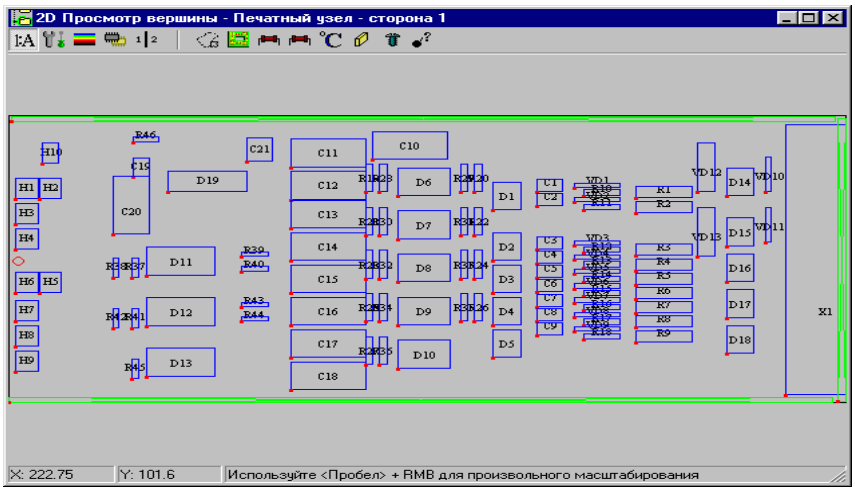


Рис. 4.3.1.1. Сборочный чертеж конструкции печатного узла ПКН1

Результаты расчета.

Часть 1. Моделирование механических процессов.

1. ПУ, у которого все ЭРИ приклеены к плате (левый край свободный).

На рис. 4.3.1.2 представлена зависимость виброускорения от частоты на левом краю платы (посередине) в диапазоне частот 1…100 Гц. Как видно, в этом диапазоне у ПУ нет резонанса. Максимальная амплитуда ускорения составляет 1,085g на частоте 100 Гц. На рис. 4.3.1.3 представлено поле ускорений ЭРИ печатного узла ПКН1 на частоте 100 Гц при воздействии гармонической вибрации.

Расчеты показали, что первая резонансная частота составляет 424 Гц.

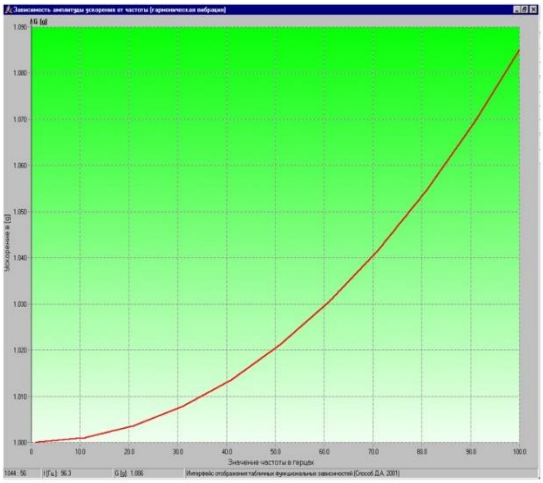


Рис. 4.3.1.2. Зависимость ускорения гармонической вибрации от частоты на левом краю печатного узла ПКН1 (посередине)

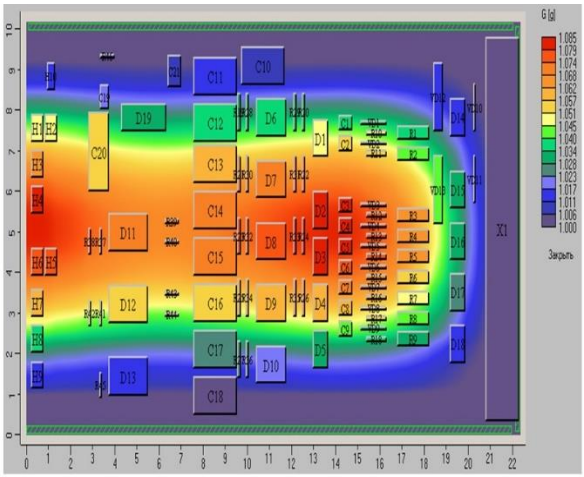


Рис. 4.3.1.3. Ускорения ЭРИ печатного узла ПКН1 на частоте 100 Гц при воздействии гармонической вибрации

2. ПУ, у которого все ЭРИ установлены на выводах (левый край свободный).

На рис. 4.3.1.4 представлена зависимость виброускорения от частоты на левом краю платы (посередине) в диапазоне частот 1…100 Гц. Как видно, в этом диапазоне у ПУ нет резонанса. Максимальная амплитуда ускорения составляет 1,12g на частоте 100 Гц. На рис. 4.3.1.5 представлено поле ускорений ЭРИ печатного узла ПКН1 на частоте 100 Гц при воздействии гармонической вибрации.

Расчеты показали, что первая резонансная частота составляет 372 Гц.

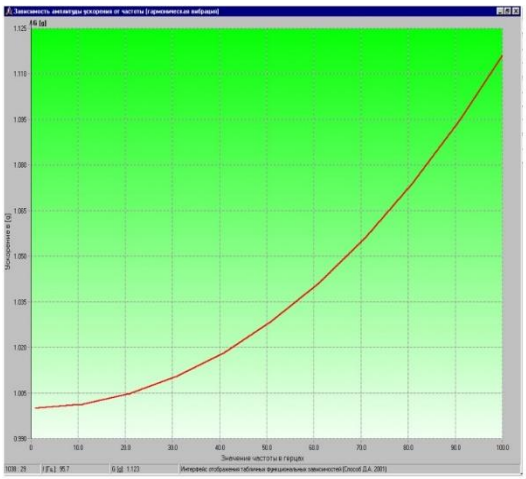


Рис. 4.3.1.4. Зависимость ускорения гармонической вибрации от частоты на левом краю печатного узла ПКН1 (посередине)

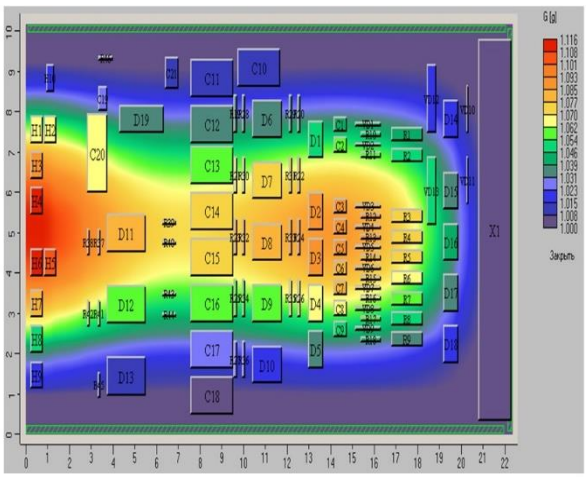


Рис. 4.3.1.5. Ускорения ЭРИ печатного узла ПКН1 на частоте 100 Гц при воздействии гармонической вибрации

3. ПУ, у которого все ЭРИ приклеены к плате (левый край жестко зажат).

На рис. 4.3.1.6 представлена зависимость виброускорения от частоты в центре платы в диапазоне частот 1…100 Гц. Как видно, в этом диапазоне у ПУ нет резонанса. Максимальная амплитуда ускорения составляет 1,08g на частоте 100 Гц. На рис. 4.3.1.7 представлено поле ускорений ЭРИ печатного узла ПКН1 на частоте 100 Гц при воздействии гармонической вибрации.

Расчеты показали, что первая резонансная частота составляет 434 Гц.

4. ПУ, у которого все ЭРИ установлены на выводах (левый край зажат).

На рис. 4.3.1.8 представлена зависимость виброускорения от частоты в центре в диапазоне частот 1…100 Гц. Как видно, в этом диапазоне у ПУ нет резонанса. Максимальная амплитуда ускорения составляет 1,085g на частоте 100 Гц. На рис. 4.3.1.9 представлено поле ускорений ЭРИ печатного узла ПКН1 на частоте 100 Гц при воздействии гармонической вибрации.

Расчеты показали, что первая резонансная частота составляет 419 Гц.

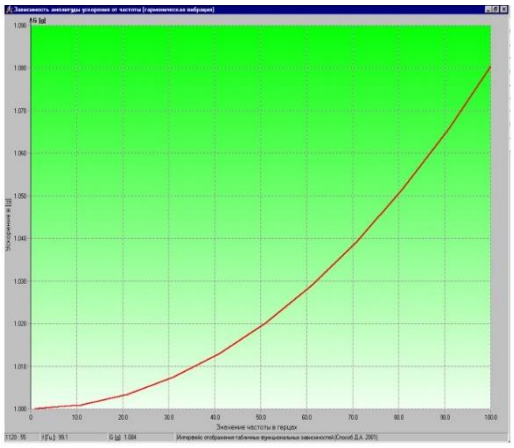


Рис. 4.3.1.6. Зависимость ускорения гармонической вибрации от частоты в центре печатного узла ПКН1

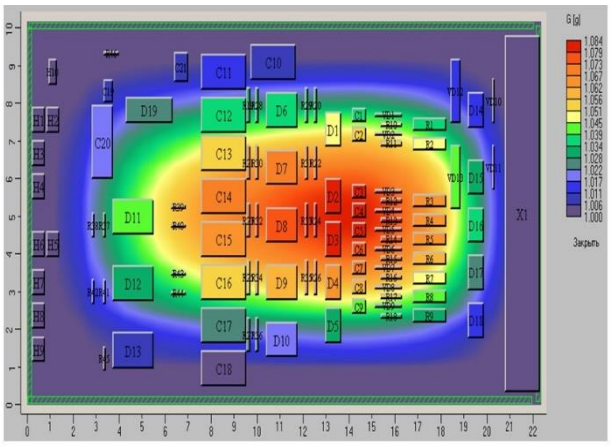


Рис. 4.3.1.7. Ускорения ЭРИ печатного узла ПКН1 на частоте 100 Гц при воздействии гармонической вибрации

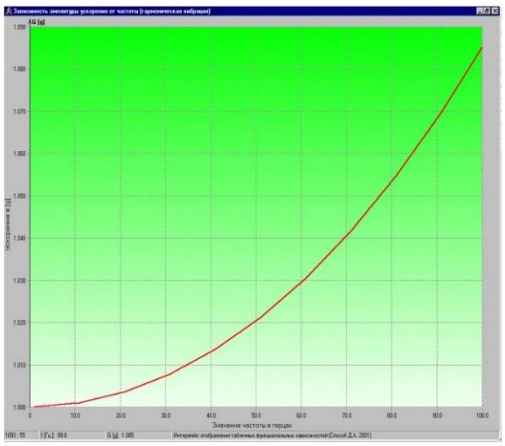


Рис. 4.3.1.8. Зависимость ускорения гармонической вибрации от частоты в центре печатного узла ПКН1

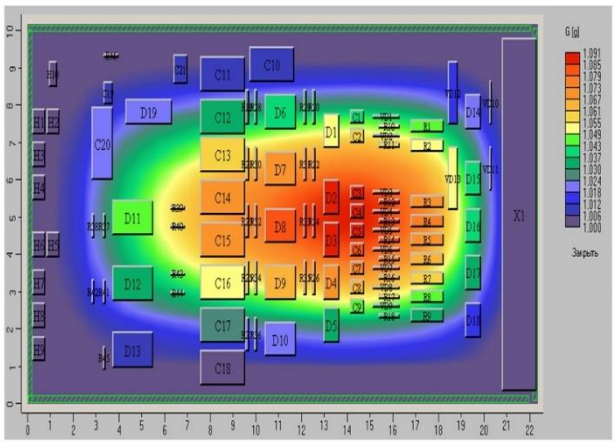


Рис. 4.3.1.9. Ускорения ЭРИ печатного узла ПКН1 на частоте 100 Гц при воздействии гармонической вибрации

5. Вариант чистой платы без ЭРИ, у которой левый край свободный.

На рис. 4.3.1.10 представлена зависимость виброускорения от частоты на левом краю платы (посередине) в диапазоне частот 1…100 Гц. Как видно, в этом диапазоне у ПУ нет резонанса. Максимальная амплитуда ускорения составляет 1,052g на частоте 100 Гц. На рис. 4.3.1.11 представлено поле ускорений печатной платы на частоте 100 Гц при воздействии гармонической вибрации.

Расчеты показали, что первая резонансная частота составляет 519 Гц.

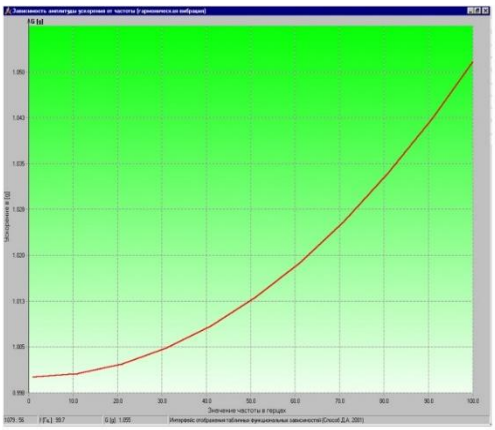


Рис. 4.3.1.10. Зависимость ускорения гармонической вибрации от частоты на левом краю платы (посередине)

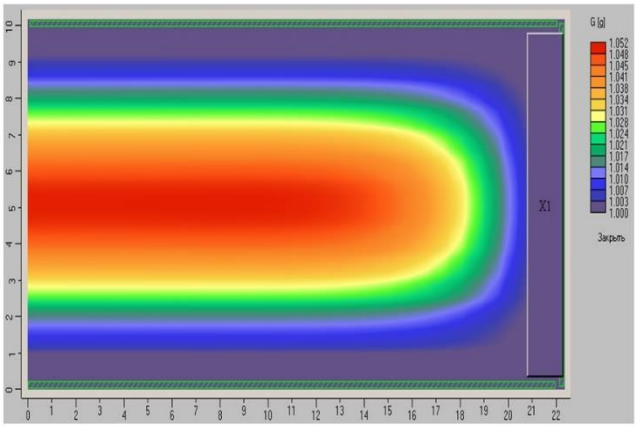


Рис. 4.3.1.11. Поле ускорений печатной платы на частоте 100 Гц при воздействии гармонической вибрации

6. Вариант чистой платы без ЭРИ, у которой левый край зажат.

На рис. 4.3.1.12 представлена зависимость виброускорения от частоты в центре в диапазоне частот 1…100 Гц. Как видно, в этом диапазоне у ПУ нет резонанса. Максимальная амплитуда ускорения составляет 1,12g на частоте 100 Гц. На рис. 4.3.1.13 представлено поле ускорений печатной платы на частоте 100 Гц при воздействии гармонической вибрации.

Расчеты показали, что первая резонансная частота составляет 549 Гц.

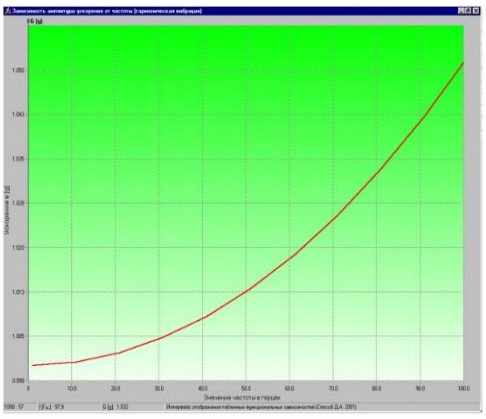


Рис. 4.3.1.12. Зависимость ускорения гармонической вибрации от частоты в центре печатной платы

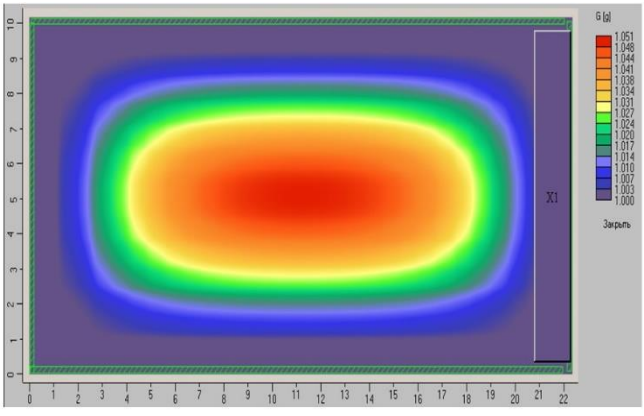


Рис. 4.3.1.13. Поле ускорений печатной платы на частоте 100 Гц при воздействии гармонической вибрации

Часть 2. Моделирование тепловых процессов.

Так как не были заданы мощности тепловыделений элементов, были приняты следующие их значения: для всех резисторов – по 0,05 Вт, для всех полупроводниковых элементов – по 0,1 Вт. Результаты теплового моделирования приведены на рис. 4.3.1.14. Максимальный перегрев относительно температуры окружающей среды составляет 16° С.

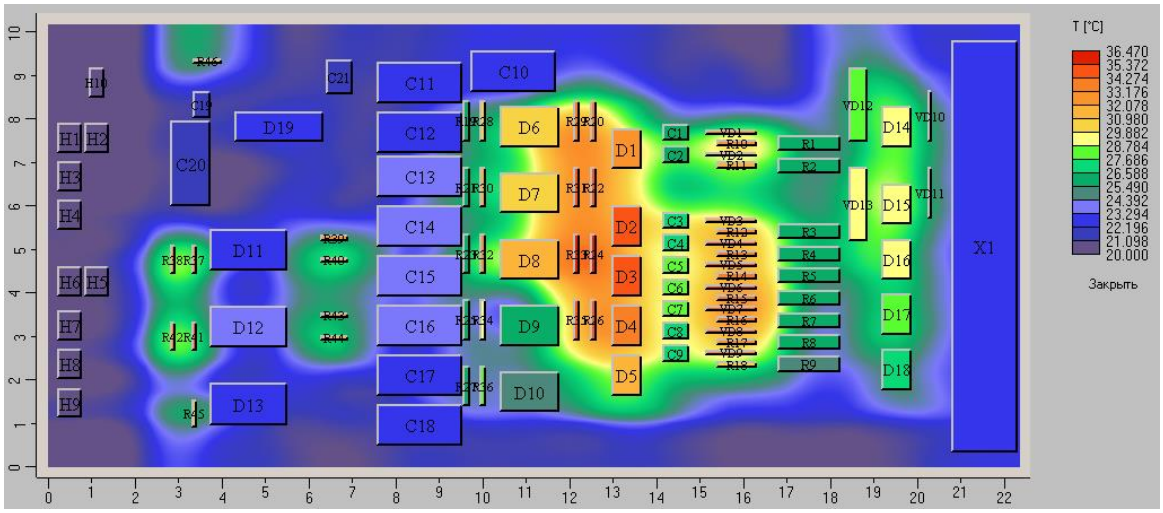


Рис. 4.3.1.14. Температурное поле печатного узла ПКН1

Выводы.

Механический анализ показал, что ПУ ПКН1 имеет первый резонанс на частоте:

424 Гц для платы, у которой левый край свободный и все ЭРИ приклеены;

372 Гц для платы, у которой левый край свободный и все ЭРИ установлены на выводах;

434 Гц для платы, у которой левый край зажат и все ЭРИ приклеены;

419 Гц для платы, у которой левый край зажат и все ЭРИ установлены на выводах;

519 Гц для чистой платы без ЭРИ, у которой левый край свободный;

549 Гц для чистой платы без ЭРИ, у которой левый край зажат.

Тепловой анализ при принятых значениях мощностей ЭРИ показал, что ПУ ПКН1 имеет максимальный перегрев относительно температуры окружающей среды 16°С.

4.3.2. Автоматизированная оценка стойкости печатного узла 1РС к тепловым и механическим воздействиям

1. Автоматизированная оценка стойкости печатного узла 1РС к тепловым воздействиям.

Задача расчета.

Провести расчет печатного узла 1РС в составе блока при тепловых воздействиях. На основании анализа тепловых характеристик печатного узла сделать выводы о соответствии техническим условиям на электрорадиоизделия.

Данные для расчета:

сборочный чертеж печатного узла (эскиз на рис. 4.3.2.1);

перечень ЭРИ на плате (табл. 4.3.2.1);

параметры тепловых воздействий; мощности тепловыделений ЭРИ.

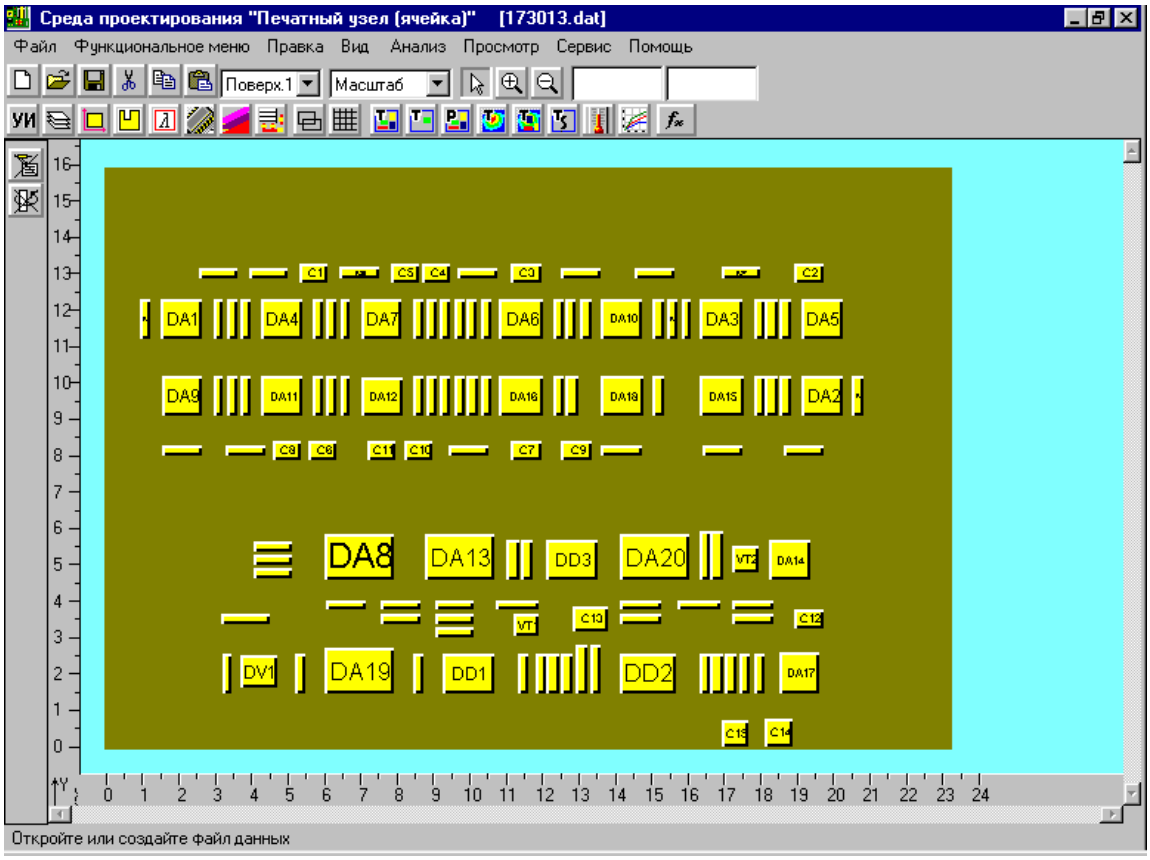


Рис. 4.3.2.1. Эскиз печатного узла

Таблица 4.3.2.1

Перечень ЭРИ на плате (фрагмент)

Поз. обозначение	Наименование	Кол	Примечание
C1...C3	Конденсатор К10-17а-Н50-0,068мкФ-В ОЖО.460.107ТУ	3	
C4...C11	Конденсатор К10-17а-Н90-0,033мкФ-В ОЖО.460.107ТУ	8	
DA8	Микросхема 590КН13 бКО.347.000-16ТУ	1	
DA9...DA12	Микросхема 140УД601А бКО.347.004ТУ4/02	4	
DA13	Микросхема 590КН13 бКО.347.000-16ТУ	1	
	С2-36-10кОм+-0,5%-В ОЖО.467.089ТУ		
R3	Резистор С2-36-30,1кОм+-0,5%-В ОЖО.467.089ТУ	1	
R4	Резистор С2-33Н-0,125-10кОм+-5%-А-Д-В ОЖО.467.093ТУ	1	
R5	Резистор С2-36-30,1кОм+-0,5%-В ОЖО.467.089ТУ	1	
R6	Резистор С2-33Н-0,125-10кОм+-5%-А-Д-В	1	
R80...R82	Резистор С2-33Н-0,125-10кОм+-5%-А-Д-В ОЖО.467.093ТУ	3	
R83	Резистор С2-33Н-0,125-110 Ом+-5%-А-Д-В ОЖО.467.093ТУ	1	
VD1...VD5	Диод 2Д522Б дР3.362.029-01ТУ	5	
VT1	Транзистор 2Т208А ЮФ3.365.035ТУ	1	
VT2	Транзистор 2П303Г Ц23.365.003ТУ	1	
XP1	Вилка СНП59-96/94х11В-23-1-В НЩО.364.061ТУ	1	

Анализ исходных данных.

Печатный узел должен быть стойким к тепловым воздействиям со следующими параметрами:

повышенная температура +65 °С при давлении 760 мм рт. ст;

повышенная температура +30 °С при давлении 525 мм рт. ст.

Печатный узел имеет следующие размеры: 233 × 160 × 1,5 мм. Материал платы стеклотекстолит марки СТАП-2-35-1,5. Ребро жесткости имеет следующие размеры: 210 × 10 × 4 мм. Материал ребра жесткости АМГ-6.

Мощность, рассеиваемая 1 микросхемой, составляет 120 мВт (всего 24 микросхемы в схеме); 1 резистором – 10 мВт (83 резистора); 1 диодом и транзистором – 2,5 мВт (5 диодов и 2 транзистора). Суммарная мощность, рассеиваемая в печатном узле, составляет 3,728 Вт.

Результаты расчета.

1. Расчет при повышенной температуре +65 °С и давлении 760 мм рт.ст.

На рис. 4.3.2.2 представлена термограмма печатного узла, откуда видно, что максимальная температура на плате составляет 73,32 °С. В табл. 4.3.2.2 представлена карта тепловых режимов работы ЭРИ, откуда видно, что ни один элемент не имеет температурной перегрузки.

2. Расчет при повышенной температуре +30 °С и давлении 525 мм рт. ст.

На рис. 4.3.2.3 представлена термограмма печатного узла, откуда видно, что максимальная температура на плате составляет 39,48 °С. В табл. 4.3.2.3 представлена карта тепловых режимов работы ЭРИ, откуда видно, что ни один элемент не имеет температурной перегрузки.

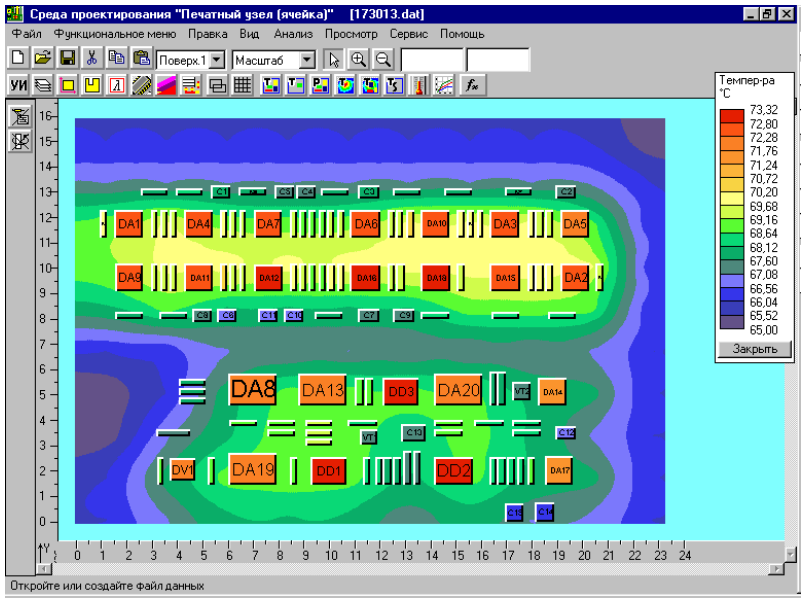


Рис. 4.3.2.2. Термограмма печатного узла при температуре +65 °С и давлении 760 мм рт. ст.

Таблица 4.3.2.2

Карта тепловых режимов работы ЭРИ (фрагмент)

N п/п	Обоз-е ЭРИ в схеме	Ном-р повер хн-ти КУ	Темпер-ра корпуса ЭРИ, Гр.Ц	Темпер-ра активной зоны(P-N перехода) ЭРИ, Гр.Ц	Темпер-ра КУ в месте установки ЭРИ, Гр.Ц	Темпер-ра ЭРИ макс. допуст-я, Гр.Ц	Коэф-т тепловой нагрузки Отн.ед.	Перегрев ЭРИ, Гр.Ц
1	DV1	1	71.96	71.96	69.60	100.00	0.72	
2	R35	1	69.65	69.65	69.38	150.00	0.46	
3	R26	1	69.31	69.31	69.01	150.00	0.46	
4	R34	1	69.65	69.65	69.38	150.00	0.46	
5	R30	1	67.84	67.84	67.42	150.00	0.45	
6	R27	1	68.01	68.01	67.60	150.00	0.45	
7	R31	1	68.72	68.72	68.38	150.00	0.46	
8	R33	1	69.45	69.45	69.17	150.00	0.46	
9	R24	1	69.44	69.44	69.15	150.00	0.46	
10	R42	1	69.45	69.45	69.16	150.00	0.46	
11	DD2	1	72.89	72.89	69.33	95.00	0.77	
12	VD5	1	67.83	67.83	67.83	125.00	0.54	
13	VD4	1	67.82	67.82	67.83	125.00	0.54	
14	VD3	1	67.23	67.23	67.18	125.00	0.54	
15	VD2	1	67.55	67.55	67.54	125.00	0.54	
16	C14	1	66.50	66.50	66.61	100.00	0.66	
17	C13	1	67.24	67.24	67.42	100.00	0.67	
18	DD3	1	73.32	73.32	69.81	95.00	0.77	
19	C12	1	67.04	67.04	67.23	100.00	0.67	
20	C2	1	67.52	67.52	67.77	100.00	0.68	
21	R19	1	69.69	69.69	69.43	150.00	0.46	
22	R9	1	69.69	69.69	69.43	150.00	0.46	
23	R29	1	69.23	69.23	68.92	150.00	0.46	
24	R46	1	69.70	69.70	69.44	150.00	0.46	
25	R23	1	69.91	69.91	69.67	150.00	0.47	
26	R14	1	68.13	68.13	67.73	150.00	0.45	

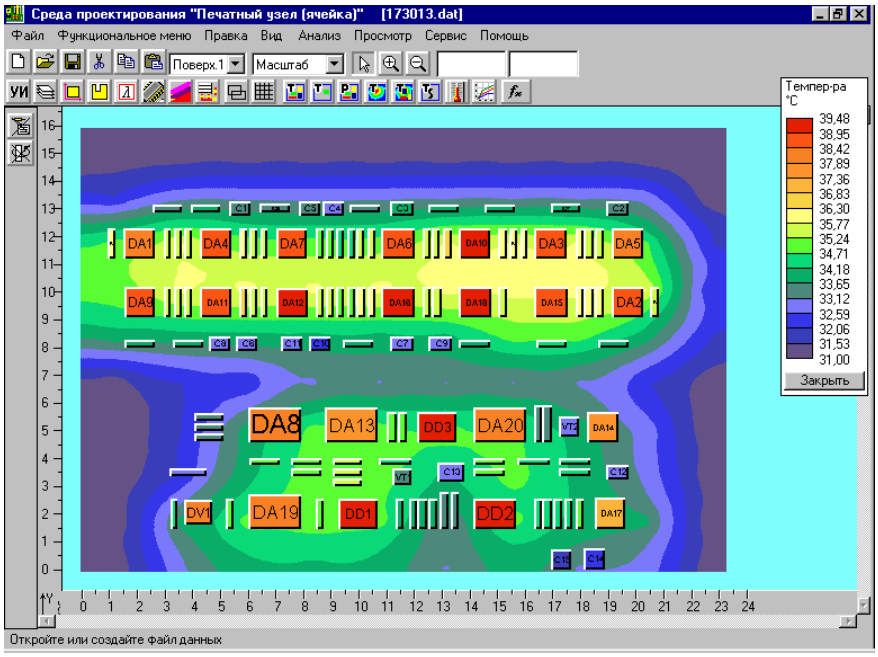


Рис. 4.3.2.3. Термограмма печатного узла при температуре +30 °С и давлении 525 мм рт. ст.

Таблица 4.3.2.3

Карта тепловых режимов работы ЭРИ (фрагмент)

N п/п	Обоз-е ЭРЭ в схеме	Ном-р повер-хн-ти КУ	Темпер-ра корпуса ЭРЭ, Гр.Ц	Темпер-ра активной зоны(P-N перехода) ЭРЭ, Гр.Ц	Темпер-ра КУ в месте установки ЭРЭ, Гр.Ц	Темпер-ра ЭРЭ макс. допуст-я, Гр.Ц	Коэф-т тепловой нагрузки Отн.ед.	Перегрев ЭРЭ, Гр.Ц
1	DV1	1	37.91	37.91	35.48	100.00	0.38	
2	R35	1	35.71	35.71	35.43	150.00	0.24	
3	R26	1	35.33	35.33	35.02	150.00	0.24	
4	R34	1	35.71	35.71	35.43	150.00	0.24	
5	R30	1	33.61	33.61	33.19	150.00	0.22	
6	R27	1	33.78	33.78	33.37	150.00	0.23	
7	R31	1	34.64	34.64	34.28	150.00	0.23	
8	R33	1	35.50	35.50	35.20	150.00	0.24	
9	R24	1	35.45	35.45	35.15	150.00	0.24	
10	R42	1	35.51	35.51	35.22	150.00	0.24	
11	DD2	1	38.97	38.97	35.29	95.00	0.41	
12	VD5	1	33.65	33.65	33.65	125.00	0.27	
13	VD4	1	33.64	33.64	33.65	125.00	0.27	
14	VD3	1	32.89	32.89	32.85	125.00	0.26	
15	VD2	1	33.35	33.35	33.34	125.00	0.27	
16	C14	1	32.12	32.12	32.24	100.00	0.32	
17	C13	1	33.04	33.04	33.24	100.00	0.33	
18	DD3	1	39.48	39.48	35.85	95.00	0.42	

Выводы.

Расчет теплового режима печатного узла 1РС с помощью подсистемы АСОНИКА-ТМ не выявил температурных перегрузок ЭРИ. Таким образом, температуры ЭРИ соответствуют требованиям технических условий по максимально допустимым значениям.

2. Автоматизированная оценка стойкости печатного узла 1РС к механическим воздействиям.

Задача расчета.

Провести расчет печатного узла 1РС в составе блока при механических воздействиях – вибрациях и ударах. На основании анализа механических характеристик печатного узла сделать выводы о соответствии техническим условиям на электрорадиоизделия.

Исходные данные.

сборочный чертеж печатного узла (эскиз на рис. 4.3.2.1);

перечень ЭРИ на плате (табл. 4.3.2.1);

параметры механических воздействий.

Анализ исходных данных.

Блок должен быть стойким к следующим механическим воздействиям:

вибрация 5g в диапазоне частот 1…500 Гц;

удар 15g при длительности импульса 5…15 мс.

Результаты расчета.

1. Расчет при воздействии вибрации.

На рис. 4.3.2.4 представлена зависимость амплитуды виброускорения от частоты в контрольной точке печатного узла (координаты контрольной точки: 122 мм; 124 мм), откуда видно, что резонансы конструкции в диапазоне частот 1…500 Гц отсутствуют. В табл. 4.3.2.4 представлена карта механических режимов работы ЭРИ, откуда видно, что ни один элемент не имеет механической перегрузки. На рис. 4.3.2.5 представлено графическое изображение виброускорений ЭРИ, откуда видно, что максимальное ускорение составляет 5,7g.

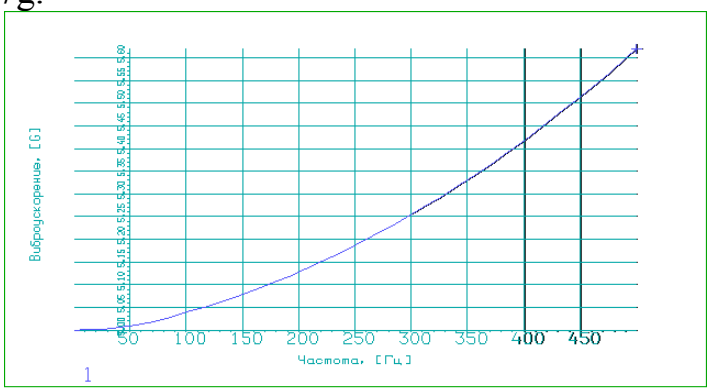


Рис. 4.3.2.4. Зависимость амплитуды виброускорения от частоты в контрольной точке печатного узла

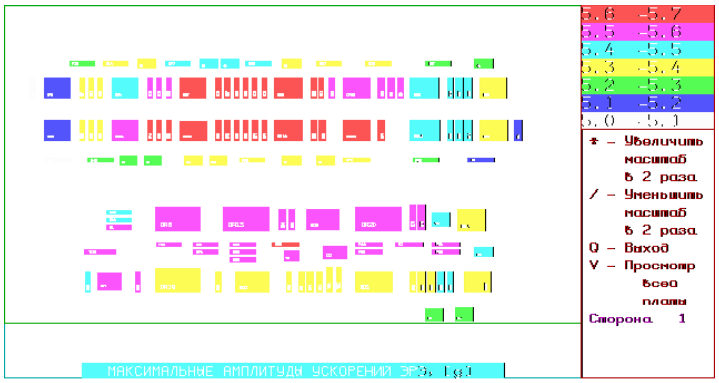


Рис. 4.3.2.5. Виброускорения ЭРИ

Таблица 4.3.2.4

Карта механических режимов работы ЭРИ при воздействии вибрации (фрагмент)

N П/П	ОБОЗН. ЭРЭ	УСКОРЕНИЕ ЭРЭ: МАХ РАСЧ-Е УСКОР. [ГЦ]	УСКОРЕНИЕ ЭРЭ: МАКСИМАЛЬНОЕ ДОПУСТИМОЕ ПО ТУ, [G]	КОЭФФИЦ-Т МЕХАНИЧ-Й НАГРУЗКИ ЭРЭ, [ОТ.ЕД.]	ПЕРЕГРУЗКА ЭРЭ, [G]
1	2	3	4	5	6	8
1	DV1	500.	5.6	20.0	.28	
2	R35	500.	5.3	20.0	.27	
3	R26	500.	5.6	20.0	.28	
4	R34	500.	5.3	20.0	.27	
5	R30	500.	5.4	20.0	.27	
6	R27	500.	5.3	20.0	.26	
7	R31	500.	5.6	20.0	.28	
8	R33	500.	5.6	20.0	.28	
9	R24	500.	5.6	20.0	.28	
10	R42	500.	5.6	20.0	.28	
11	DD2	500.	5.3	20.0	.27	
12	VD5	500.	5.5	40.0	.14	
13	VD4	500.	5.5	40.0	.14	
14	VD3	500.	5.6	40.0	.14	
15	VD2	500.	5.3	40.0	.13	
16	C14	500.	5.3	10.0	.53	
17	C13	500.	5.5	10.0	.55	
18	DD3	500.	5.6	20.0	.28	
19	C12	500.	5.4	10.0	.54	
20	C2	500.	5.2	10.0	.52	
21	R19	500.	5.6	20.0	.28	
22	R9	500.	5.6	20.0	.28	
23	R29	500.	5.6	20.0	.28	
24	R46	500.	5.7	20.0	.28	
25	R23	500.	5.4	20.0	.27	
26	R14	500.	5.3	20.0	.27	
27	R8	500.	5.1	20.0	.26	
28	R5	500.	5.4	20.0	.27	
29	C11	500.	5.3	10.0	.53	
30	R3	500.	5.6	20.0	.28	

2. Расчет при воздействии удара.

На рис. 4.3.2.6 представлена зависимость ударного ускорения от времени в контрольной точке печатного узла, откуда видно, что максимальное ускорение 42g достигается в момент времени 0,4 мс. В табл. 4.3.2.5 представлена карта механических режимов работы ЭРИ, откуда видно, что ни один элемент не имеет механической перегрузки. На рис. 4.3.2.7 представлено графическое изображение ударных ускорений ЭРИ в момент времени 0,4 мс.

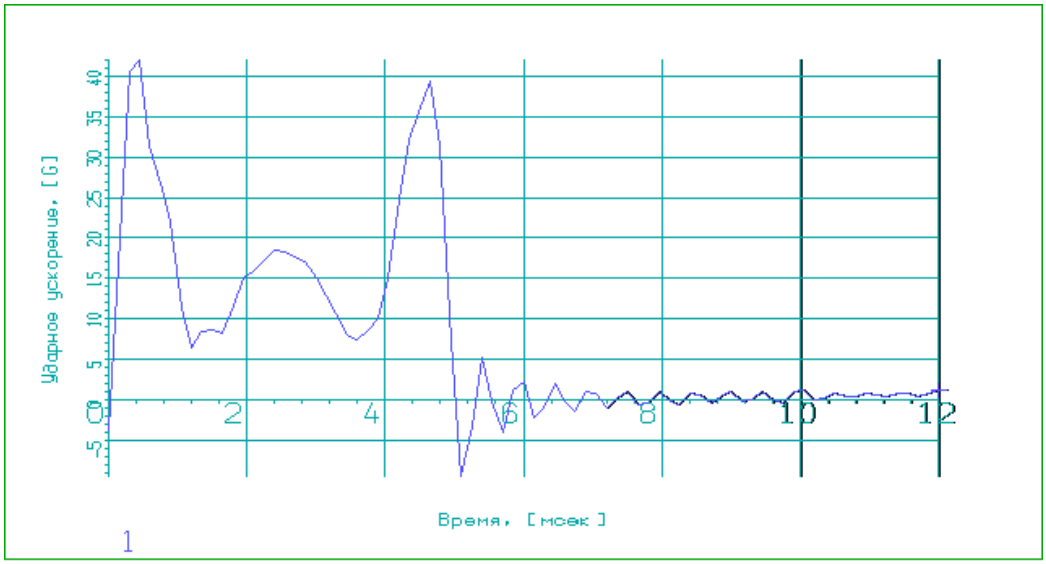


Рис. 4.3.2.6. Зависимость ударного ускорения от времени в контрольной точке печатного узла

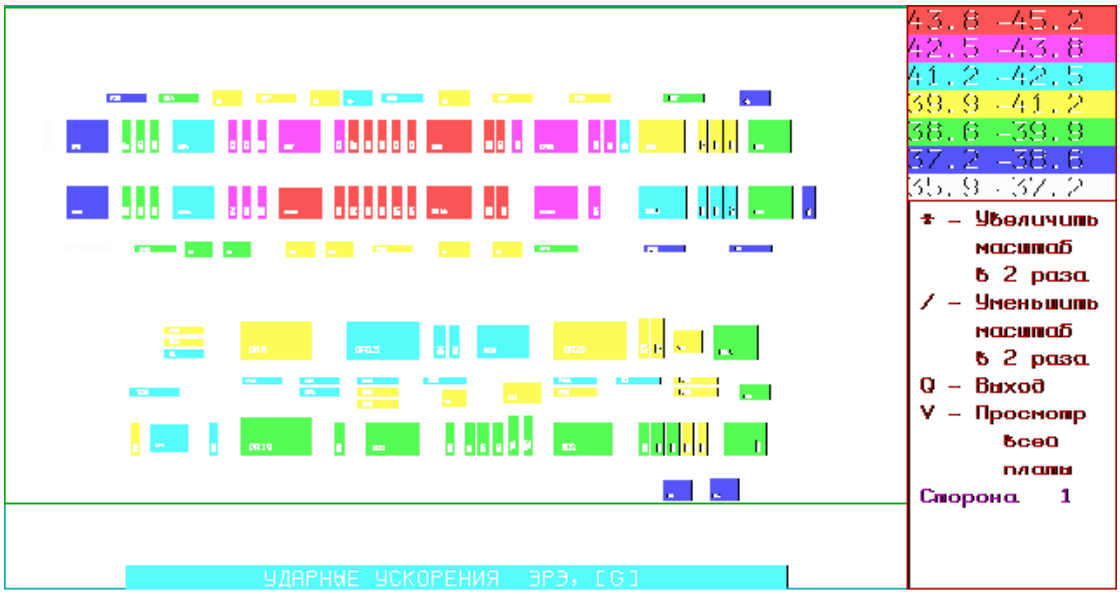


Рис. 4.3.2.7. Ударные ускорения ЭРИ

Таблица 4.3.2.5

Карта механических режимов работы ЭРИ при ударном воздействии (фрагмент)

N П/П	ОБОЗН. Э Р Э	УДАРНОЕ УСКОРЕНИЕ ЭРЭ		КОЭФФИЦ-Т МЕХАНИЧ-Й НАГРУЗКИ Э Р Э, [ОТ.ЕД.]	ПЕРЕГРУЗКА Э Р Э, [G]
		РАСЧЕТНОЕ, [G]	МАКСИМАЛЬНОЕ ДОПУСТИМОЕ ПО Т У, [G]		
1	DV1	41.8	150.0	.28	
2	R35	39.8	500.0	.08	
3	R26	42.8	500.0	.09	
4	R34	39.8	500.0	.08	
5	R30	41.0	500.0	.08	
6	R27	39.0	500.0	.08	
7	R31	44.3	500.0	.09	
8	R33	43.3	500.0	.09	
9	R24	44.3	500.0	.09	
10	R42	44.1	500.0	.09	
11	DD2	39.2	150.0	.26	
12	VD5	40.7	1500.0	.03	
13	VD4	40.7	1500.0	.03	
14	VD3	41.8	1500.0	.03	
15	VD2	39.3	1500.0	.03	
16	C14	38.3	150.0	.26	
17	C13	41.0	150.0	.27	
18	DD3	41.3	150.0	.28	
19	C12	39.6	150.0	.26	
20	C2	38.0	150.0	.25	
21	R19	43.1	500.0	.09	
22	R9	43.1	500.0	.09	
23	R29	43.8	500.0	.09	
24	R46	44.4	500.0	.09	
25	R23	40.8	500.0	.08	
26	R14	39.4	500.0	.08	
27	R8	37.6	500.0	.08	
28	R5	39.3	500.0	.08	

3. Расчет при воздействии вибрации при отсутствии ребра жесткости.

На рис. 4.3.2.8 представлена зависимость амплитуды виброускорения от частоты в контрольной точке печатного узла без ребра жесткости, откуда видно, что в верхней области частот характеристика приближается к резонансу. В табл. 4.3.2.6 представлена карта механических режимов работы ЭРИ, откуда видно, что ряд элементов имеет механическую перегрузку (выделены красным цветом). Таким образом, применение ребра жесткости обосновано и подтверждается результатами моделирования.

Анализ показал, что можно уменьшить высоту ребра без ухудшения стойкости конструкции к механическим воздействиям. При этом уменьшается масса печатного узла и конструкции блока в целом. Например, при высоте ребра 5 мм (уменьшена в 2 раза) перегрузки ЭРИ отсутствуют, а масса печатного узла снижается на 8 %.

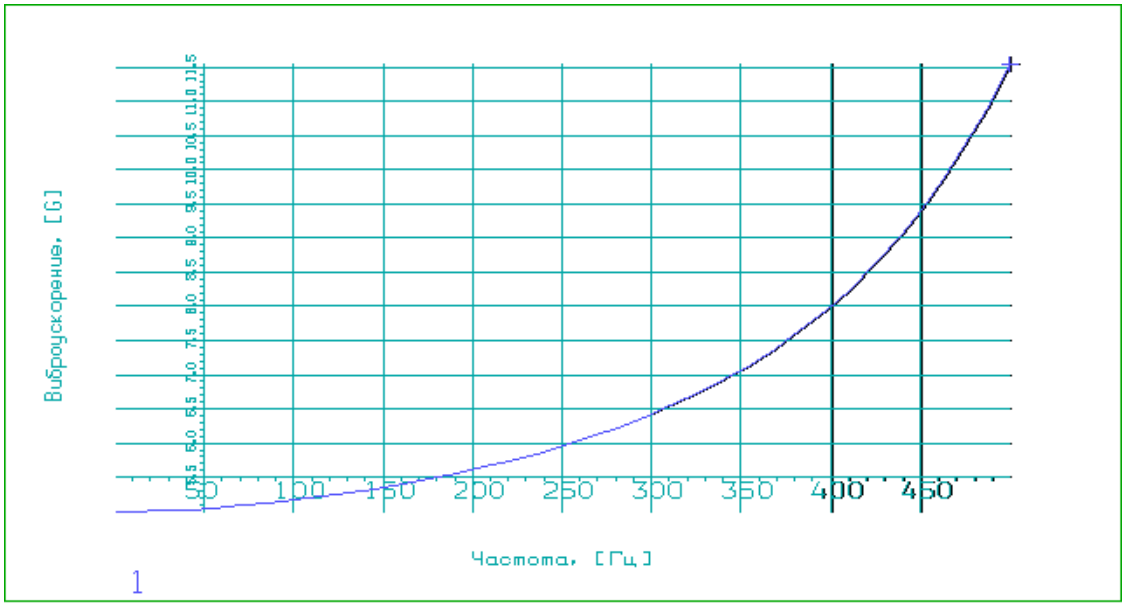


Рис. 4.3.2.8. Зависимость ударного ускорения от времени в контрольной точке печатного узла без ребра жесткости

Таблица 4.3.2.6

Карта механических режимов работы ЭРИ при ударном воздействии при отсутствии ребра жесткости (фрагмент)

N П/П	ОБОЗН. ЭРЭ	УСКОРЕНИЕ ЭРЭ: ЧАСТОТА [ГЦ]	МАХ РАСЧ-Е УСКОР. [G]	МАКСИМАЛЬНОЕ ДОПУСТИМОЕ ПО ТУ, [G]	КОЭФФИЦ-Т МЕХАНИЧ-Й НАГРУЗКИ ЭРЭ, [ОТ.ЕД.]	ПЕРЕГРУЗКА ЭРЭ, [G]
1	DV1	500.	7.3	20.0	.36	
2	R35	500.	8.5	20.0	.42	
3	R26	500.	9.6	20.0	.48	
4	R34	500.	8.5	20.0	.42	
5	R30	500.	8.0	20.0	.40	
6	R27	500.	6.5	20.0	.33	
7	R31	500.	11.4	20.0	.57	
8	R33	500.	13.7	20.0	.69	
9	R24	500.	11.7	20.0	.58	
10	R42	500.	11.5	20.0	.58	
11	DD2	500.	7.7	20.0	.38	
12	VD5	500.	12.7	40.0	.32	
13	VD4	500.	12.7	40.0	.32	
14	VD3	500.	8.5	40.0	.21	
15	VD2	500.	8.0	40.0	.20	
16	C14	500.	5.4	10.0	.54	
17	C13	500.	10.8	10.0	1.08	.8
18	DD3	500.	16.1	20.0	.80	
19	C12	500.	6.7	10.0	.67	
20	C2	500.	5.9	10.0	.59	
21	R19	500.	10.3	20.0	.51	
22	R9	500.	10.3	20.0	.51	
23	R29	500.	10.7	20.0	.53	
24	R46	500.	15.8	20.0	.79	
25	R23	500.	7.9	20.0	.40	
26	R14	500.	6.7	20.0	.34	
27	R8	500.	8.8	20.0	.44	
28	R5	500.	8.3	20.0	.41	
29	C11	500.	18.2	10.0	1.82	8.2
30	R3	500.	11.0	20.0	.55	
31	C10	500.	19.8	10.0	1.98	9.8
32	R13	500.	6.8	20.0	.34	
33	R7	500.	6.8	20.0	.34	
34	C7	500.	20.3	10.0	2.03	10.3
35	R2	500.	5.0	20.0	.25	
36	C9	500.	19.2	10.0	1.92	9.2

Выводы.

Расчет механического режима печатного узла 1РС с помощью подсистемы АСОНИКА-ТМ не выявил перегрузок ЭРИ при воздействии вибраций и ударов. Таким образом, ускорения ЭРИ соответствуют требованиям технических условий по максимально допустимым значениям.

Применение ребра жесткости обосновано и подтверждается результатами моделирования.

Кроме того, оптимизация параметров конструкции печатного узла позволила уменьшить высоту ребра до 5 мм (в 2 раза) при отсутствии перегрузок ЭРИ, снизив тем самым массу печатного узла на 8 %.

Поэтому в дальнейшем рекомендуется при проектировании печатных узлов использовать автоматизированную подсистему АСОНИКА-ТМ с целью оптимального обеспечения стойкости конструкций к тепловым и механическим воздействиям.

5. МЕХАНИЧЕСКИЕ И ТЕПЛОВЫЕ РАСЧЕТЫ ПРОЧИХ ЭЛЕМЕНТОВ (АСОНИКА-М, АСОНИКА-М-3D, АСОНИКА-ТМ, АСОНИКА-Т)

5.1. Прочностной расчет маятника

Задача расчета.

Провести прочностные расчеты маятника при воздействии статических механических нагрузок и вибрационных воздействий. На основании анализа механических характеристик сделать выводы о выполнении требований по прочности.

Данные для расчета:

сборочный чертеж маятника (эскиз на рис. 5.1.1);
массы элементов конструкции маятника;
параметры механических воздействий.

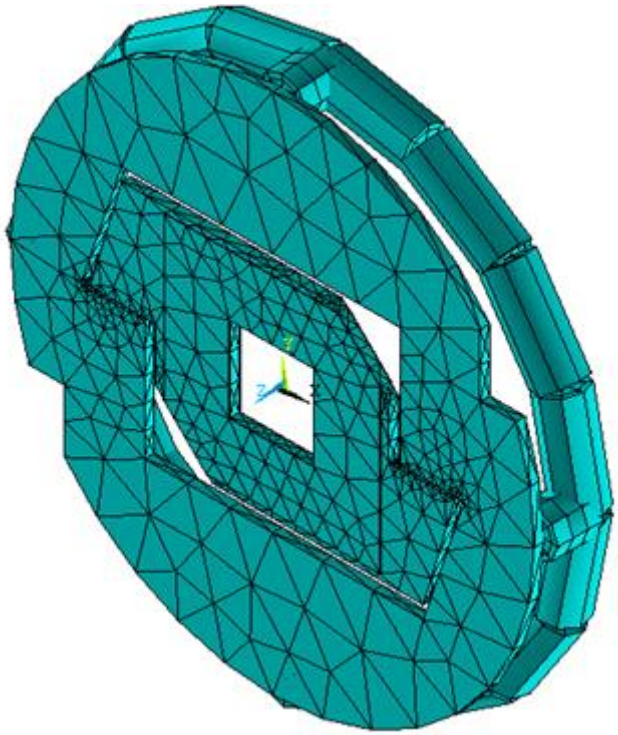


Рис. 5.1.1. Эскиз конструкции маятника, разбитого на конечные элементы

Анализ исходных данных.

Элементы конструкции маятника имеют следующие массы:
подвижная пластина маятника 0,12 г;
катушка 0,15 г;
груз 0,3 г;
2 элемента крепления катушки к пластине по 0,005 г.

Статическая нагрузка, прикладываемая к маятнику, равна 50 mg × (m = 0,58 г – масса всего маятника) = 0,2842 Н.

Физико-механические и теплофизические характеристики кремния: 1) модуль упругости $1{,}9 \times 10^{11}$ Па; 2) коэффициент Пуассона 0,25; 3) плотность $2{,}3 \times 10^{-6}$ кг/мм^3; 4) коэффициент температурного расширения $2{,}33 \times 10^{-6}$ 1/°C; 5) предел прочности 700 МПа.

Результаты расчета.

1. Анализ статических нагрузок.

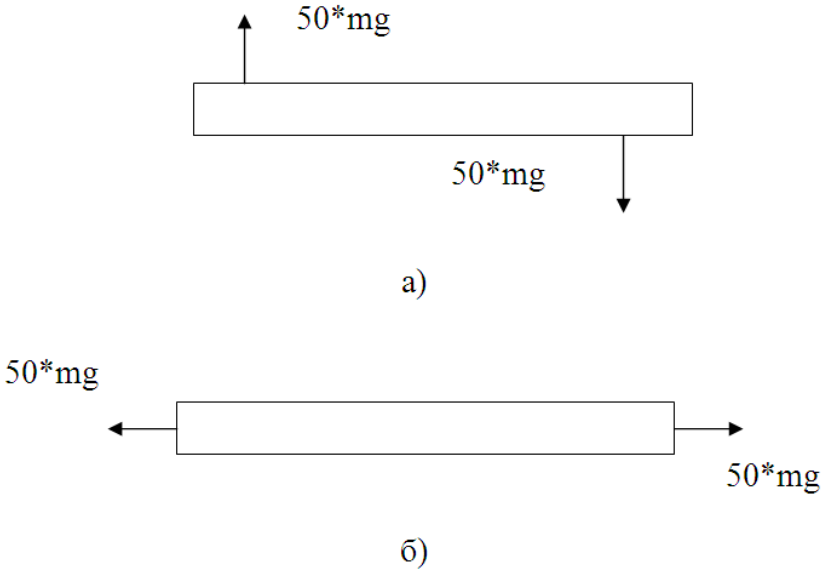


Рис. 5.1.2. Схемы приложения статических нагрузок к маятнику

2. Статические силы действуют поперек пластины в двух направлениях одновременно (см. рис. 5.1.2а). Результаты моделирования представлены на рис. 5.1.3 – 5.1.5.

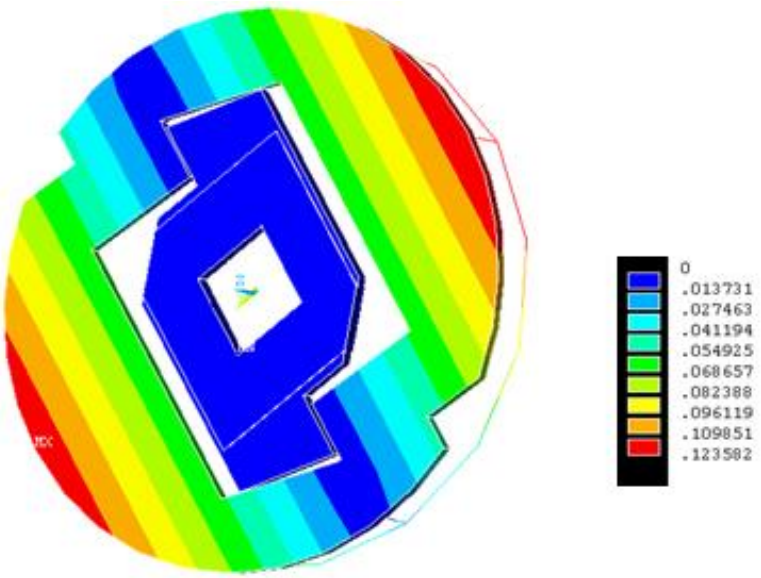


Рис. 5.1.3. Поле статических перемещений (мм)

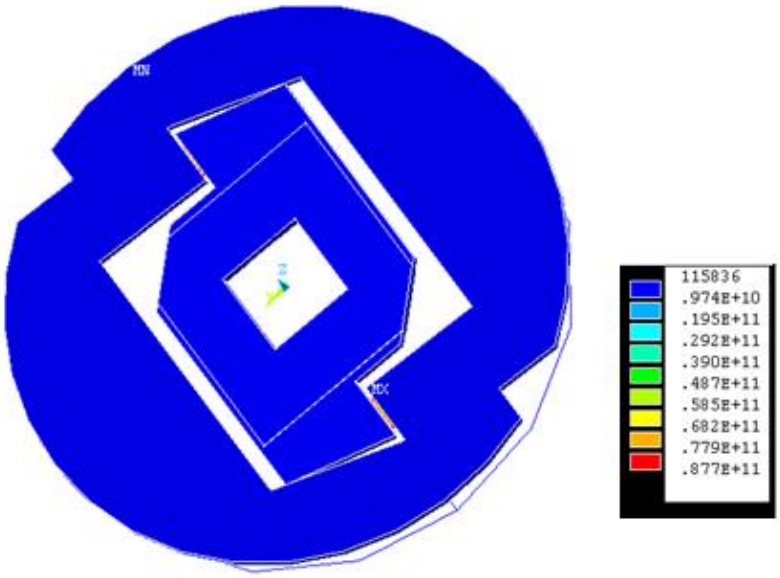


Рис. 5.1.4. Поле статических напряжений (Па)

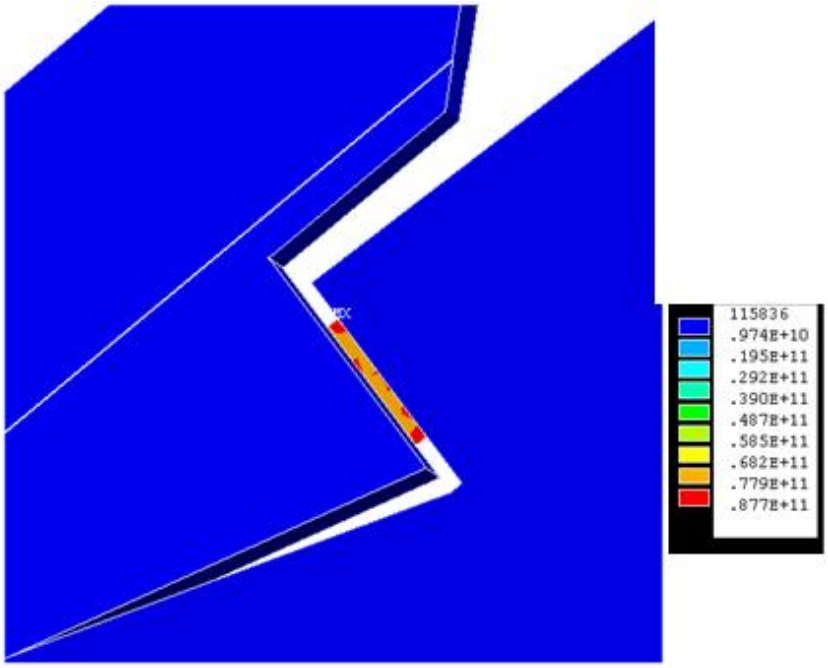


Рис. 5.1.5. Фрагмент поля напряжений в месте перемычки (Па)

Из рис. 5.1.3 видно, что максимальные перемещения возникают на краях пластины и составляют 0,123 мм.

Из рис. 5.1.4 и 5.1.5 видно, что максимальные напряжения возникают в перемычках и составляют 87700 МПа, что значительно превышает предел прочности кремния (700 МПа).

3. Одна статическая сила действует поперек пластины.

Результаты моделирования представлены на рис. 5.1.6, 5.1.7.

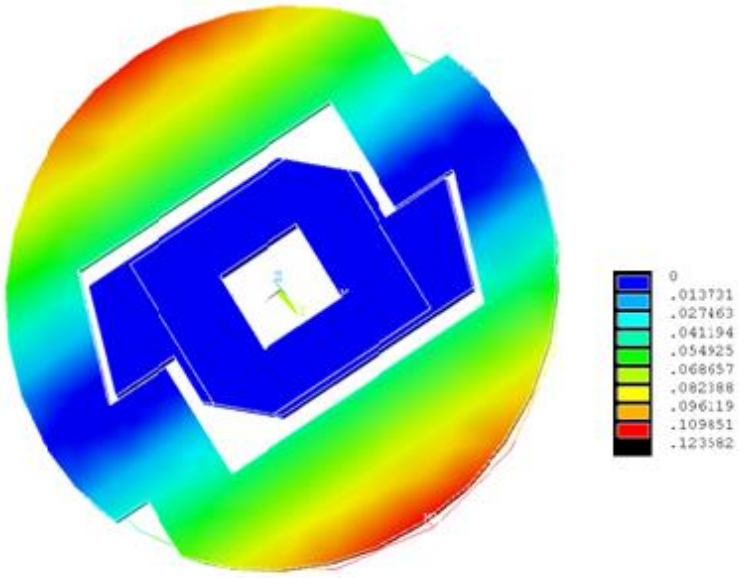


Рис. 5.1.6. Поле статических перемещений (мм)

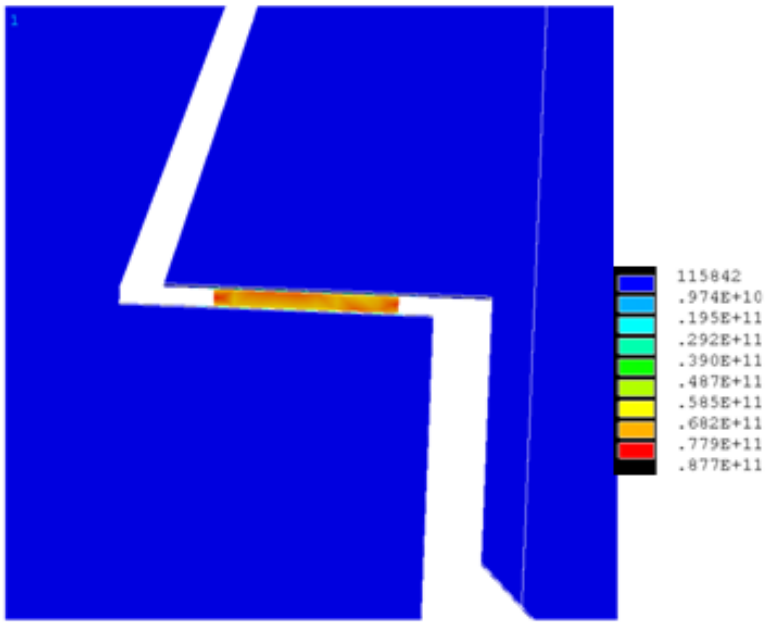


Рис. 5.1.7. Поле статических напряжений (Па)

Из рис. 5.1.6 видно, что максимальные перемещения возникают на краях пластины и составляют 0,123 мм.

Из рис. 5.1.7 видно, что максимальные напряжения возникают в перемычках и составляют 87700 МПа, что значительно превышает предел прочности кремния (700 МПа).

4. Одна статическая сила действует вдоль пластины.

Результаты моделирования представлены на рис. 5.1.8, 5.1.9.

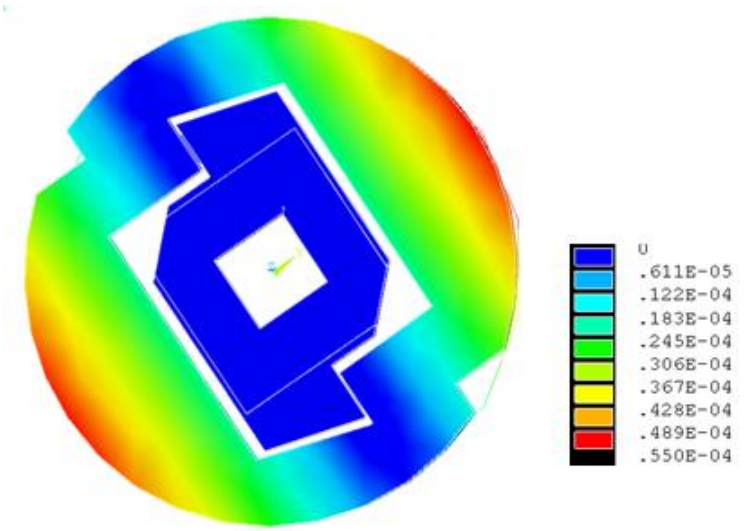


Рис. 5.1.8. Поле статических перемещений (мм)

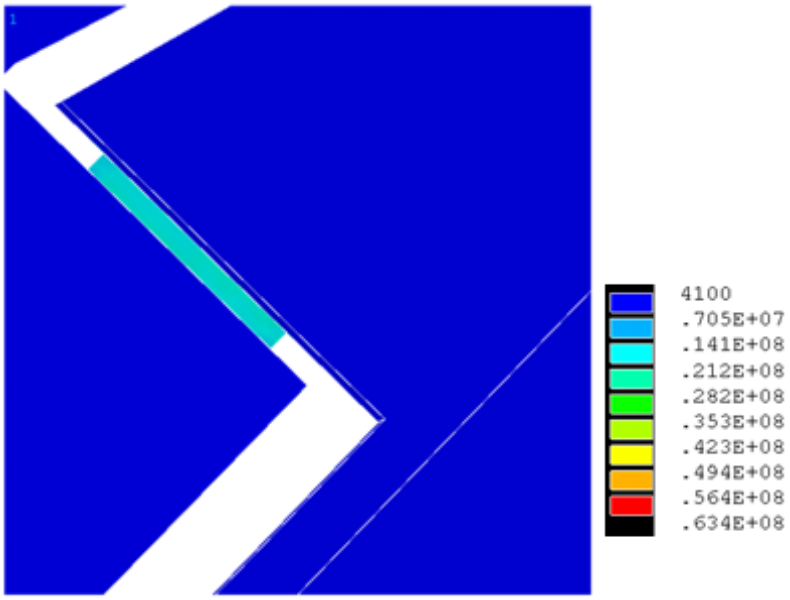


Рис. 5.1.9. Поле статических напряжений (Па)

Из рис. 5.1.8 видно, что максимальные перемещения возникают на краях пластины и составляют 0,0550 мм.

Из рис. 5.1.9 видно, что максимальные напряжения возникают в перемычках и составляют 21,2 МПа, что значительно меньше предела прочности кремния (700 МПа).

5. Статические силы действуют вдоль пластины в двух направлениях одновременно (см. рис. 5.1.2б).

Результаты моделирования представлены на рис. 5.1.10, 5.1.11.

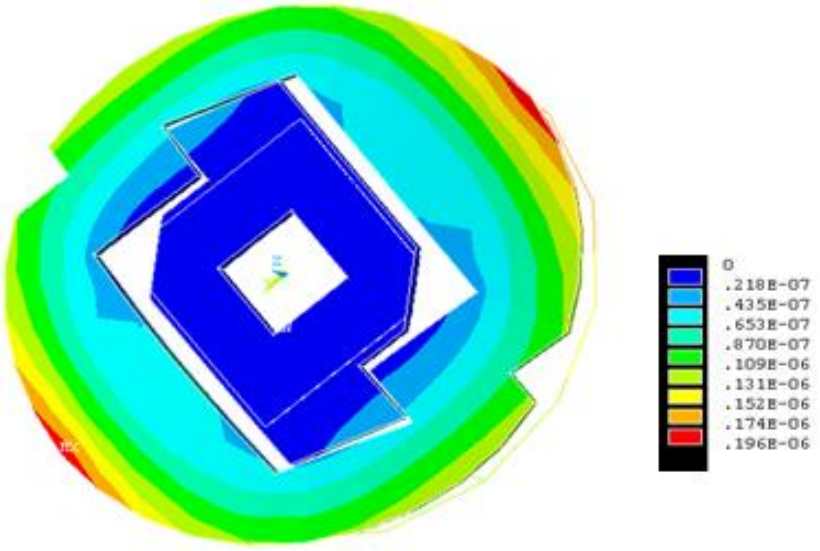


Рис. 5.1.10. Поле статических перемещений (м)

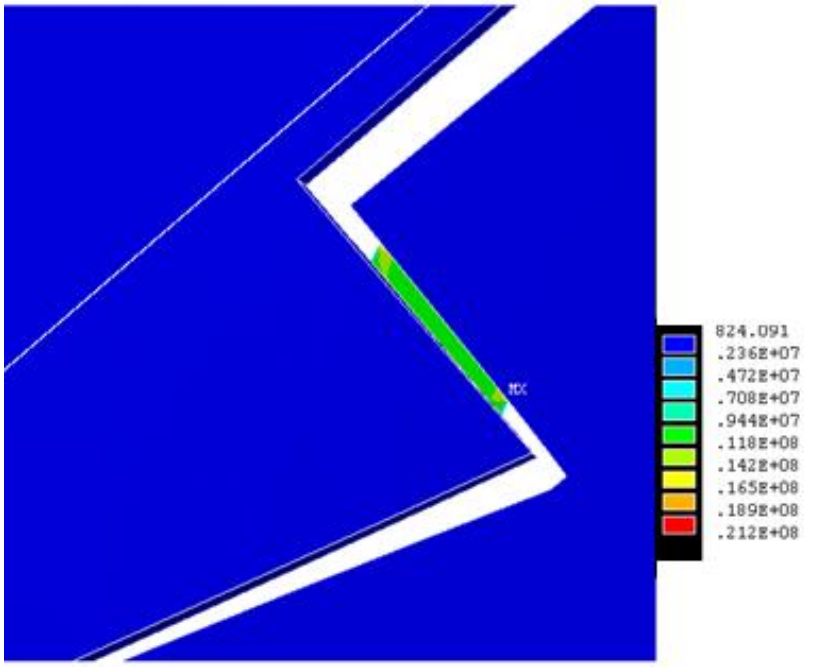


Рис. 5.1.11. Фрагмент поля статических напряжений в месте перемычки

Из рис. 5.1.10 видно, что максимальные перемещения возникают на краях пластины и составляют 0,000196 мм.

Из рис. 5.1.11 видно, что максимальные напряжения возникают в перемычках и составляют 16,5 МПа, что значительно меньше предела прочности кремния (700 МПа).

6. Анализ динамических нагрузок.

Вначале был проведен анализ собственных частот.

Были выведены АЧХ по перемещению и ускорению в контрольной точке пластины маятника в диапазоне частот от 0 до 150 Гц.

Динамический анализ маятника показал, что в диапазоне частот от 0 до 2000 Гц пластина маятника имеет 7 собственных частот, причем наиболее опасными с точки зрения возникающих динамических напряжений являются первые две резонансные частоты.

Были выведены поля динамических напряжений и перемещений на частотах 10 Гц, 115 Гц, 260 Гц.

Результаты моделирования показали, что максимальные динамические напряжения на частоте 10 Гц (в области первого резонанса) возникают в перемычках и составляют 23600 МПа, что значительно больше предела прочности кремния (700 МПа).

Максимальные динамические напряжения на частоте 115 Гц (в области второго резонанса) возникают в перемычках и составляют 15600 МПа, что значительно больше предела прочности кремния (700 МПа). Максимальные перемещения возникают на краях пластины и составляют 0,269 мм.

За частотой 185 Гц напряжения и перемещения резко снижаются. Например, максимальные динамические напряжения на частоте 260 Гц возникают уже не в перемычках и составляют всего 29,39 Па, что значительно ниже предела прочности кремния (700 МПа).

Выводы.

Моделирование маятника при воздействии поперечных статических нагрузок (50mg) показывает, что возникающие механические напряжения в перемычках (87700 МПа) значительно превышают предел прочности кремния (700 МПа).

Моделирование маятника при воздействии продольных статических нагрузок (50mg) показывает, что возникающие механические напряжения в перемычках (21,2 МПа) значительно ниже предела прочности кремния (700 МПа).

Моделирование маятника при вибрационных воздействиях (15g) показывает, что в диапазоне от 0,3 до 185 Гц в перемычках возникают максимальные механические напряжения (23600 МПа на частоте 10 Гц), значительно превышающие предел прочности кремния (700 МПа).

За частотой 185 Гц напряжения и перемещения резко снижаются. Например, максимальные динамические напряжения на частоте 260 Гц возникают уже не в перемычках и составляют всего 29,39 Па, что значительно ниже предела прочности кремния (700 МПа).

Рекомендации.

1. Следует упрочнить конструкцию, чтобы она выдерживала поперечные статические нагрузки 50mg и динамические нагрузки 15g в диапазоне частот 0...185 Гц, например, увеличить толщину кремниевой пластины.

2. Снизить действующие нагрузки.

В зависимости от выбранного заказчиком варианта исполнителем могут быть проведены дополнительные работы по перерасчету конструкции маятника.

5.2. Моделирование механических процессов в корпусе микросхем под воздействием лака

Задача расчета.

Выявить причины отказов, связанных с применением лака; получить приближенную оценку влияния лака на деформацию микросхемы; подготовить предложения по разработке методики моделирования механических процессов в корпусе микросхемы.

Данные для расчета:

эскиз конструкции микросхемы с каплей лака;

свойства используемых материалов.

В связи с неизученностью рассматриваемого явления входные данные по лаку брались приближенно, с использованием справочных данных о близких по свойствам материалов. Стоит отметить, что модуль упругости (жесткость) материала лака меньше в пять раз модуля упругости материала корпуса микросхемы.

Результаты расчета.

Результаты моделирования представлены на рис. 5.2.1, 5.2.2. Общую поверхность корпуса и капли лака стягивает в одну точку (геометрический центр данной поверхности). В свою очередь это вызывает довольно значительный изгиб по длине корпуса (максимальный вектор перемещения по данному направлению ~130 мкм) и по ширине (максимальный вектор перемещения ~100 мкм). Воздействие с корпуса передаются на рабочие части микросхемы, что вызывает деформации, превышающие допустимые значения, чем и обусловливается отказы.

Зона максимальных напряжений сконцентрирована в районе расположения капли, а также пронизывает корпус по всей толщине.

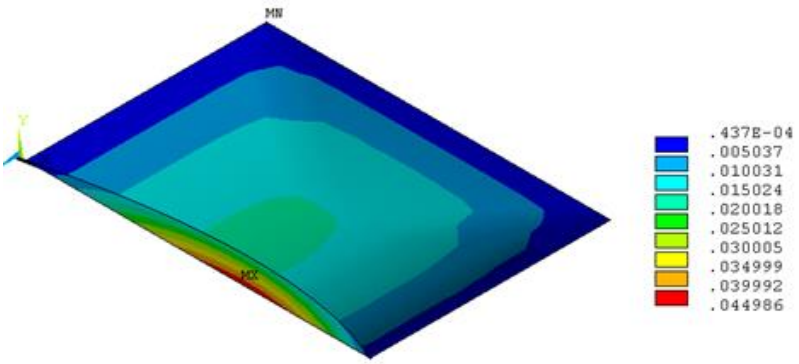


Рис. 5.2.1. Поле значений концентрации летучих компонентов в сечении капли лака

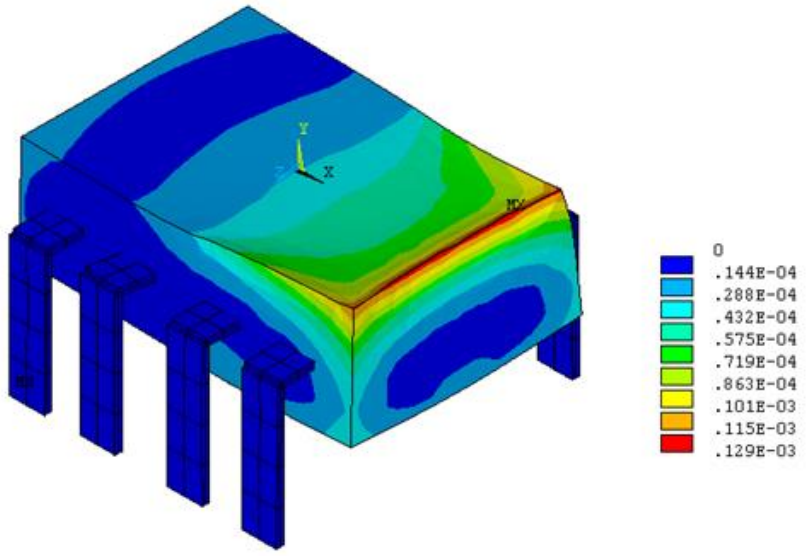


Рис. 5.2.2. Поле перемещений на корпусе микросхемы (в метрах)

Выводы.

Необходимо избегать всевозможных скоплений лака (капли, наплывы) на корпусах микросхем и радиоэлементов. Если не удается этого избежать, то рекомендуется:

корпуса радиоэлементов устанавливать на некотором расстоянии от поверхности платы, т.к. установка радиоэлемента вплотную провоцирует скопление лака;

стремиться располагать скопления лака на поверхностях корпусов микросхем максимально удаленных от рабочей части микросхем (зона максимальных напряжений сконцентрирована в районе расположения капли).

5.3. Идентификация физико-механических параметров материала рамы РМ56 с помощью подсистемы АСОНИКА-М

Задача расчета.

Провести с помощью подсистемы АСОНИКА-М идентификацию следующих физико-механических параметров материала рамы РМ56: модуля упругости и коэффициента демпфирования.

Данные для расчета:

для идентификации используются экспериментально полученные характеристики данных материалов при воздействии гармонической вибрации. Датчики устанавливались в т. 5-1 и т. 5-2 (см. рис. 5.3.1, рис. 5.3.2).

На рис. 5.3.3 показано задающее воздействие. Результаты испытаний приведены на рис. 5.3.4 и 5.3.5.

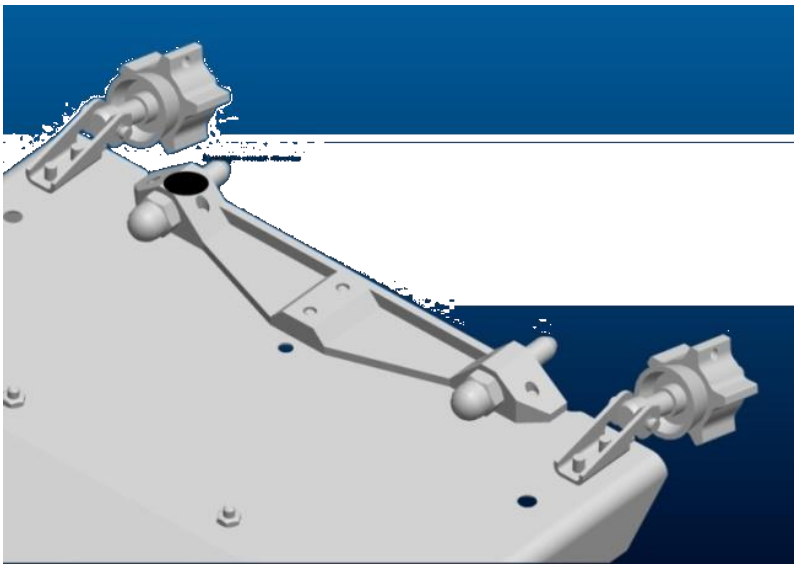


Рис. 5.3.1. Контрольная точка 5-1

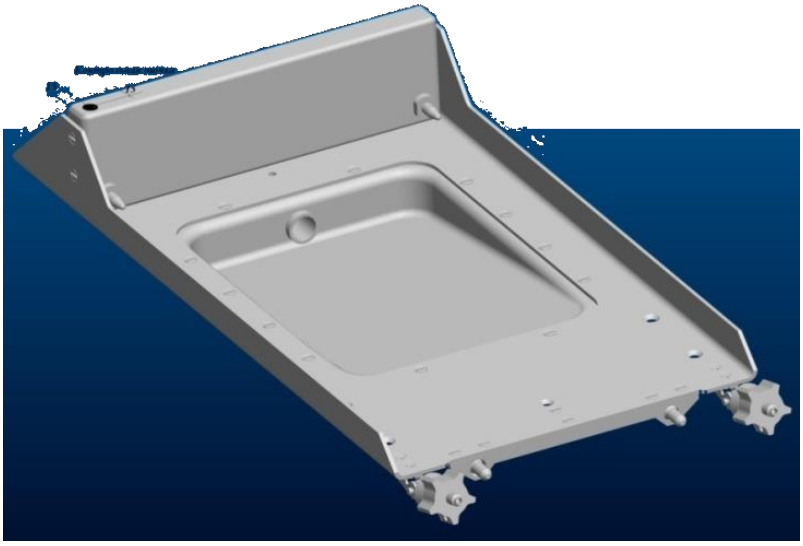


Рис. 5.3.2. Контрольная точка 5-2

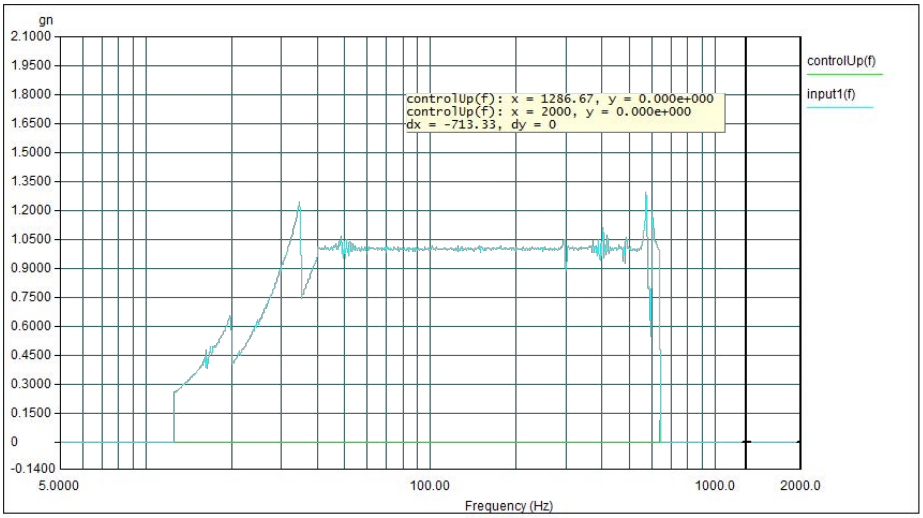


Рис. 5.3.3. Заданное вибрационное воздействие

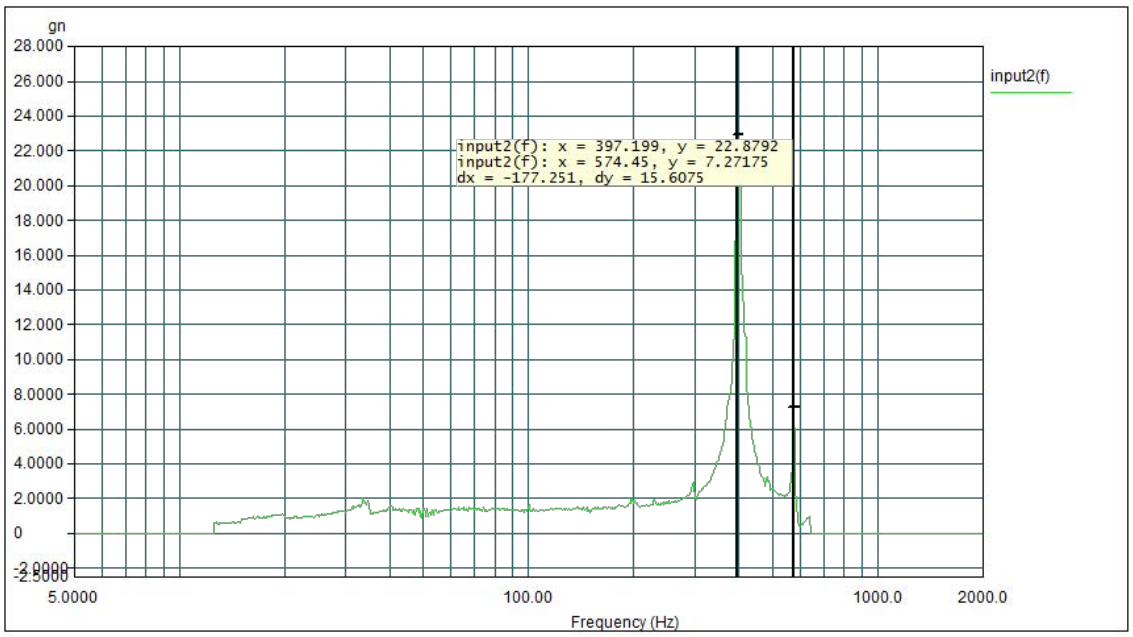


Рис. 5.3.4. Результаты испытаний на воздействие гармонической вибрации в контрольной точке 5.1

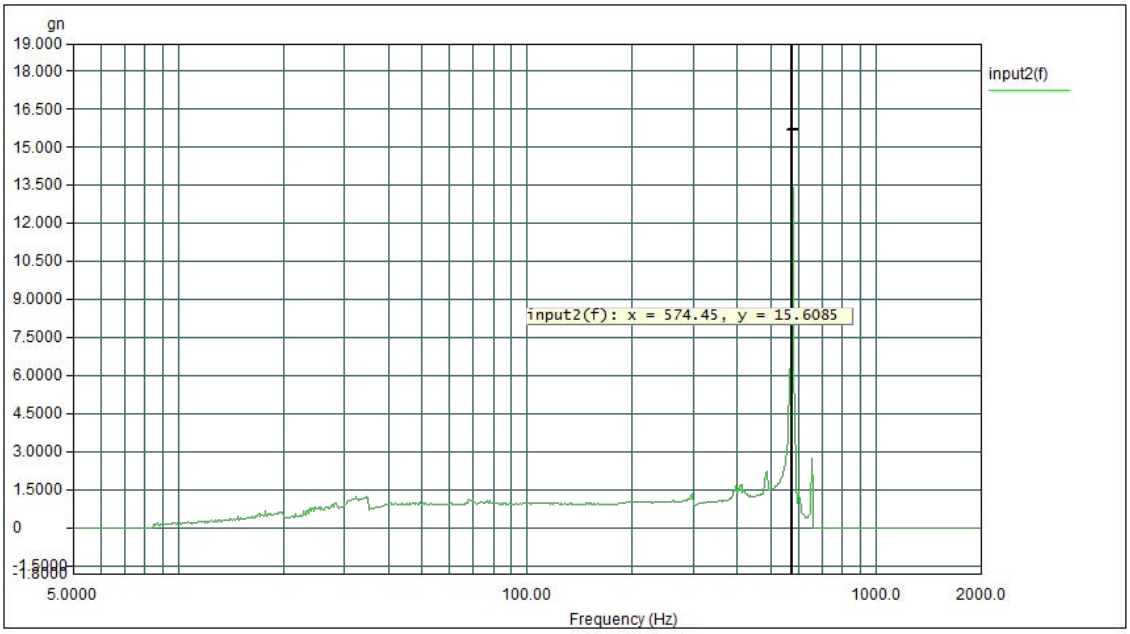


Рис. 5.3.5. Результаты испытаний на воздействие гармонической вибрации в контрольной точке 5.2

Результаты моделирования и идентификации.

Результаты идентификации параметров материала для подсистемы АСОНИКА-М (при вибрации):

модуль упругости детали 1 = 7200000000 Па

КМР детали 1 = 0,001

модуль упругости детали 2 = 145000000000 Па

КМР детали 2 = 0,003

модуль упругости детали 3 = 7200000000 Па

КМР детали 3 = 0,008

модуль упругости детали 4 = 7200000000 Па

КМР детали 4 = 0,008
модуль упругости детали 5 = 7200000000 Па
КМР детали 5 = 0,008
модуль упругости детали 6 = 7200000000 Па
КМР детали 6 = 0,008

На рис. 5.3.6 представлены результаты моделирования механических процессов в раме при воздействии гармонической вибрации при идентифицированных параметрах модуля упругости и коэффициентов демпфирования в подсистеме АСОНИКА-М.

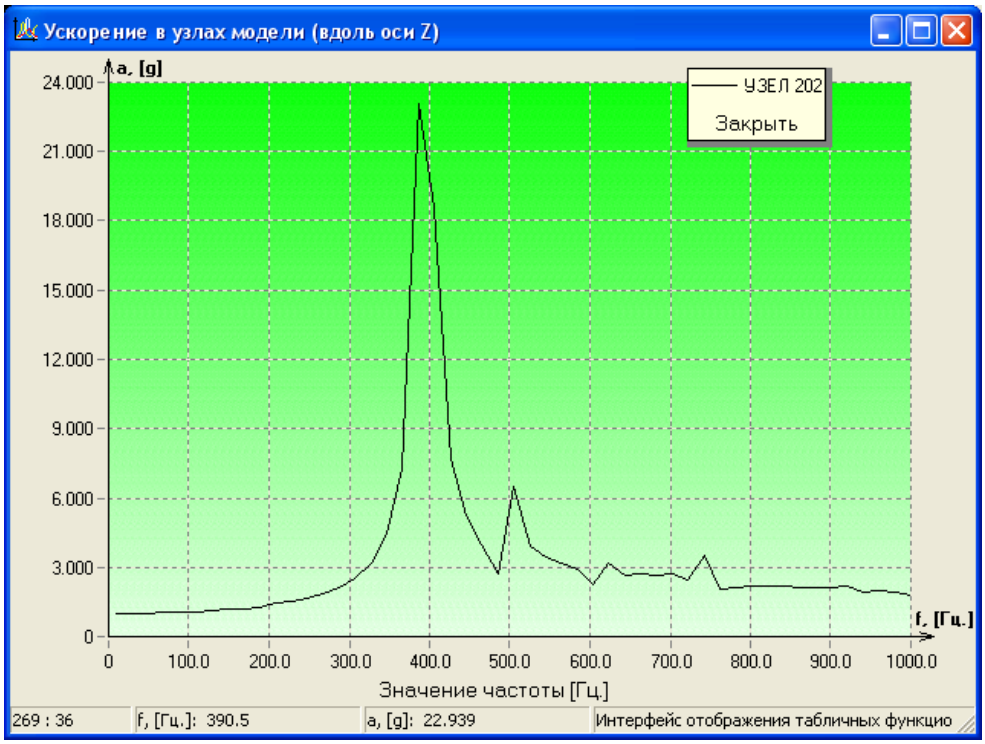


Рис. 5.3.6. Зависимость ускорения в контрольной точке 5-1 от частоты гармонической вибрации при идентифицированных параметрах (АСОНИКА-М)

Выводы.

По результатам проведенной идентификации получены параметры материалов рамы, необходимые для моделирования механических характеристик рамы РМ56 в подсистеме АСОНИКА-М.

Моделирование рамы РМ56 на заданные механические воздействия по идентифицированным физико-механическим параметрам материалов с помощью подсистемы АСОНИКА-М.

1. Расчет при воздействии случайной широкополосной вибрации.

Данные для расчета приведены в табл. 5.3.1. Результаты представлены на рис. 5.3.7.

Таблица 5.3.1

Заданная случайная вибрация

Режим эксплуатации	Диапазон частот, Гц	Спектральная плотность ускорения, $м^2/(с^4 \cdot Гц)(g^2/Гц)$	Суммарная среднеквадратичная величина ускорения, $м/с^2(g)$
Разбег-пробег	10-50 50-2000	1,925(0,02) 0,962(0,01)	44,145(4,5)

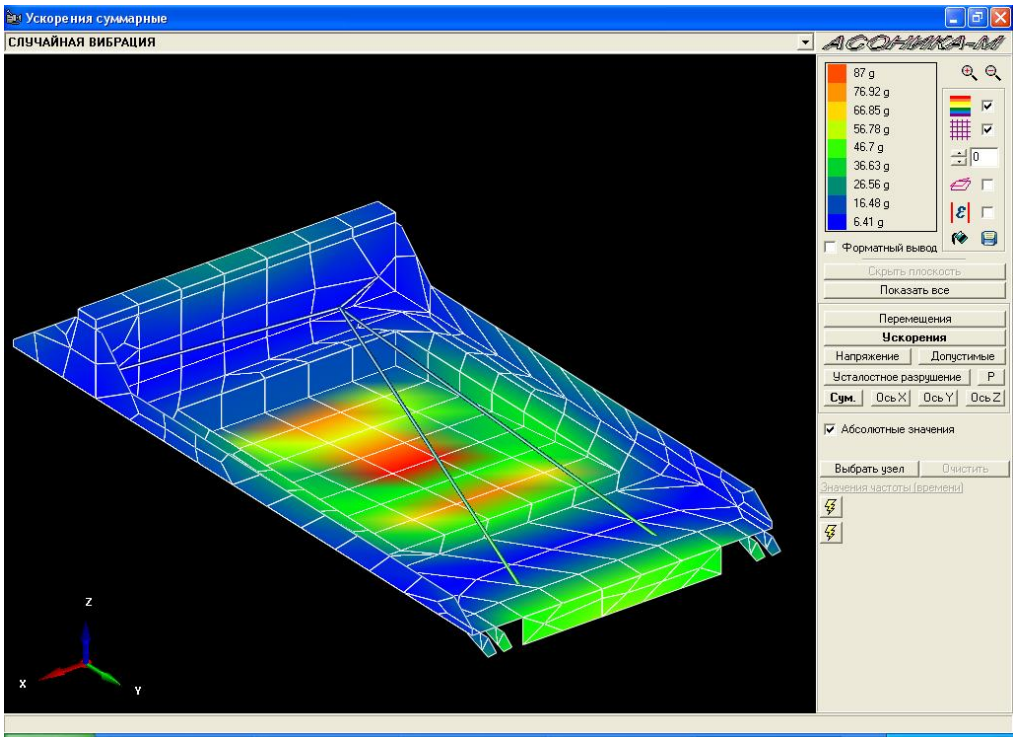


Рис. 5.3.7. Поле среднеквадратических ускорений

2. Устойчивость и прочность при воздействии линейного ускорения.

Изделие должно сохранять работоспособность при воздействии линейного ускорения, равного 10g, для узлов крепления – 15g. Значение ускорения устанавливается относительно геометрического центра изделия или центра его тяжести. Результаты моделирования представлены на рис. 5.3.8.

Допустимое напряжение в конструкции составляет 220 МПа. Максимальные расчетные напряжения в узлах крепления рамы монтажной РМ-56 составляют порядка 4,2 МПа. Поэтому коэффициенты запаса прочности в узлах крепления рамы монтажной РМ-56 составляют порядка 220 МПа / 4,2 МПа = 52. Результаты моделирования представлены на рис. 5.3.9, 5.3.10.

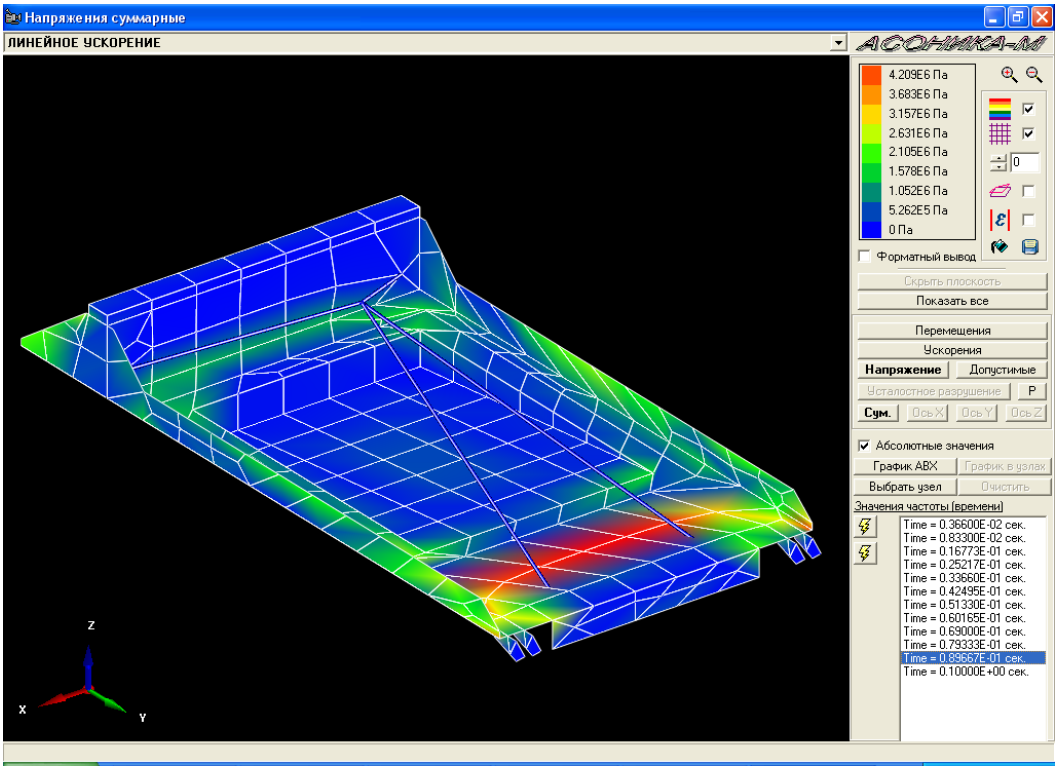


Рис. 5.3.8. Поле максимальных напряжений

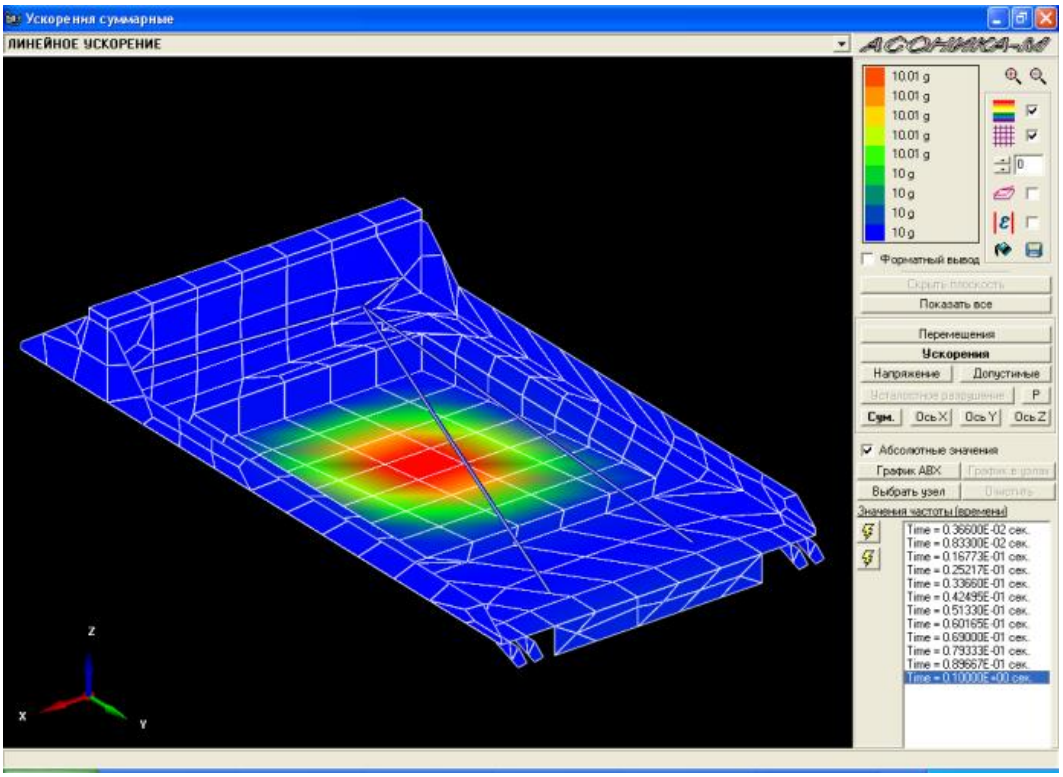


Рис. 5.3.9. Поле максимальных ускорений

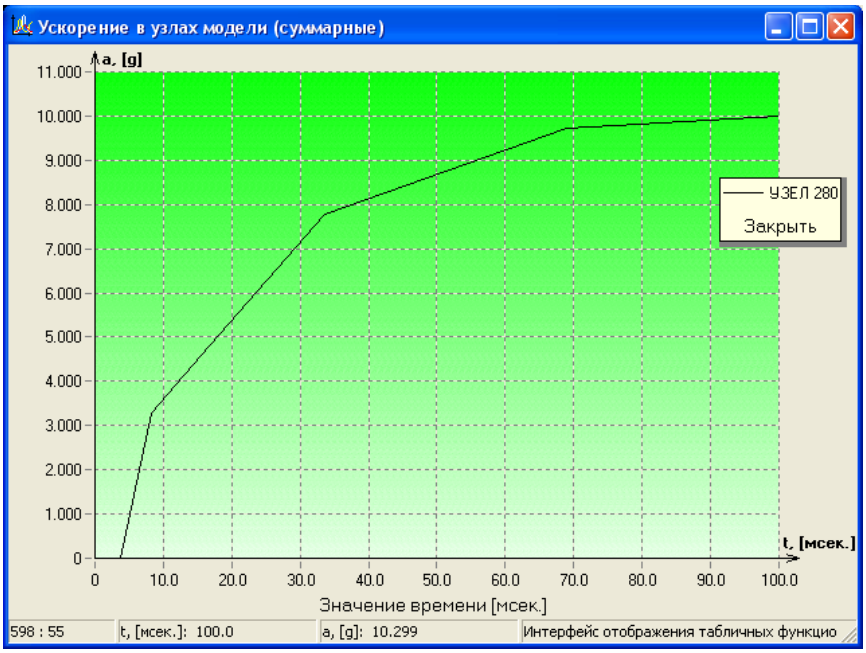


Рис. 5.3.10. Зависимость линейного ускорения в контрольной точке от времени

3. Прочность узлов крепления при воздействии механических ударов одиночного действия

Изделие должно сохранять работоспособность при воздействии ударных нагрузок с ускорением 15g, длительностью ударного импульса 15 мс. Воздействие проводить поочередно в трех взаимно перпендикулярных положениях в количестве трех ударов по каждой оси. Результаты моделирования представлены на рис. 5.3.11.

Допустимое напряжение в конструкции составляет 220 МПа. Максимальные расчетные напряжения в узлах крепления рамы монтажной РМ-56 составляют порядка 11,7 МПа. Поэтому коэффициенты запаса прочности в узлах крепления рамы монтажной РМ-56 составляют порядка 220 МПа / 11,7 МПа = 19. Результаты моделирования представлены на рис. 5.3.11 – 5.3.13.

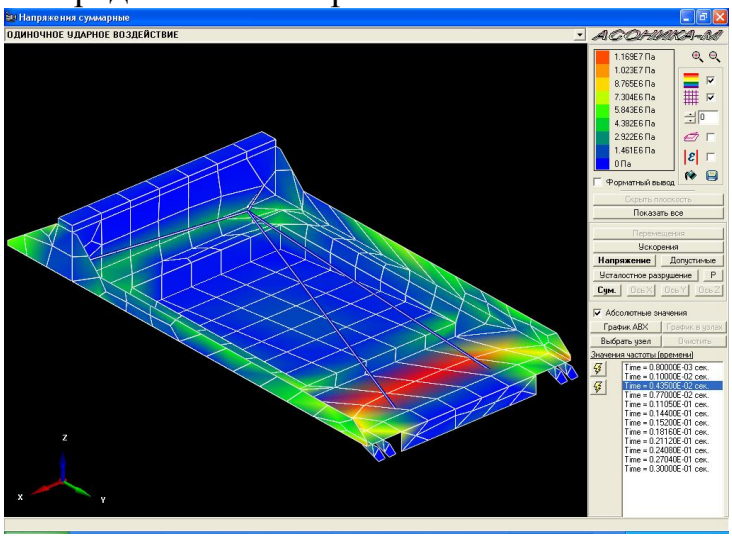


Рис. 5.3.11. Поле максимальных напряжений

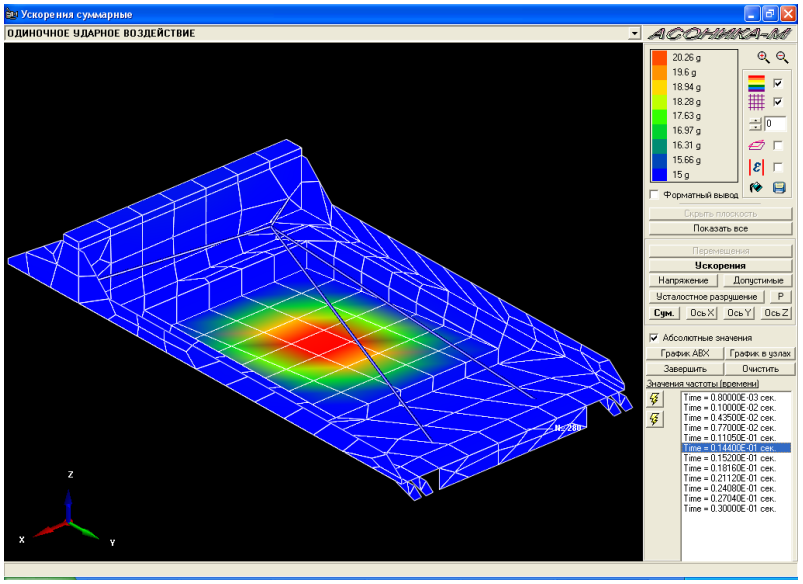


Рис. 5.3.12. Поле максимальных ускорений

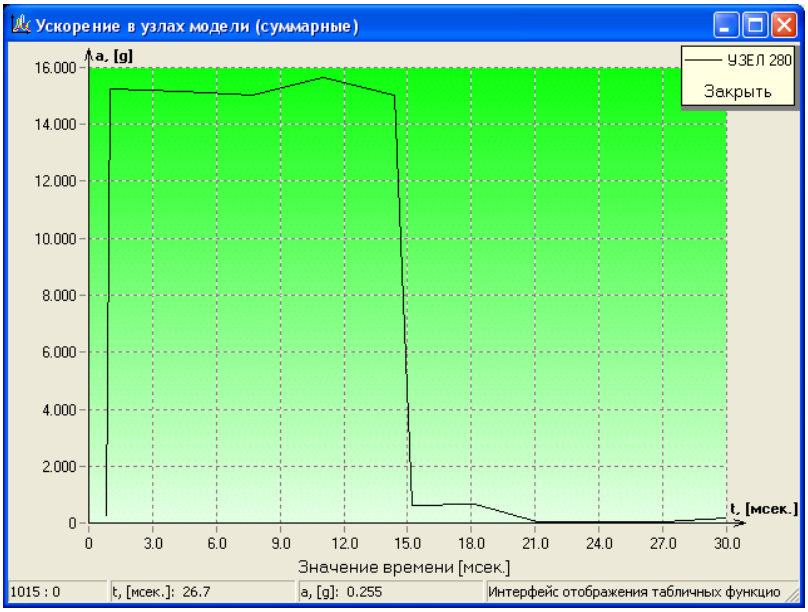


Рис. 5.3.13. Зависимость ударного ускорения в контрольной точке от времени

4. Устойчивость и прочность при воздействии СПВ.

Изделие должно сохранять работоспособность при воздействии случайной широкополосной вибрации с параметрами, указанными в таблице 5.3.2. Результаты моделирования представлены на рис. 5.3.14, 5.3.15.

Таблица 5.3.2

Параметры случайной широкополосной вибрации

Время воздействия за весь срок эксплуатации, мин	Диапазон частот, Гц	Среднеквадратичная величина ускорения, $м/с^2 (g)$	Распределение спектральной плотности виброускорения в диапазоне частот	
			Диапазон частот, Гц	Спектральная плотность ускорения, $м^2/(с^4 \cdot Гц)(g^2/Гц)$
6,0	10-2000	166,77 (17,0)	10-20 20-30 30-40 40-60 60-65 65-85 85-90 90-110 110-500 500-2000	3,85 (0,04) 96,24 (1,0) 24,06 (0,25) 192,48 (2,0) 24,06 (0,25) 144,36 (1,5) 24,06 (0,25) 144,36 (1,5) 24,06 (0,25) 4,81 (0,05)

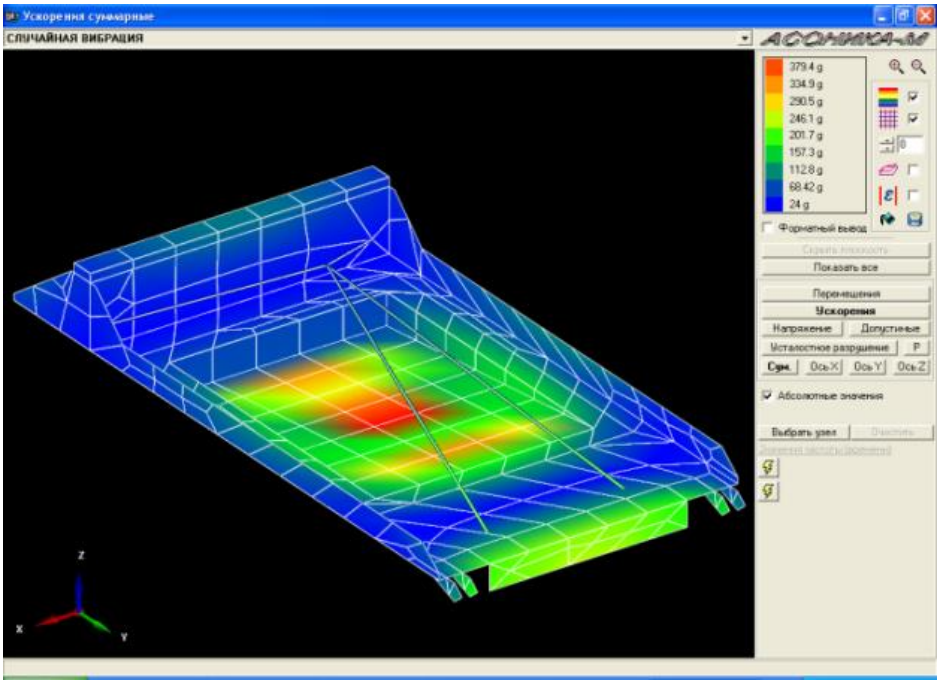


Рис. 5.3.14. Поле среднеквадратических ускорений

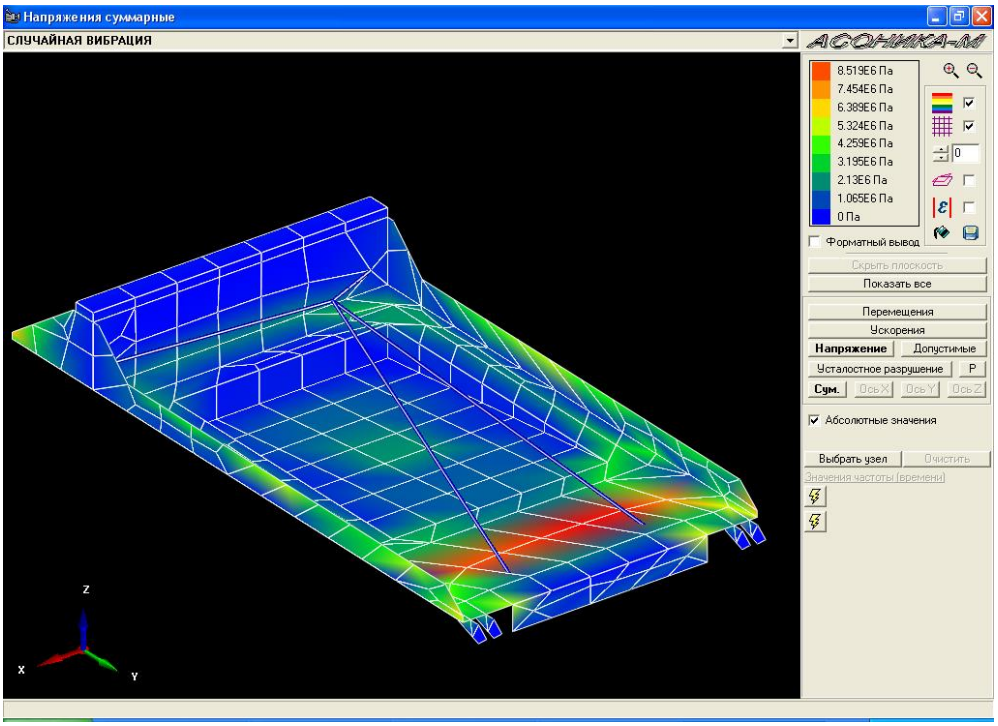


Рис. 5.3.15. Поле напряжений

5.4. Расчет нестационарного теплового режима датчика с помощью АСОНИКА-Т

Задача расчета.

Провести с помощью АСОНИКА-Т моделирование теплового нестационарного режима датчика.

Данные для расчета:

Чертеж датчика представлен на рис. 5.4.1, 5.4.2.

Тепловое воздействие на датчик задается с помощью табл. 5.4.1.

Воздействие осуществляется в виде повышения температуры окружающей среды, заданного вышеприведенной таблицей или графиком (см. рис. 5.4.3).

Результаты моделирования.

Для моделирования теплового режима на первом этапе была составлена топологическая модель теплового процесса (МТП) и подготовлены исходные данные для ее автоматизированного расчета с помощью АСОНИКА-Т.

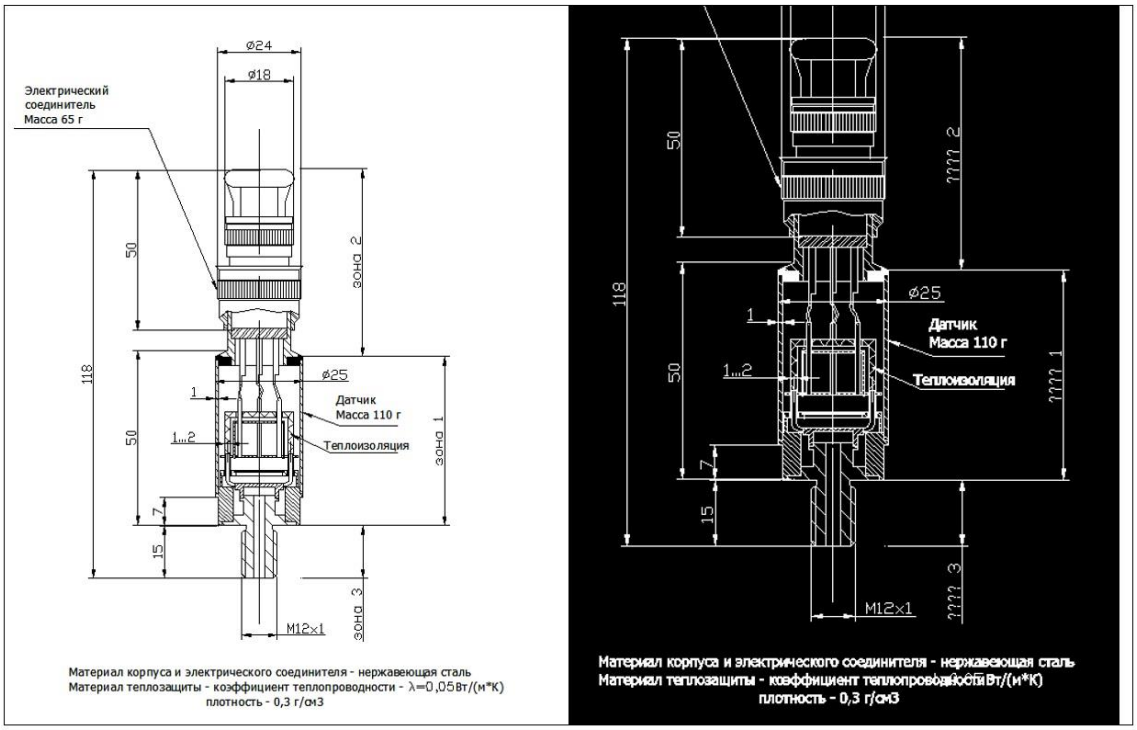


Рис. 5.4.1. Чертежи датчика в прямом и негативном цвете

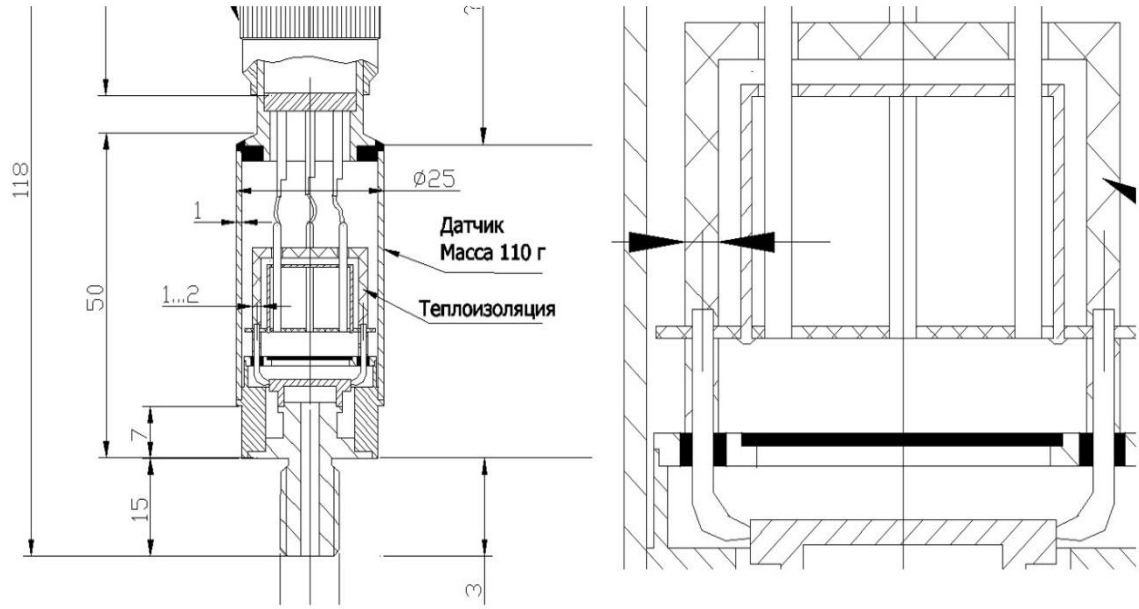


Рис. 5.4.2. Более подробные чертежи датчика

Таблица 5.4.1

Характерные условия внешних воздействий

№	Температура окружающей среды	Зона 1	Зона 2	Зона 3
1.	начальная установившаяся повышенная температура (ПТ), °С	120	120	120
2.	предельная повышенная температура (ППТ), °С	183	183	183
3.	темп нарастания температуры, град/с	0,25	0,25	0,25
4.	темп снижения температуры, град/с	2,3	2,3	2,3
5.	продолжительность воздействия ППТ, с	300	300	300
6.	продолжительность воздействия ПТ, с	1346	1346	1346

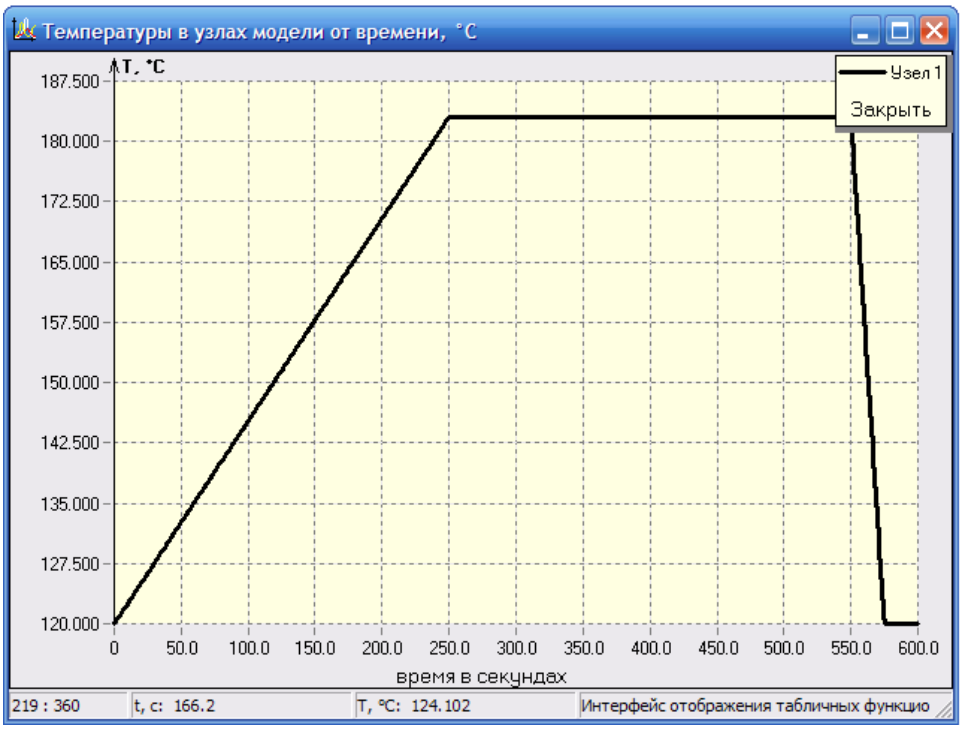


Рис. 5.4.3. График характерных внешних тепловых воздействий

1. Расчет времени нагрева от теплового удара среды.

Допущения (идеализация) для уточненной модели. Каждый узел МТП представляет собой изотермический (имеет неизменную температуру) элемент конструкции:

корпус датчика делится на две части верхняя и нижняя с датчиком, каждая из которых моделируется одним узлом МТП;

печатный узел (ПУ) датчика моделируется узлом МТП, а для моделирования тепловыделения в него включен источник постоянного тепловыделения;

теплопроводностью между ПУ датчика и элементами крепления пренебрегаем, т.к. материал ПУ имеет низкую теплопроводность;

корпус теплоизоляции моделируется одним узлом МТП;

электрический экран моделируется узлом МТП;

воздушный объем воздуха внутри корпуса моделируется узлом МТП;

воздушный объем воздуха внутри экрана над ПУ моделируется узлом МТП;

окружающая среда моделируется источником температуры с задаваемой таблицей графиком ее изменения.

При моделировании будем использовать следующие виды теплообмена: теплопроводность, естественная конвекция в воздушный объем, излучение.

В АСОНИКА-Т представлена библиотека (несколько десятков) элементарных видов теплообмена соответствующими формулами, критериальными уравнениями и прочим (см. рис. 5.4.4). Пользователь выбирает вид теплообмена из соответствующих пунктов меню, и система сама составит соответствующие уравнения и подставит необходимые формулы.

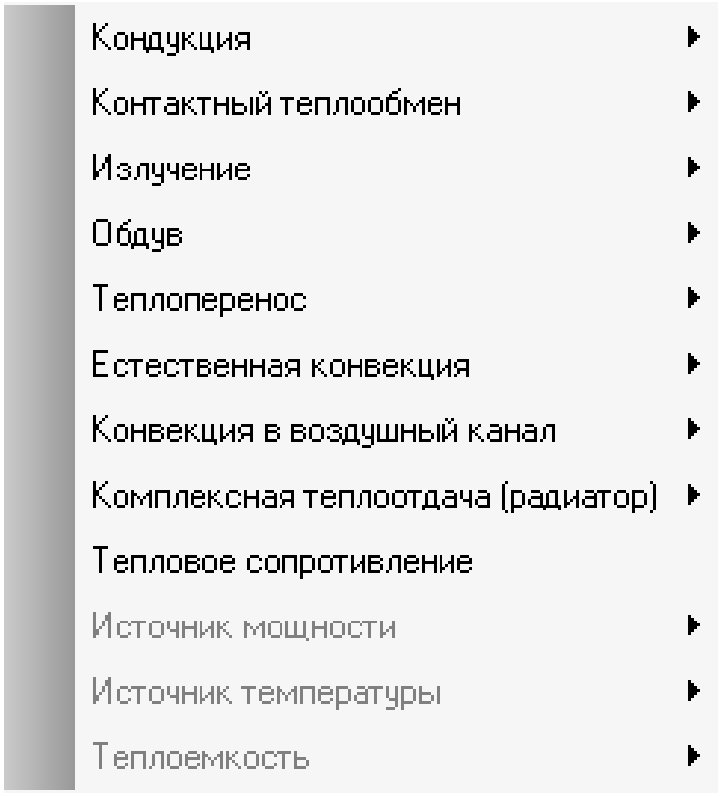
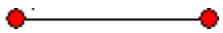
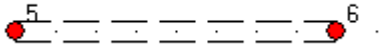
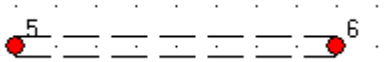
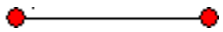
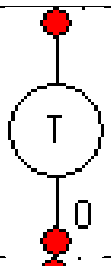
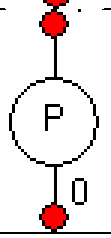


Рис. 5.4.4. Пункты меню вызова видов теплообмена в АСОНИКА-Т

В табл. 5.4.2 приводятся обозначения ветвей графа МТП (отражают различные типы тепловых проводимостей), которые будут использоваться в дальнейшем при изображении моделей тепловых процессов.

Таблица 5.4.2

Обозначение ветвей тепловых моделей

№ п/п	ТИП ВЕТВИ	ОБОЗНАЧЕНИЕ ВЕТВИ В ТОПОЛОГИЧЕСКИХ МОДЕЛЯХ	ПОЯСНЕНИЕ
1.	2		Кондукция (теплопроводность)
2.	16		Излучение
3.	11		Контактный теплообмен
4.	51		Вынужденная конвекция, обдув
5.	61		Конвекция в канал
6.	71		Тепломассоперенос
7.	111		Источник с заданной температурой, °С
8.	101		Источник с заданной мощностью, Вт

В соответствии с этими допущениями была построена МТП теплового процесса датчика. Наименования узлов МТП приведены в табл. 5.4.3, МТП датчика, созданная в графическом интерфейсе АСОНИКА-Т, представлена на рис. 5.4.5, 5.4.6.

Таблица 5.4.3

Узлы МТП датчика

№ узла	Имя узла	№ узла	Имя узла
1	Окружающая среда	5	Теплоизоляция
2	Корпус датчика низ	6	Воздух под экраном
3	Печатный узел датчика	7	Воздух под корпусом датчика
4	Корпус датчика верх	8	Экран

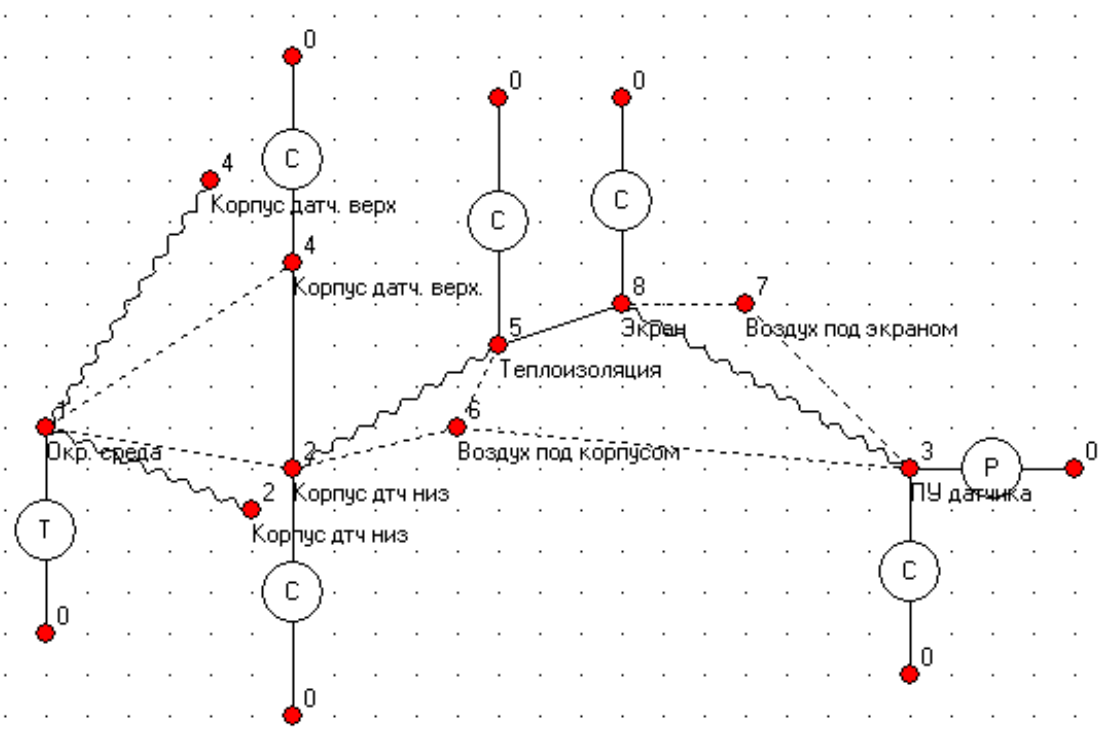


Рис. 5.4.5. МТП датчика

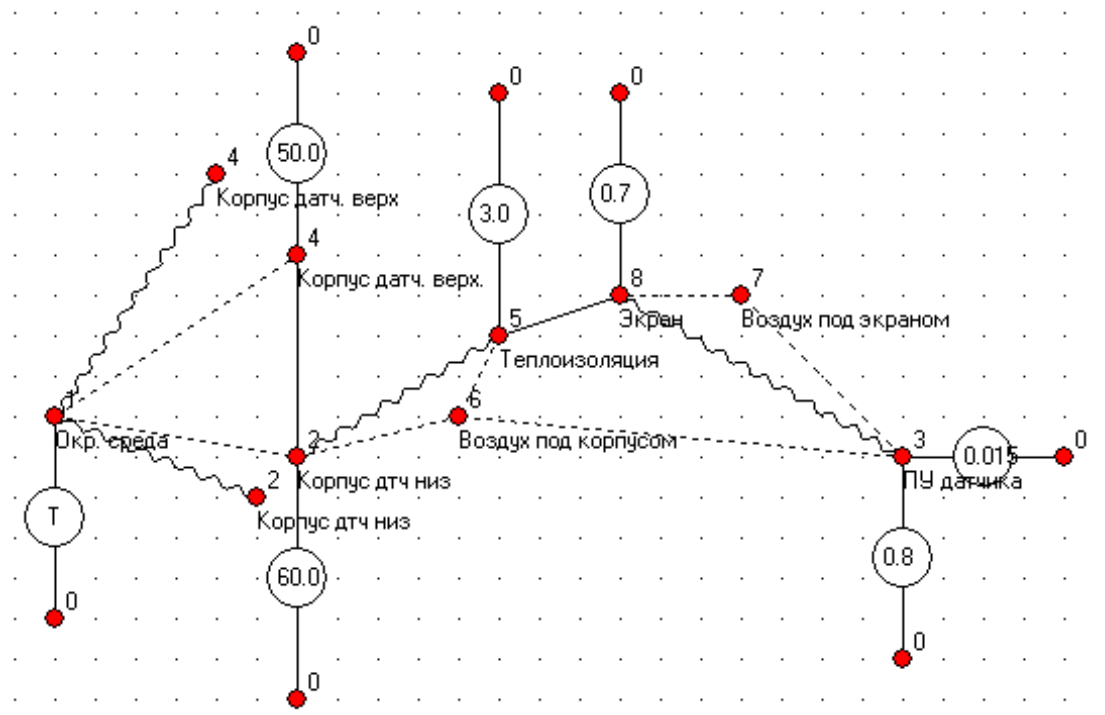


Рис. 5.4.6. МТП датчика с некоторыми нанесенными параметрами

Параметры МТП датчика представлены в виде файла исходных данных для расчета в АСОНИКА-Т:

```
Модель датчика двухузловая
ТИПК=01
ТИПР=03
 ФПЧ=00
ТЕСТ=10
 8 - количество узлов модели
"1112223331111111122222222333333334444444455555555666666667777777788888888
   2  0121    60.0
   1  2 16    25.0   157.0     0.8     1.0
   1  2 26    25.0   157.0    25.0     1.0   760.0
   1  0112     1.0
   3  0101   0.015
   3  0121     0.8
   2  4  4    25.0    24.0    25.0    20.0
   4  0121    50.0
   5  0121     3.0
   5  6 26    20.0    52.0    20.0     1.0   760.0
   5  8  2    20.0    52.0     2.0    0.06
   8  0121     0.7
   1  4 26    25.0   157.0    25.0     1.0   760.0
   1  4 16    25.0   157.0     0.8      1.
   3  7 26    20.0    20.0    20.0     1.3   760.0
   7  8 26    14.0    42.0    14.0     1.0   760.0
   3  8 16    20.0    20.0     0.8     0.8
   6  2 26    25.0   157.0    25.0     1.0   760.0
   5  2 16    20.0    52.0     0.8     0.8
   3  6 26    20.0    20.0    20.0      .8   760.0
*
TAB.01
 +0.000E+00:+1.200E+02
 +2.500E+02:+1.830E+02
 +5.500E+02:+1.830E+02
 +5.750E+02:+1.200E+02
 +2.000E+03:+1.200E+02
E

*
Начальное время работы  0.0
Конечное время работы   1200.0
Точность интегрирования 0.1
Минимальный шаг         0.5
Максимальный шаг        2.0
Начальная температура   120.0
```

В результате моделирования тепловых процессов получены графики зависимости температуры узлов МТП от времени. Рассчитаем тепловой режим на отрезке от 0 до 2000 секунд (при том, что собственно воздействие идет в сумме не более 600 секунд) (см. рис. 5.4.7).

Из графика понятно, что уже за 1200 секунд будут достигнуты максимальные температуры. Поэтому далее можно рассматривать результаты на отрезке до 1200 секунд. Для ясности будем выводить результаты только для наиболее значимых элементов (узлов МТП) конструкции. Например, на рис. 5.4.8 представлены результаты для окружающей среды (собственно воздействия) нижней части корпуса датчика и собственно ПУ датчика.

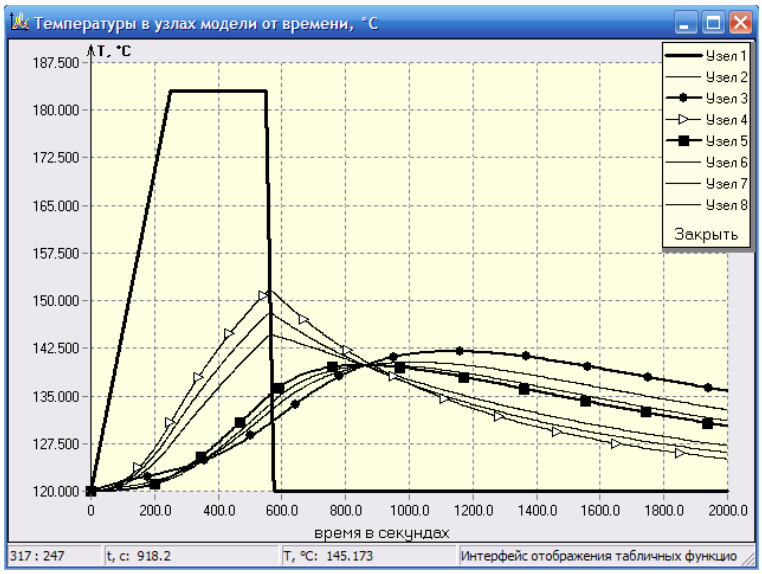


Рис. 5.4.7. Результат расчета теплового режима всех восьми узлов МТП датчика при тепловом воздействии

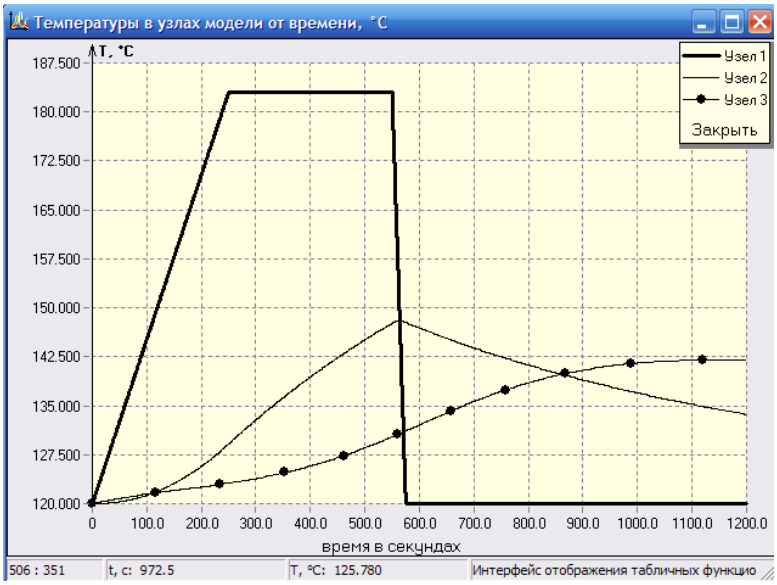


Рис. 5.4.8.Результат расчета теплового режима датчика для окружающей среды, корпуса, ПУ датчика

Выводы.

При данных параметрах датчик не успеет разогреться до температуры 183 градуса при данной степени детализации процесса нагрева.

Максимум температуры корпуса датчика (узел 2) (менее 150 градусов) совпадает со временем теплового воздействия, а максимум температуры ПУ датчика (узел 3) (142 градуса) достигается позже в связи с инерционностью и его теплоизоляцией.

2. Исследование вариантов.

Увеличим теплоемкость тепловой изоляции с 3 Дж/К до 5 Дж/К и повторим расчет. Результаты моделирования представлены на рис. 5.4.9.

Температура корпуса датчика не изменилась, а температура ПУ датчика (узел 2), достигнутая на 1100-й секунде, уменьшилась на насколько градусов.

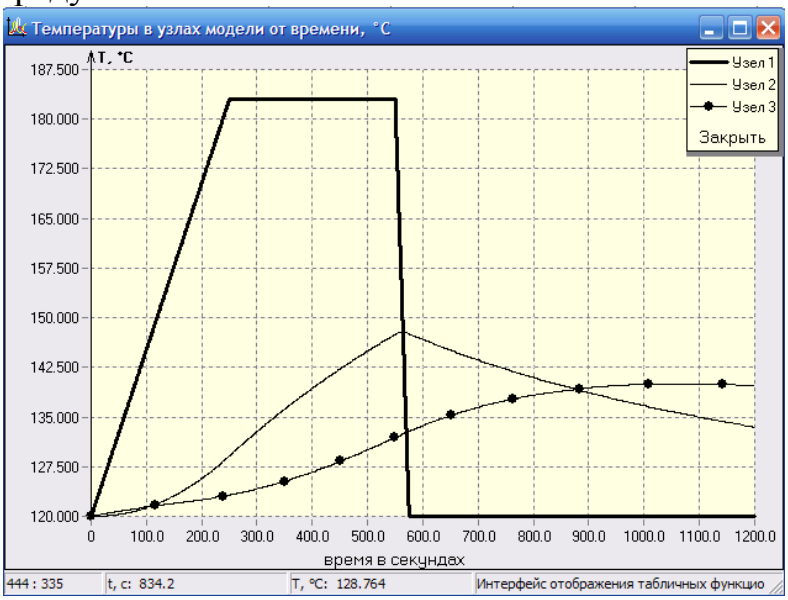


Рис. 5.4.9. Результат расчета теплового режима датчика для окружающей среды, корпуса, ПУ датчика с повышенной теплоемкостью

Уменьшим первоначальную толщину теплоизоляции с 2 мм до 1 мм и повторим расчет. Результаты моделирования представлены на рис. 5.4.10.

При теплоемкости 3 Дж/К максимальная температура корпуса не изменилась, температура ПУ датчика (узел 3 МТП) также не изменилась, но он стал быстрее остывать.

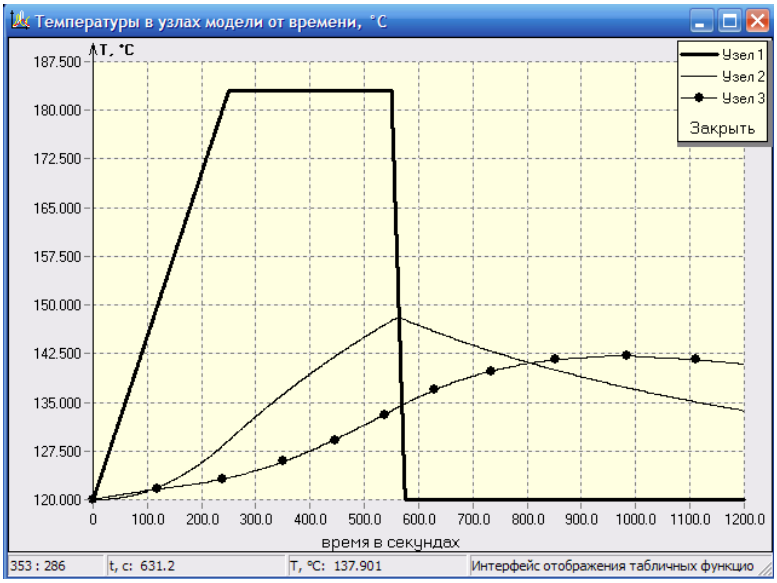


Рис. 5.4.10. Результат расчета теплового режима датчика для окружающей среды, корпуса, ПУ датчика с утонченной тепловой изоляцией

Увеличим теплоемкость ПУ датчика изоляции с 0,8 Дж/К до 3 Дж/К и повторим расчет. Результаты моделирования представлены на рис. 5.4.11.

При увеличении теплоемкости ПУ датчика с 0,8 до 3 Дж/К температура корпуса датчика не изменилась, а температура ПУ датчика (узел 3) на отрезке 1100 секунд оказалась на 7 градусов меньше, хотя в дальнейшем и немного повысилась, т.к. максимум вышел за отрезок времени 1200 секунд.

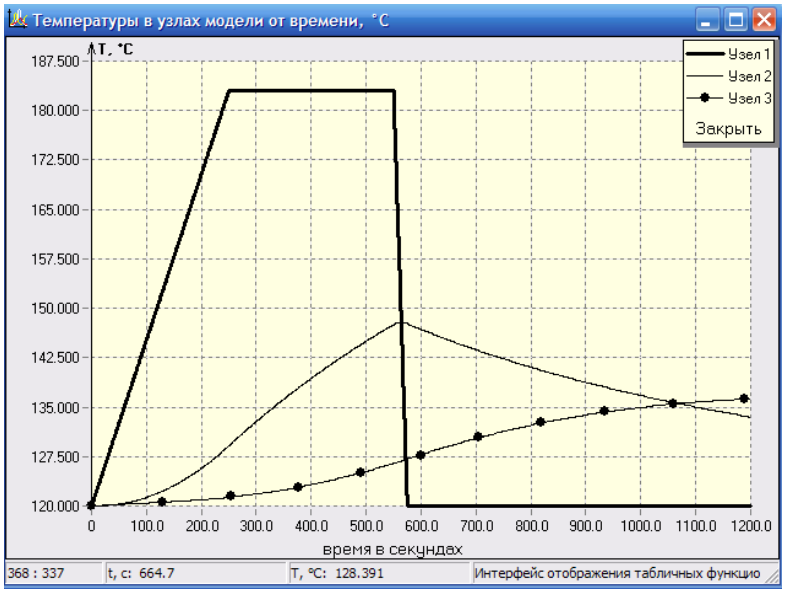


Рис. 5.4.11. Результат расчета теплового режима датчика для окружающей среды, корпуса, ПУ датчика с повышенной теплоемкостью ПУ

Выводы.

Увеличение теплоемкости тепловой изоляции действеннее, чем увеличение ее толщины. Но надо понимать, что в данном варианте мы смогли исследовать эти зависимости отдельно. В то же время в реальности они чаще взаимосвязаны, т.к. увеличение толщины теплоизоляции ведет к одновременному увеличению ее массы и, следовательно, теплоемкости.

С точки зрения теплового режима очень эффективно увеличивать теплоемкость ближе к ПУ датчика.

6. ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ РАСЧЕТЫ НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ (АСОНИКА-ЭМС)

6.1. Моделирование электромагнитных процессов в электронной аппаратуре

Задача расчета.

Провести с помощью АСОНИКА-ЭМС моделирование электромагнитных процессов. Получить параметры электрического и магнитного полей, а также оценить эффективность экранирования на разных частотах.

Данные для расчета:

Трехмерная модель (подготовленная) представлена на рис. 6.1.1.

Параметры модели: импортированная модель (формат STEP).

Материалы.

Деталь 1: Krishka1, материал: Д16Т ГОСТ4787-97.

Деталь 2: Krishka2, материал: Д16Т ГОСТ4787-97.

Деталь 3: Krishka3, материал: Д16Т ГОСТ4787-97.

Параметры источника возбуждения.

Формат задания векторов: декартовы координаты.

Вектор Eo (В/м): X = 3 × 104, 4 × 104, 5 × 104; Y = 3 × 104, 4 × 104, 5 × 104; Z = 0.

Вектор k: X = 0; Y = 0; Z = 1.

Позиция источника возбуждения, мм: X = 0; Y = 250; Z = 0.

Параметры решателя.

Частоты решения (МГц): 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900, 1000.

Порядок базисных функций: нулевого порядка.

Максимальное число итераций: 6.

Минимальное число итераций: 1.

Максимум ΔE: 0.1.

Минимум сошедшихся итераций: 1.

Максимальное увеличение количества элементов за итерацию: 30 %.

Настройки отображаемых результатов.

Интервал вертикальных интерполяционных плоскостей: 50 мм.

Интервал горизонтальных интерполяционных плоскостей: 50 мм.

Координаты датчика поля (X, Y, Z): 0 мм, 50 мм, 0 мм.

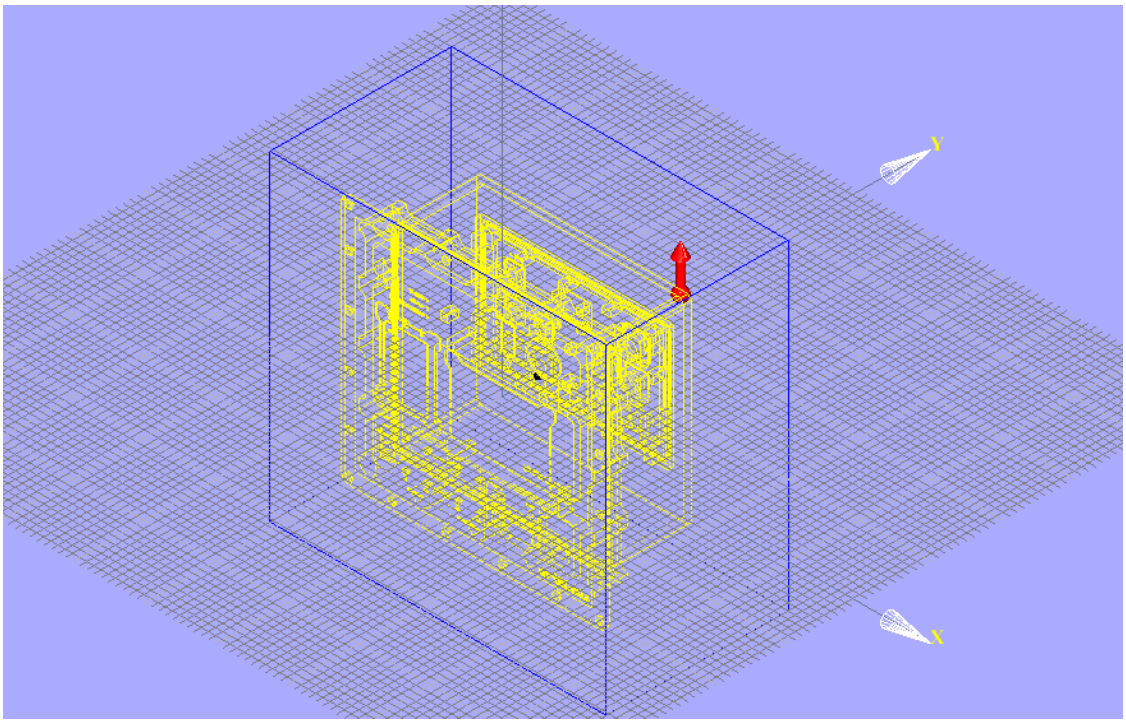


Рис. 6.1.1. Трехмерная модель конструкции

Результаты расчета.

Расположение секущих интерполяционных плоскостей для моделирования электрического поля представлено на рис. 6.1.2. Для моделирования магнитного поля расположение плоскостей аналогичное.

На рис. 6.1.3 и 6.1.4 представлены результаты моделирования электрического поля с параметрами: частота 200 МГц, Eo: X = 5 × 104 В/м; Y = 5 × 104 В/м.

На рис. 6.1.5 и 6.1.6 представлены результаты моделирования магнитного поля с параметрами: частота 200 МГц, Eo: X = 5 × 104 В/м; Y = 5 × 104 В/м.

Можно вывести аналогичные результаты с любыми другими заданными параметрами.

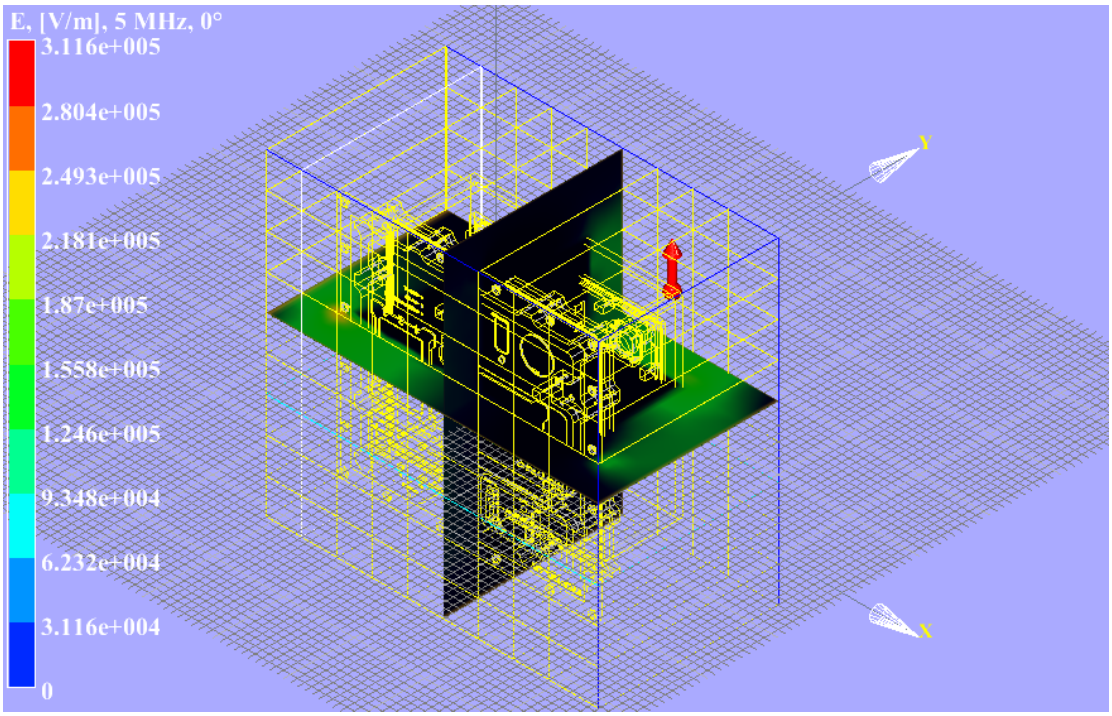


Рис. 6.1.2. Расположение секущих интерполяционных плоскостей для моделирования электрического поля

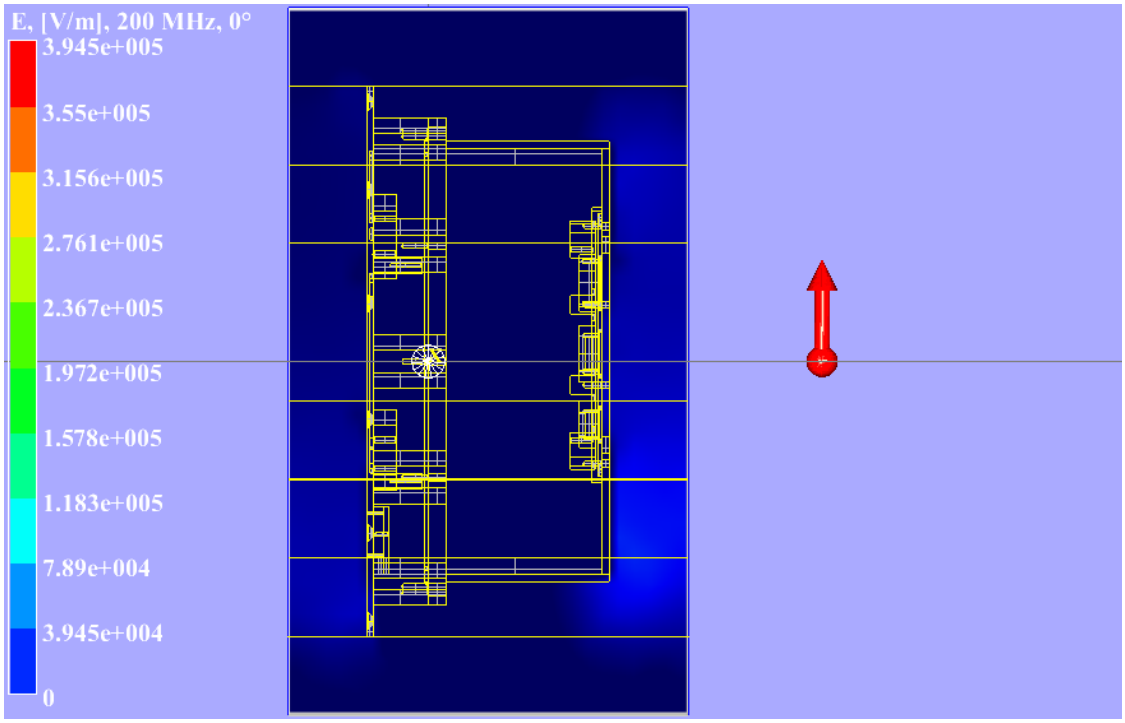


Рис. 6.1.3. Результаты моделирования электрического поля

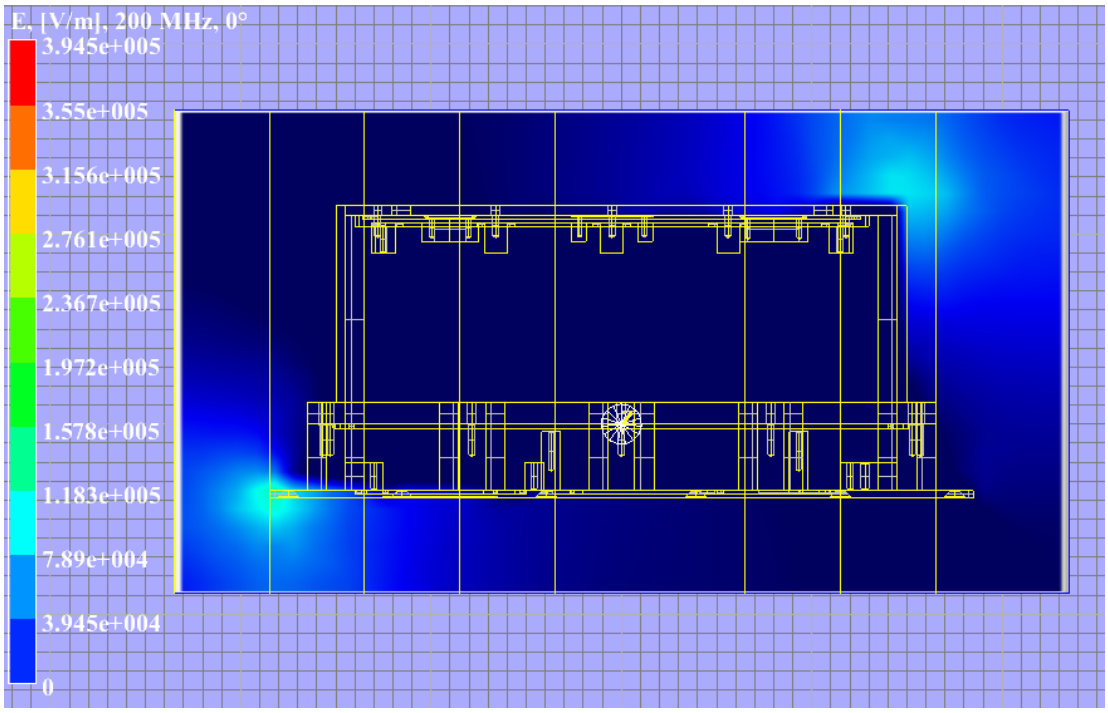


Рис. 6.1.4. Результаты моделирования электрического поля

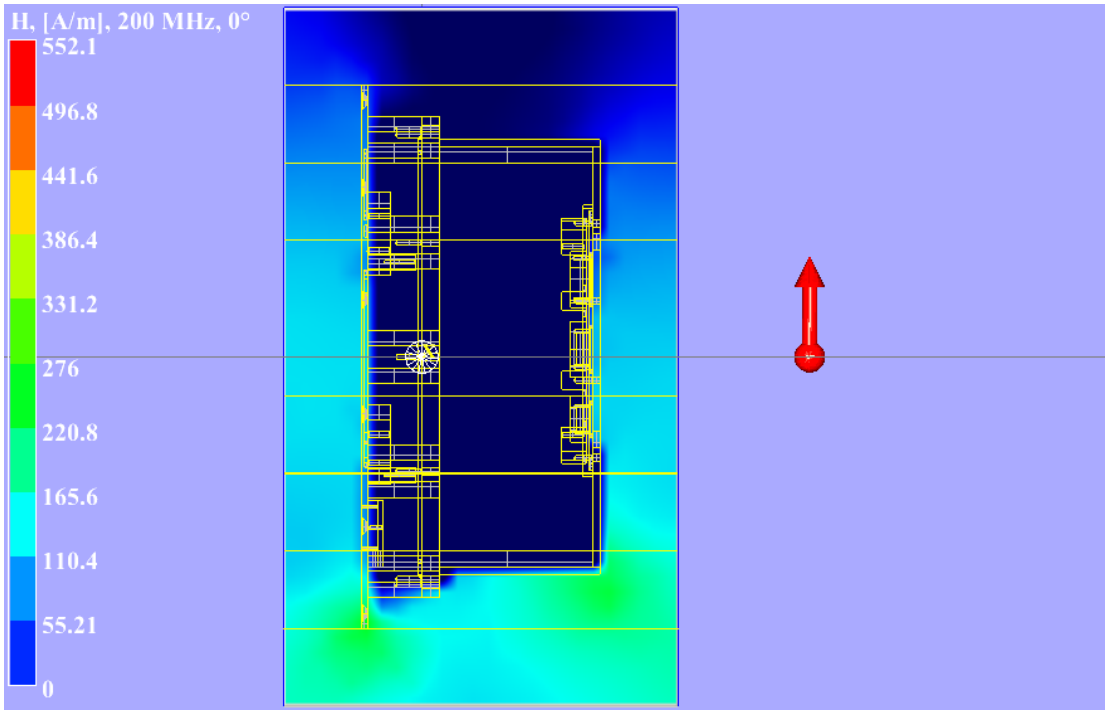


Рис. 6.1.5. Результаты моделирования магнитного поля

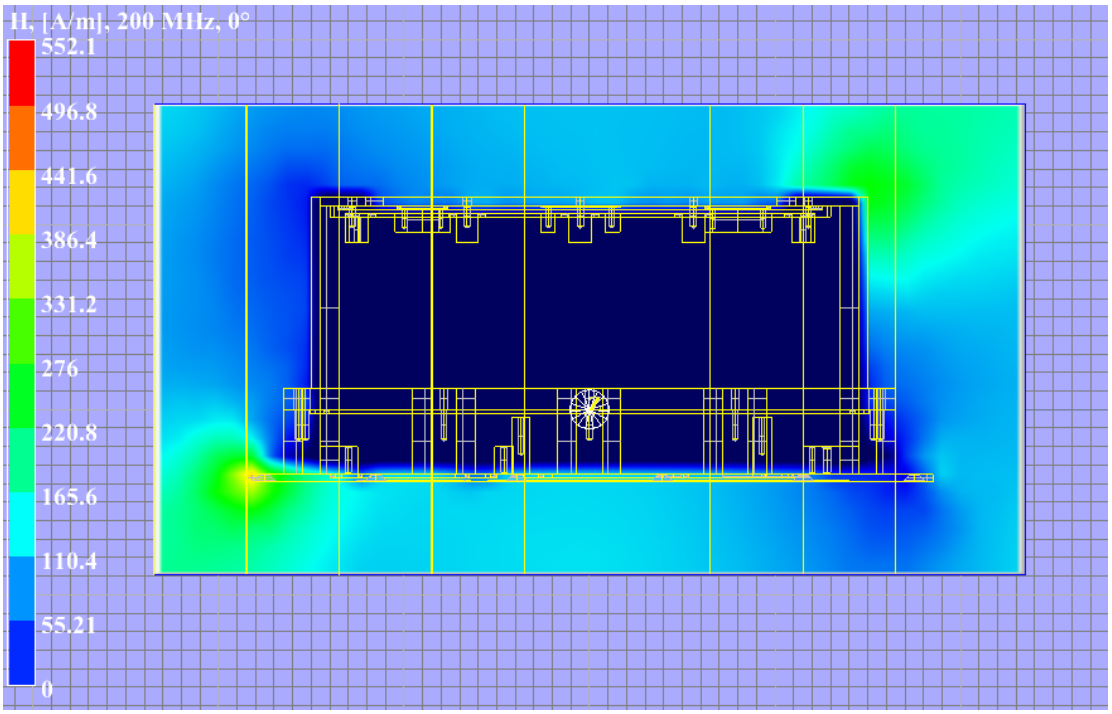


Рис. 6.1.6. Результаты моделирования магнитного поля

Оценка эффективность экранирования.

На рис. 6.1.7 – 6.1.9 представлены результаты оценки эффективности экранирования с параметрами: частота 5 МГц, Eo: X = 5 × 10^4 В/м; Y = 5 × 10^4 В/м.



Рис. 6.1.7. Результаты оценки эффективности экранирования

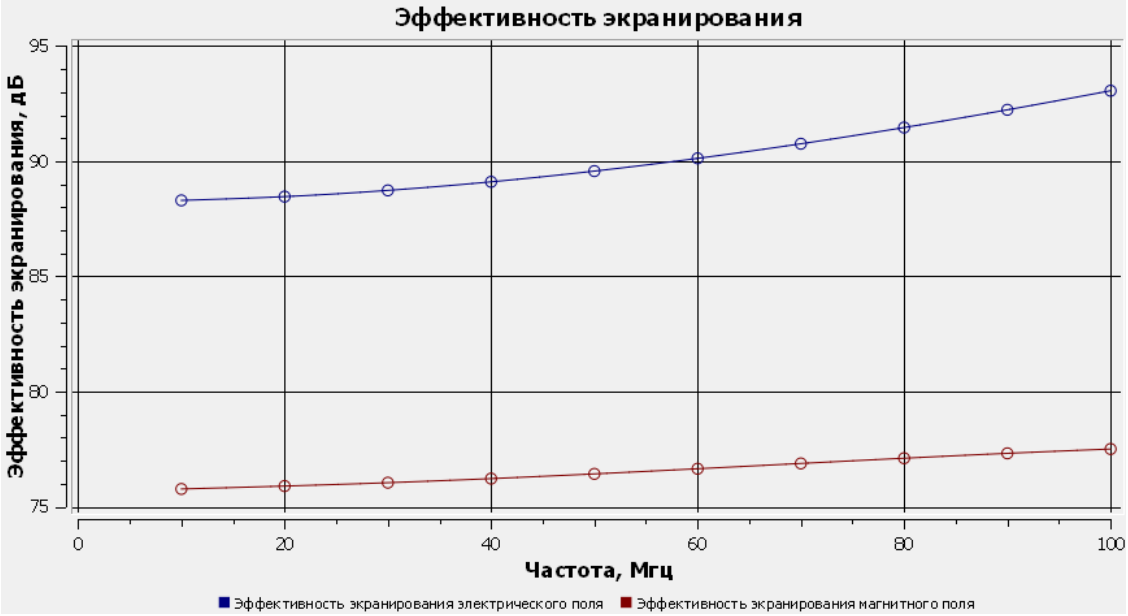


Рис. 6.1.8. Результаты оценки эффективности экранирования

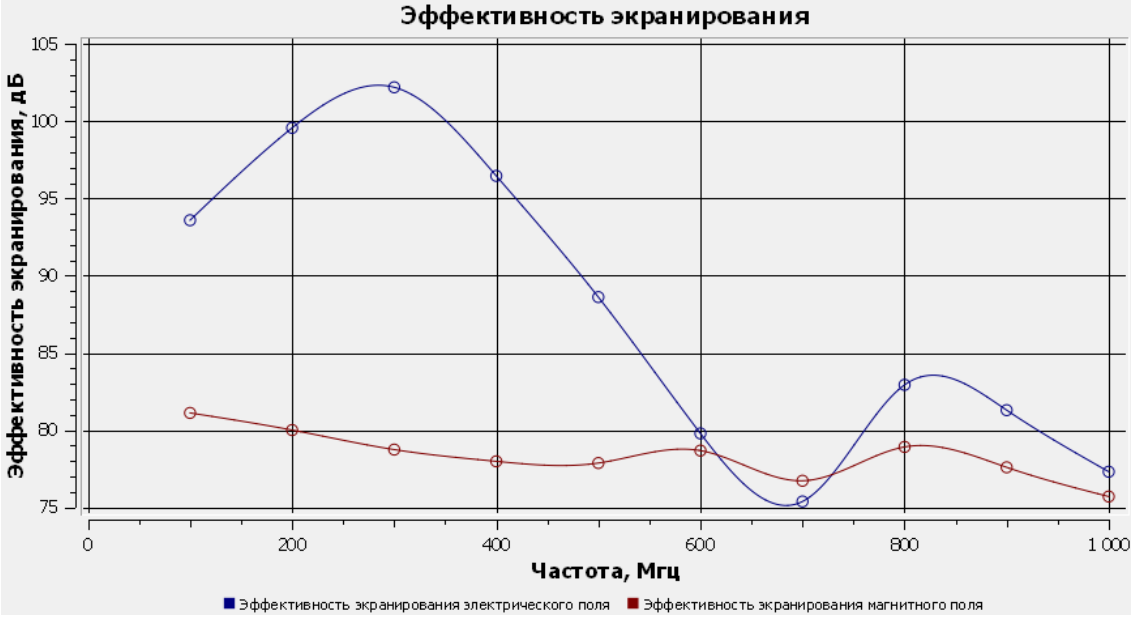


Рис. 6.1.9. Результаты оценки эффективности экранирования

Результаты моделирования электромагнитных процессов сведены в табл. 6.1.1, 6.1.2.

Таблица 6.1.1

Результаты моделирования

Частота, МГц	5	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Eo: X = $3 \cdot 10^4$ В/м; Y = $3 \cdot 10^4$ В/м											
ЭЭ эл., дБ	88.20	88.30	88.47	88.74	89.11	89.57	90.13	90.76	91.46	92.23	93.06
ЭЭ маг., дБ	75.48	75.77	75.90	76.05	76.22	76.43	76.65	76.88	77.11	77.32	77.51
Eo: X = $4 \cdot 10^4$ В/м; Y = $4 \cdot 10^4$ В/м											
ЭЭ эл., дБ	88.20	88.30	88.47	88.74	89.11	89.57	90.13	90.76	91.46	92.23	93.06
ЭЭ маг., дБ	75.48	75.77	75.90	76.05	76.22	76.43	76.65	76.88	77.11	77.32	77.51
Eo: X = $5 \cdot 10^4$ В/м; Y = $5 \cdot 10^4$ В/м											
ЭЭ эл., дБ	88.20	88.30	88.47	88.74	89.11	89.57	90.13	90.76	91.46	92.23	93.06
ЭЭ маг., дБ	75.48	75.77	75.90	76.05	76.22	76.43	76.65	76.88	77.11	77.32	77.51

Таблица 6.1.2

Результаты моделирования

Частота, МГц	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
Eo: X = $3 \cdot 10^4$ В/м; Y = $3 \cdot 10^4$ В/м										
ЭЭ эл., дБ	93.06	99.58	102.21	96.47	88.62	79.78	75.37	82.93	81.29	77.30
ЭЭ маг., дБ	77.51	80.00	78.74	77.98	77.86	78.67	76.72	78.91	77.59	75.69
Eo: X = $4 \cdot 10^4$ В/м; Y = $4 \cdot 10^4$ В/м										
ЭЭ эл., дБ	93.06	99.58	102.21	96.47	88.62	79.78	75.37	82.93	81.29	77.30
ЭЭ маг., дБ	77.51	80.00	78.74	77.98	77.86	78.67	76.72	78.91	77.59	75.69
Eo: X = $5 \cdot 10^4$ В/м; Y = $5 \cdot 10^4$ В/м										
ЭЭ эл., дБ	93.06	99.58	102.21	96.47	88.62	79.78	75.37	82.93	81.29	77.30
ЭЭ маг., дБ	77.51	80.00	78.74	77.98	77.86	78.67	76.72	78.91	77.59	75.69

7. СКВОЗНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ, ТЕПЛОВЫХ И МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК, АНАЛИЗ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ И ФОРМИРОВАНИЕ КАРТ РАБОЧИХ РЕЖИМОВ (АСОНИКА-УСТ, АСОНИКА-Б, АСОНИКА-Р, АСОНИКА-БД, АСОНИКА-УМ И ДР.)

7.1. Применение комплекса АСОНИКА при проектировании РЭА на несущих конструкциях первого, второго и третьего уровней

7.1.1. Описание рассчитываемых изделий

Описание конструкции стойки 18-02

Для выполнения расчетов была предоставлена 3D-модель стойки 18-02, выполненная в системе Pro/ENGINEER (см. рис. 7.1.1.1).

Стойка представляет собой прямоугольный металлический шкаф, в котором можно выделить 6 этажей, снизу вверх – первый, второй… шестой.

Первый этаж – пустой и тепловыделяющих блоков не содержит. На шестом этаже есть небольшой тепловыделяющий блок. Один тепловыделяющий блок есть и на пятом этаже. Между вторым-третьим, третьим-четвертым этажами есть сетки. Сзади шкафа вдоль всей стойки идет короб для кабелей.

Высота каждого этажа 235 мм, кроме первого этажа (255 мм).

На объекте, в котором размещается стойка, имеется система кондиционирования и сверху к стойке подходит поток 1000 $м^3$/ч или со скоростью 2 м/с.

Стойка имеет размеры 1435 × 660 × 540 мм.

На этажах стойки расположены блоки, в некоторых из которых установлены вентиляторы для продува их внутреннего объема. В стойке их 14 штук, все одного типа – 2ДВ0-0,7.60-367-4.

Представим поэтажную разбивку стойки для прояснения ее состава с первого (снизу) по шестой этаж (сверху) (см. рис. 7.1.1.2 – 7.1.1.13).

Распределение мощностей по этажам представлено в табл. 7.1.1.1.

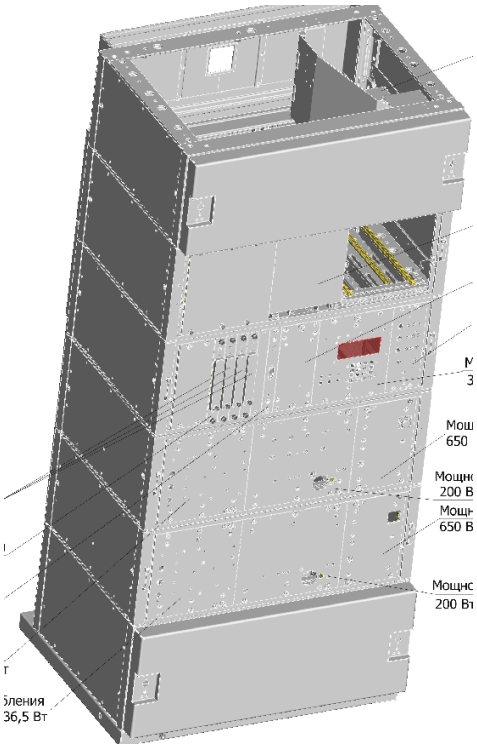


Рис. 7.1.1.1. Стойка

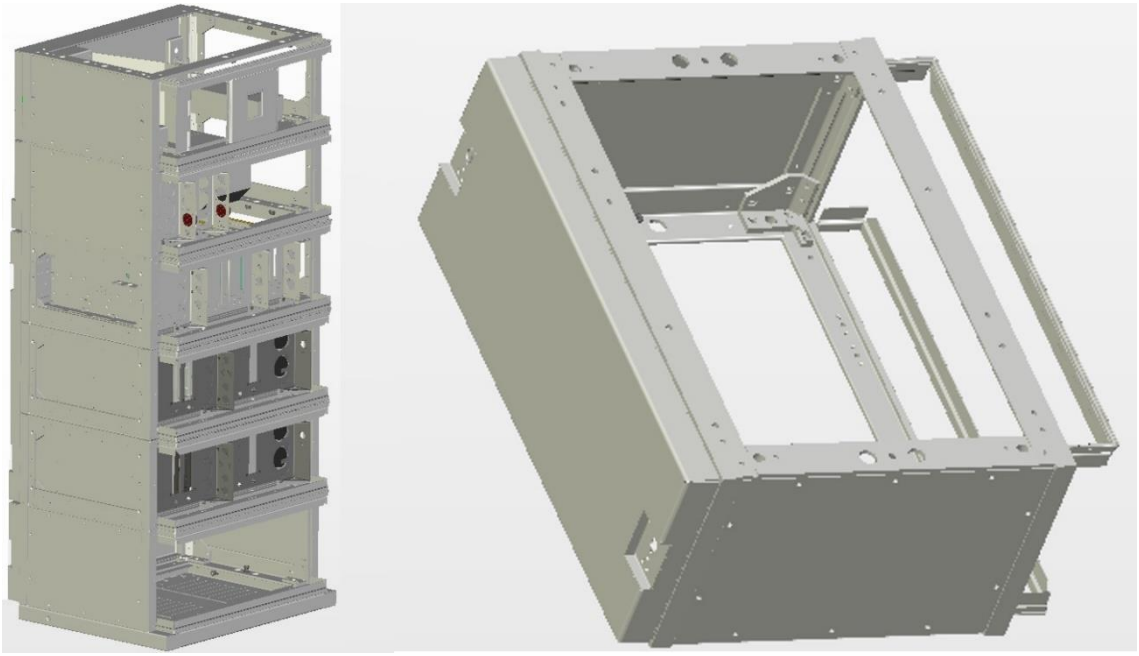


Рис. 7.1.1.2. Вид стойки сзади со снятой крышкой и вид первого этажа. Этажи считаются снизу с первого по шестой

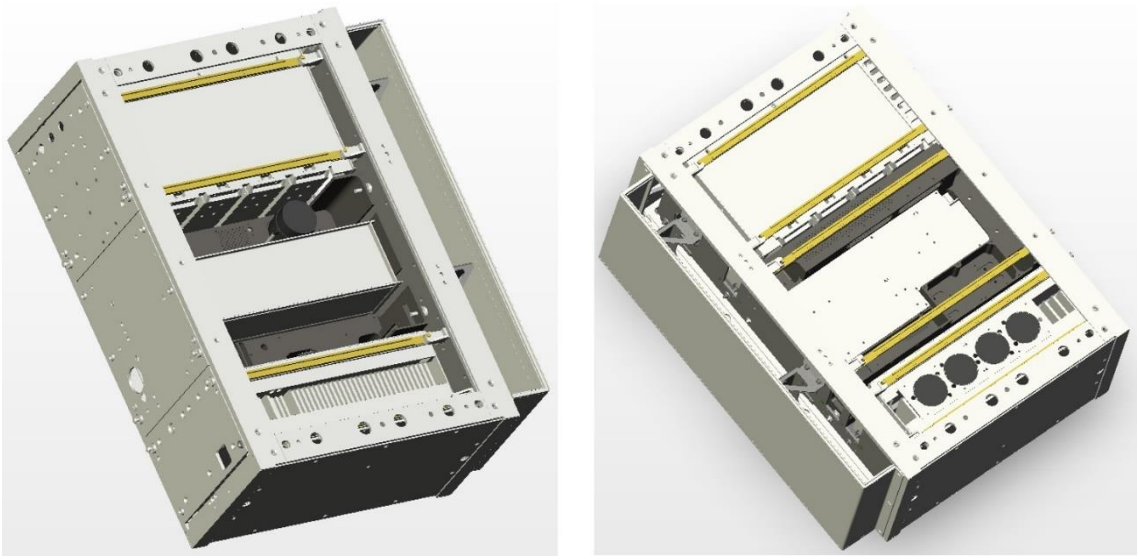


Рис. 7.1.1.3. Второй этаж (ячейка 14-01) вид сверху (ИВЭП-2, ячейки 17-03, 21-03) и вид снизу

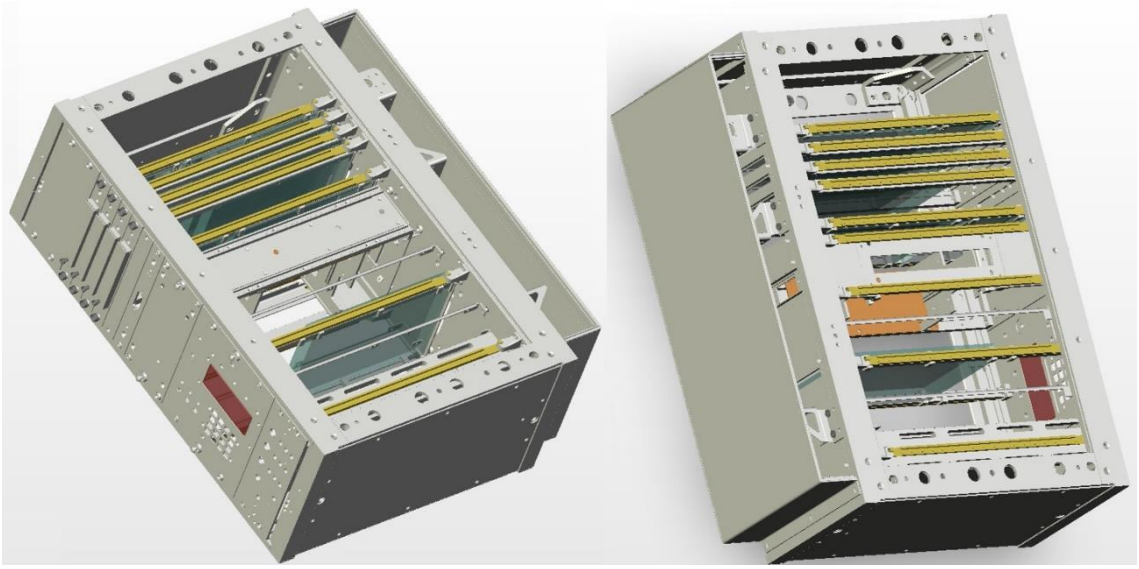


Рис. 7.1.1.4. Четвертый этаж ячейка 028 -02-УТ-11: виды сверху и снизу; состав: 2-13М, 3(1-11М), ячейка 43-2, устройство 92, ячейка 41-1, ИВЭП-12*

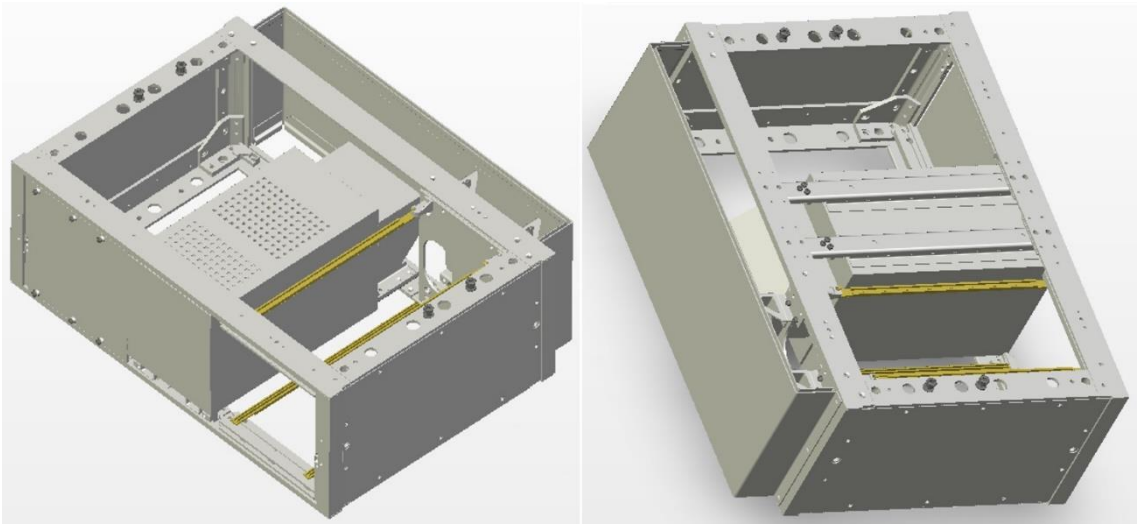


Рис. 7.1.1.5. Пятый этаж (каркас-37) с блоком 39-ГУПС: виды сверху и снизу

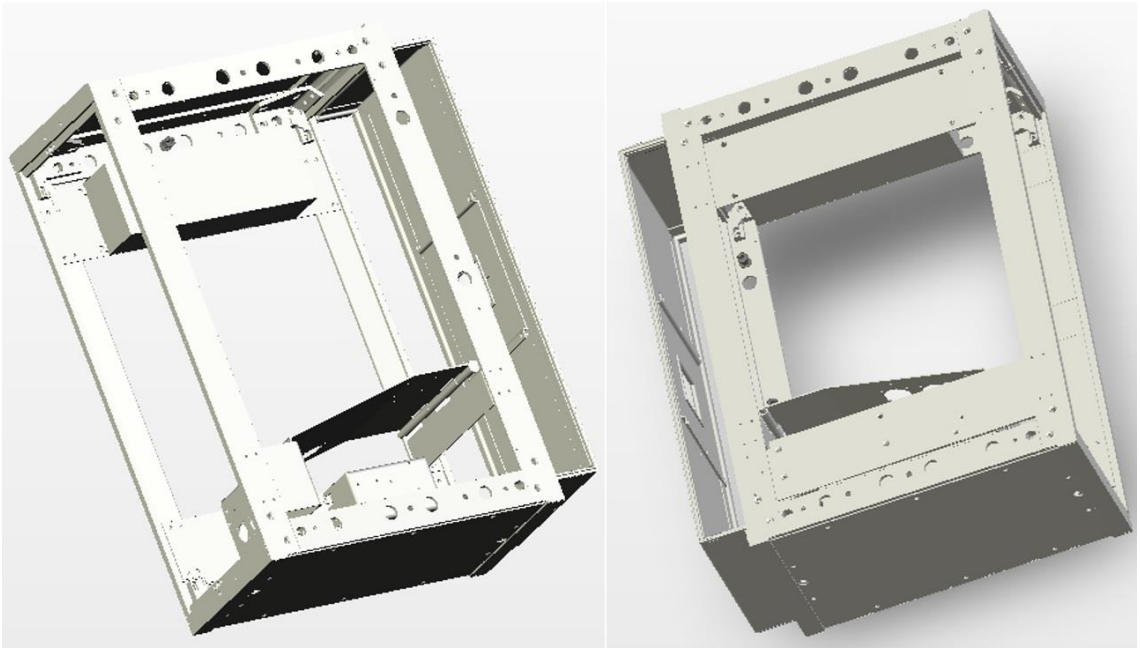


Рис. 7.1.1.6. Шестой (22-01) этаж: виды сверху и снизу, состав: 013, 003, фильтр

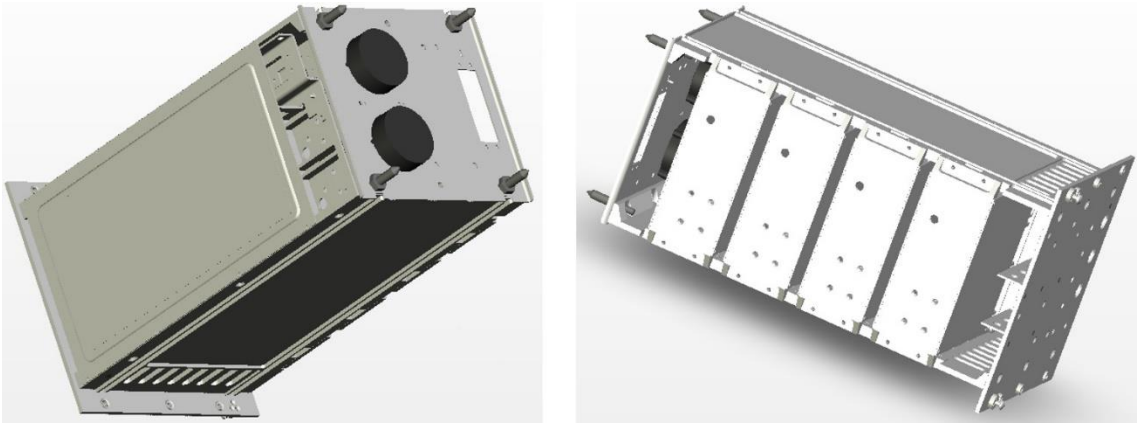


Рис. 7.1.1.7. Левый блок ИВЭП-2 второго этажа (и ИВЭП-2 третьего этажа): виды слева и справа



Рис. 7.1.1.8. Средний блок 17-03 второго этажа (и 18-03 третьего этажа): виды сверху и снизу

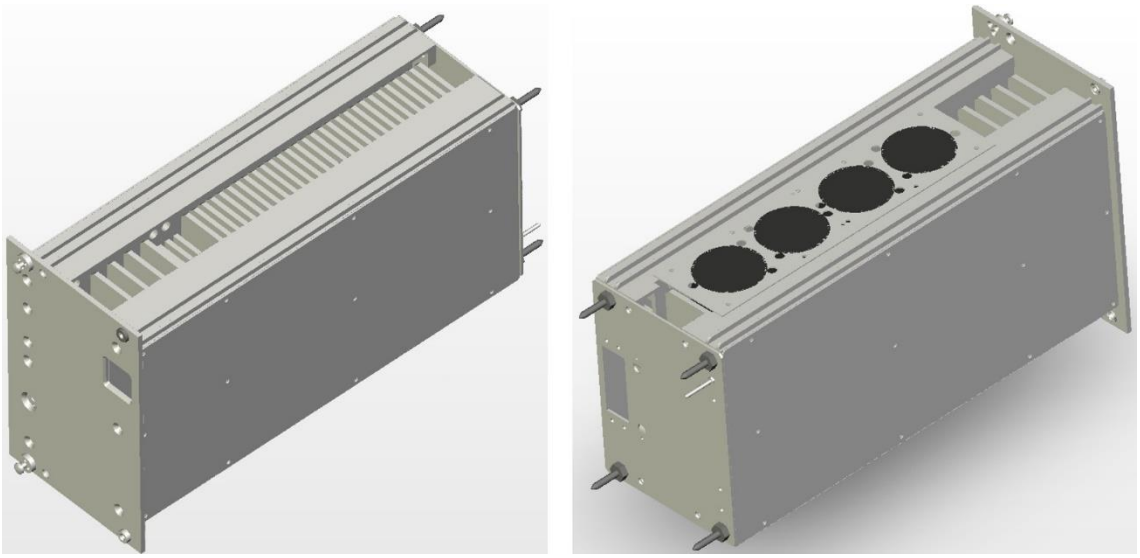


Рис. 7.1.1.9. Правый блок 21-03 второго этажа (и 22-03 третьего этажа): виды сверху и снизу

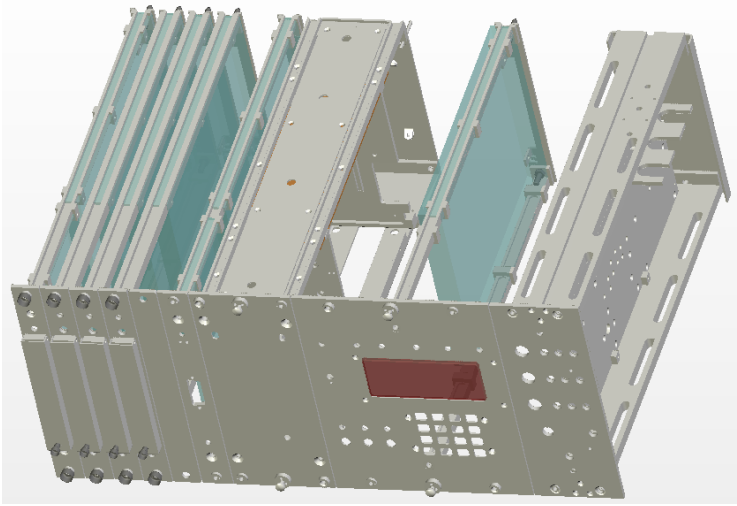


Рис. 7.1.1.10. Подробный состав блоков 4 этажа (рама убрана). Состав: 2-13М, 3 × (1-11М), ячейка 43-2, устройство 92, ячейка 41-1, ИВЭП-12

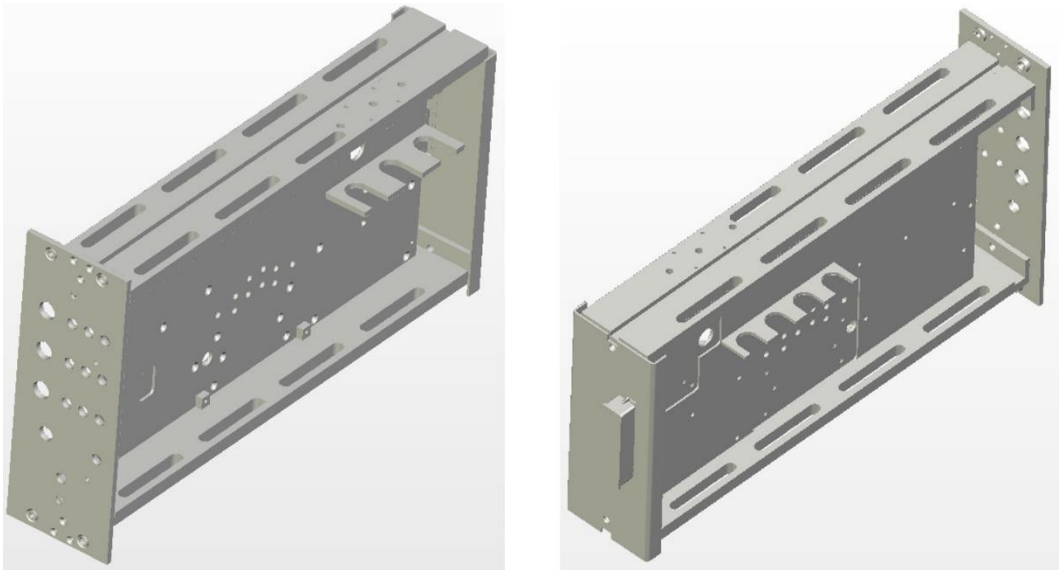


Рис. 7.1.1.11. Правый блок (ИВЭП-12) четвертого этажа: виды сверху и снизу

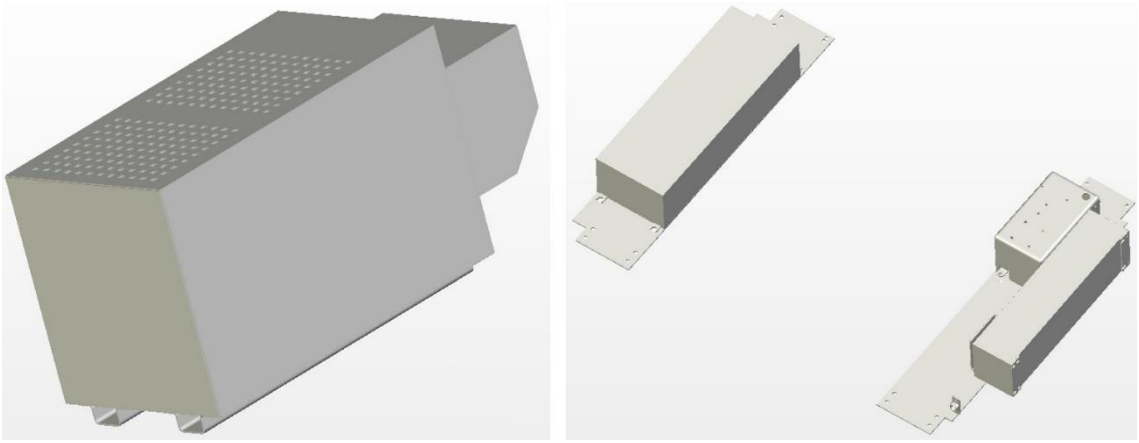


Рис. 7.1.1.12. Центральный блок 39-ГУПС пятого этажа и блоки шестого (22-01) этажа: 013, 003, фильтр

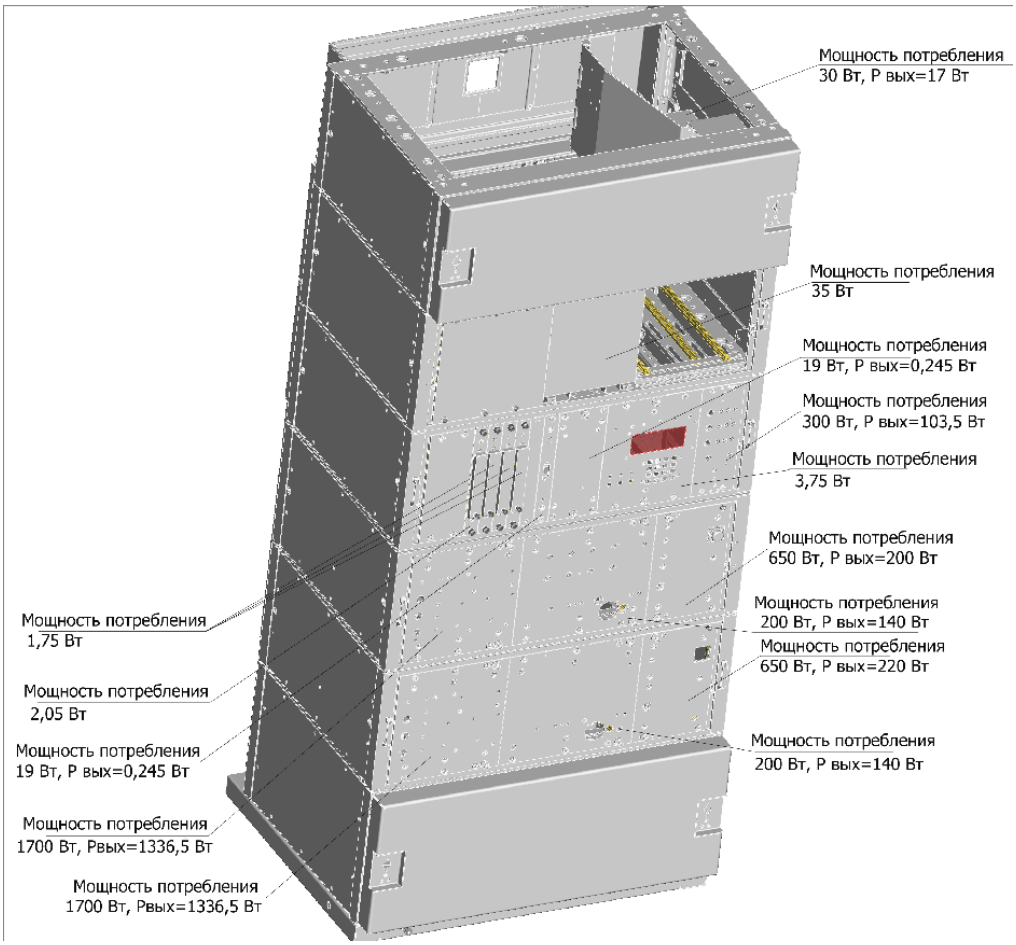


Рис. 7.1.1.13. Мощности тепловыделения по этажам стойки

Таблица. 7.1.1.1

Распределение мощностей по этажам

	Потреб., Вт	Выходн., Вт	Тепловая, Вт	Кол., шт.	Итого, Вт
6-й этаж					13
	30	17	13	1	13
5-й этаж					35
	35	0	35	1	35
4-й этаж					245,06
	1,75	0	1,75	3	5,25
	2,05	0	2,05	1	2,05
	19	0,245	18,755	2	37,51
	3,75	0	3,75	1	3,75
	300	103,5	196,5	1	196,5
3-й этаж					853,5
	1700	1336,5	363,5	1	363,5
	200	140	60	1	60
	650	220	430	1	430
2-й этаж					853,5
	1700	1336,5	363,5	1	363,5
	200	140	60	1	60
	650	220	430	1	430
1-й этаж					

Описание конструкции блока ШС10-Е.

Для выполнения расчетов была предоставлена 3D-модель блока ШС10-Е, выполненная в системе Pro/ENGINEER, и дополнительная конструкторская документация. Представим конструкцию блока для прояснения состава (см. рис. 7.1.1.14 – 7.1.1.18).

Распределение мощностей представлено в табл. 7.1.1.2.

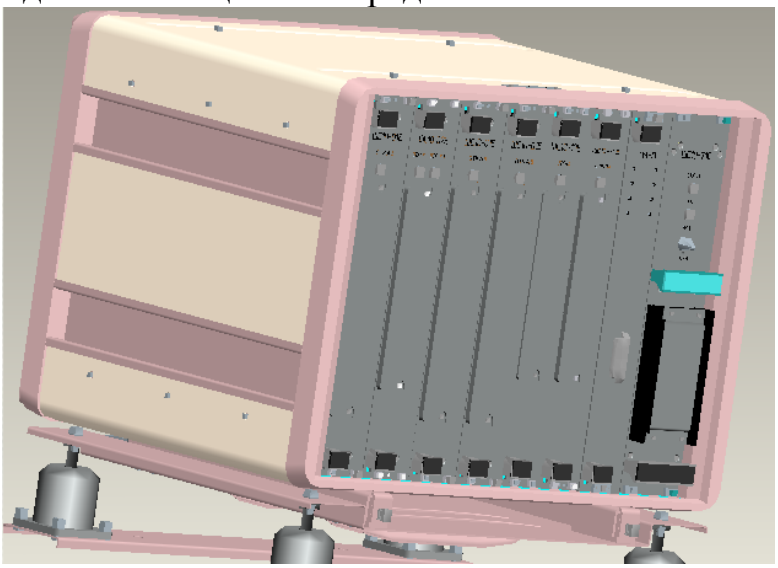


Рис. 7.1.1.14. Блок ШС10-Е

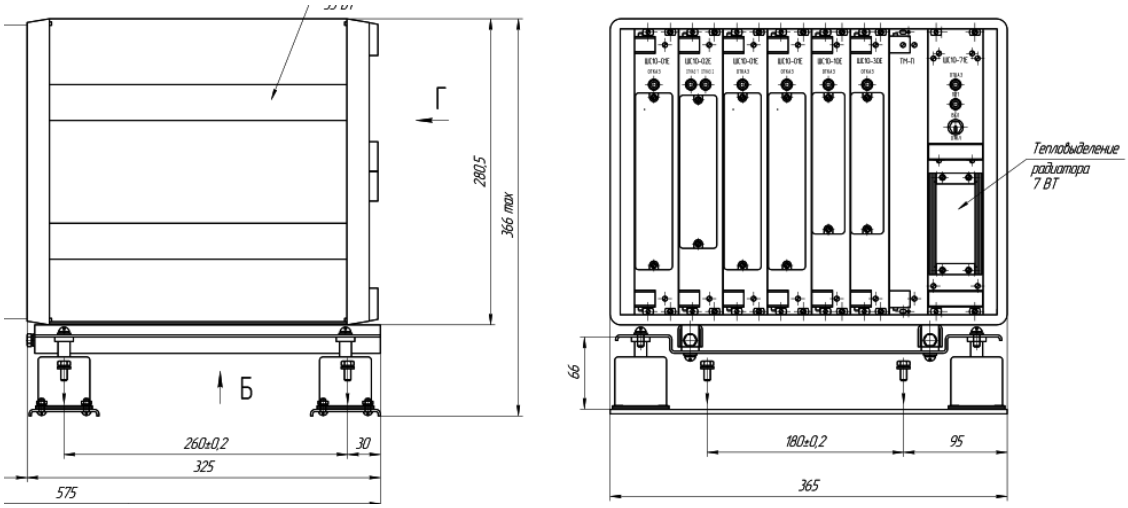


Рис. 7.1.1.15. Блок ШС10-Е

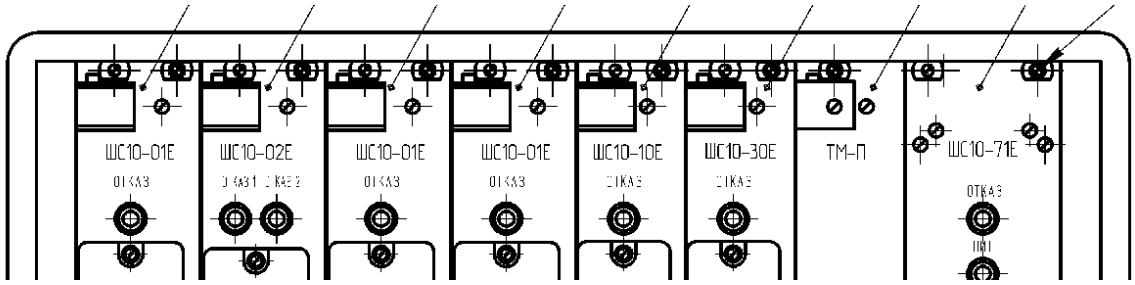


Рис. 7.1.1.16. Блок ШС10-Е. Расположение модулей

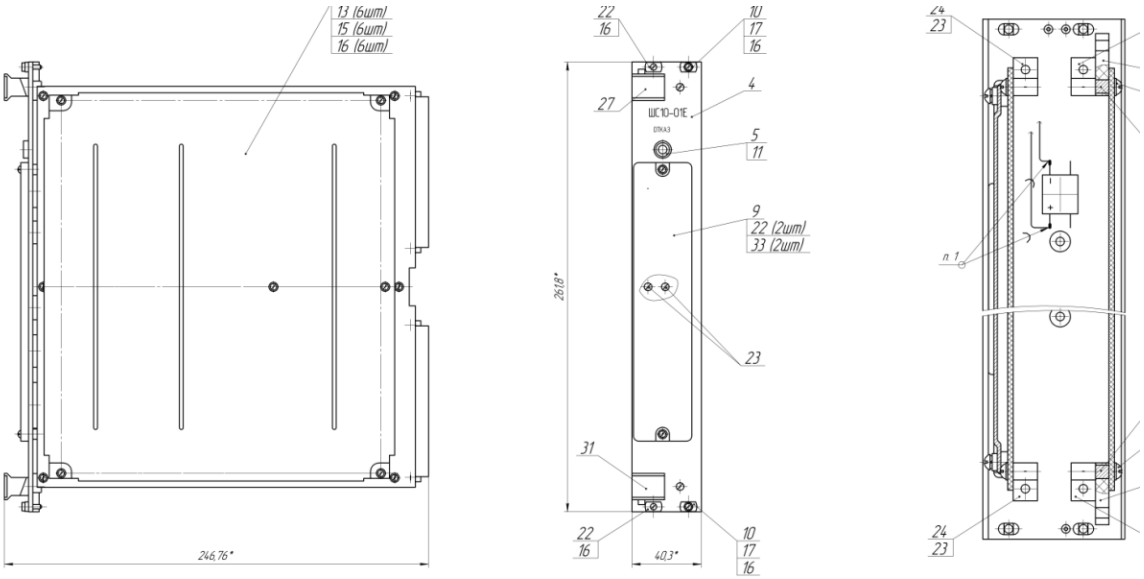


Рис. 7.1.1.17. Модуль ШС10-01Е

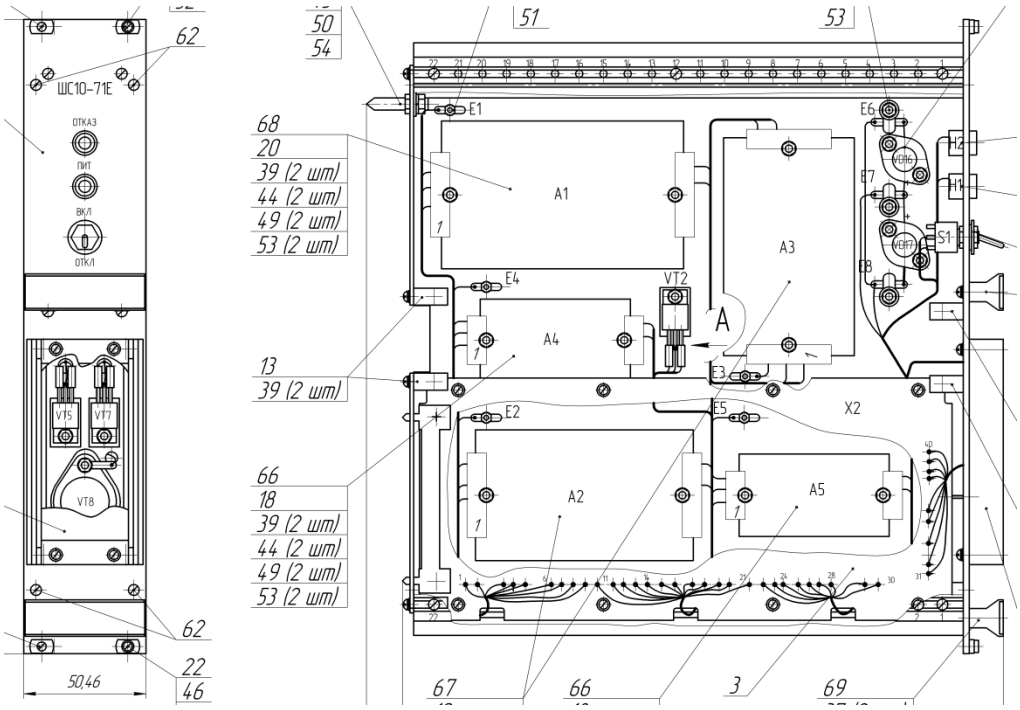


Рис. 7.1.1.18. Модуль ШС10-71

Таблица 7.1.1.2

Расчет мощностей тепловыделения в модулях ШС10-Е

Название	Напр., В	Ток, мА	Мощность, Вт	Кол-во, шт.	Мощность, Вт
ШС10-01			12,27	3	36,81
	5	750	3,75		
	15	230	3,45		
	15	230	3,45		
	27	60	1,62		
ШС10-02			18,85	1	18,85

	15	400	6		
	15	400	6		
	5	20	0,1		
	27	250	6,75		
ШС10-10			2,8	1	2,8
	5	500	2,5		
	15	20	0,3		
ШС10-30			3,1	1	3,1
	5	500	2,5		
	15	20	0,3		
	15	20	0,3		
ТМ-П	27	450	12,15	1	12,15
ШС10-71	27	3000	81	1	81
ШС-10					154,71

7.1.2. Разработка и сопровождение виртуального проекта в АСОНИКА-УМ

В АСОНИКА-УМ (управление моделированием) в категории «Изделия концерна» создана стойка 18-02 (см. рис. 7.1.2.1).

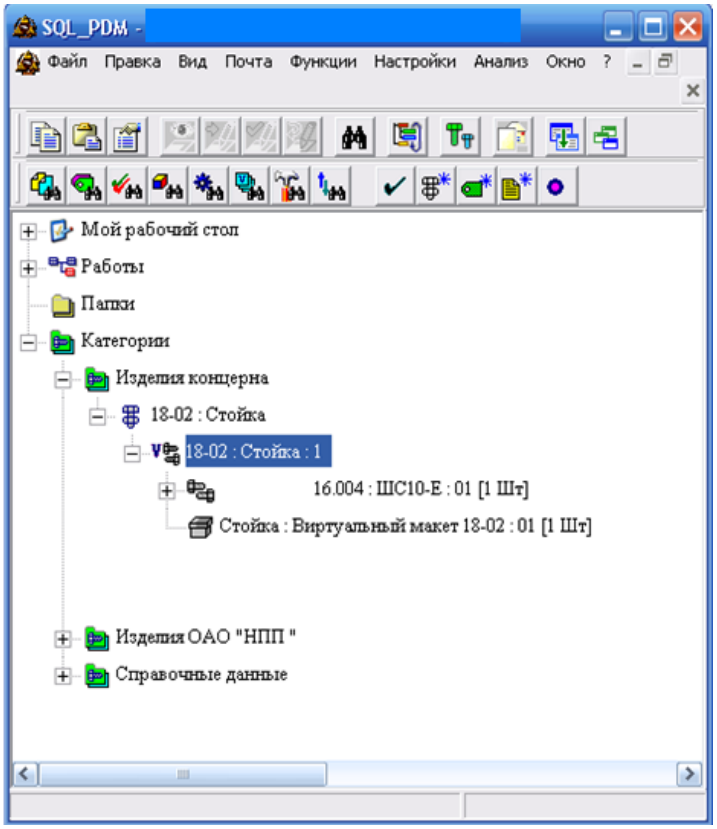


Рис. 7.1.2.1. Стойка 18-02 с входящим в него изделием ШС10-Е в АСОНИКА-УМ

Основное дерево изделия состоит из 8 электронных модулей и прочих изделий, входящих в блок. К изделию прикреплена техническая документация, 3D-модель и виртуальный макет с результатами моделирования физических процессов (см. рис. 7.1.2.2).

В стойку 18-02 входит блок ШС10-Е, который содержит модули. К модулям прикреплены техническая документация и виртуальный макет с результатами моделирования физических процессов. Электрорадиоэлементы (ЭРЭ), входящие в печатные узлы модулей изделия, содержат справочные данные (см. рис. 7.1.2.3 – 7.1.2.5).

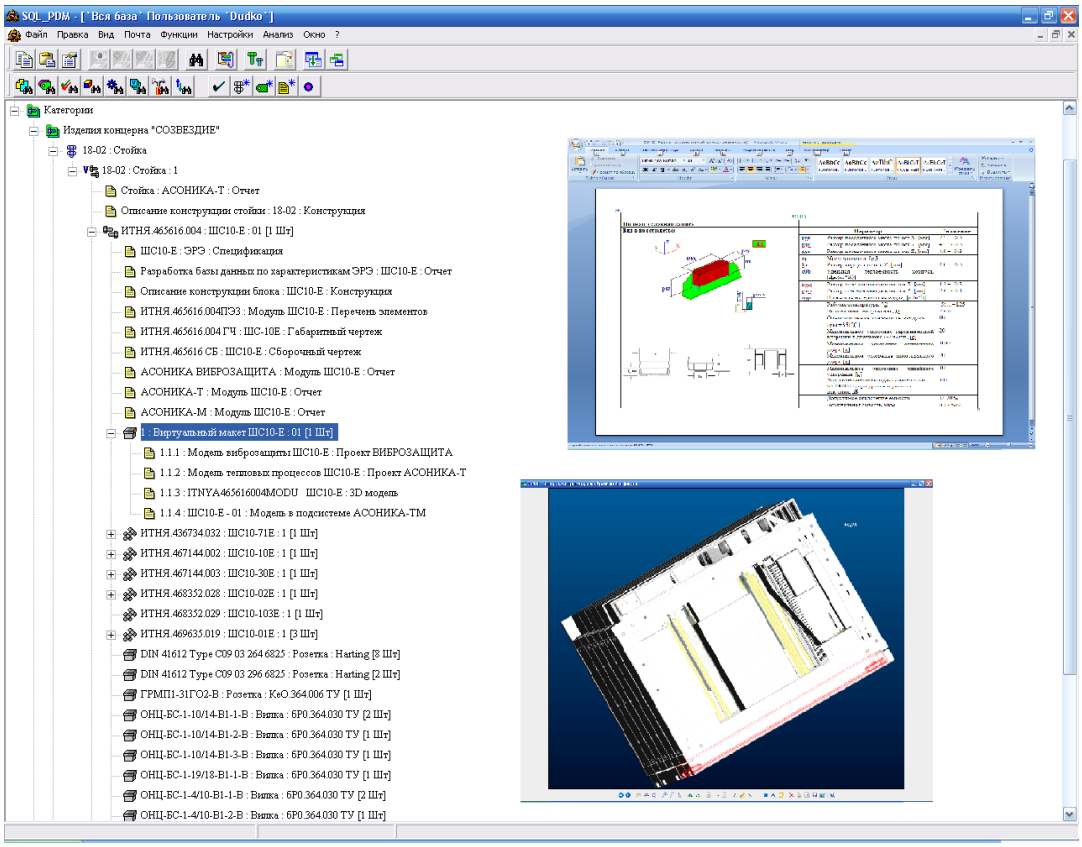


Рис. 7.1.2.2. Состав основного дерева изделия ШС10-Е

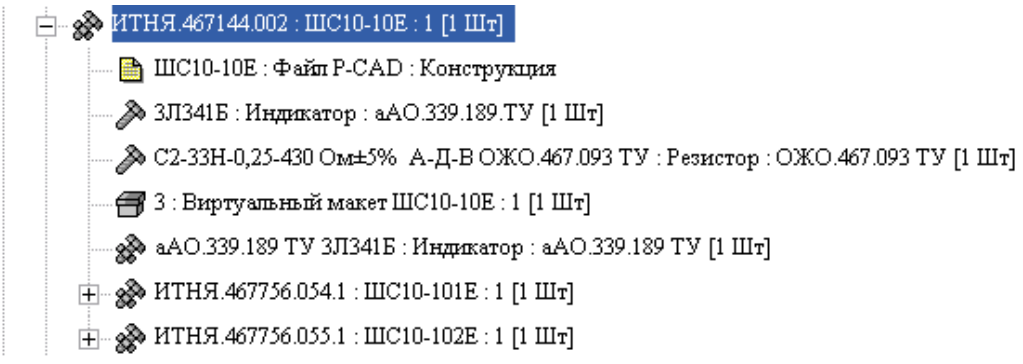


Рис. 7.1.2.3. Представление одного из модулей в АСОНИКА-УМ

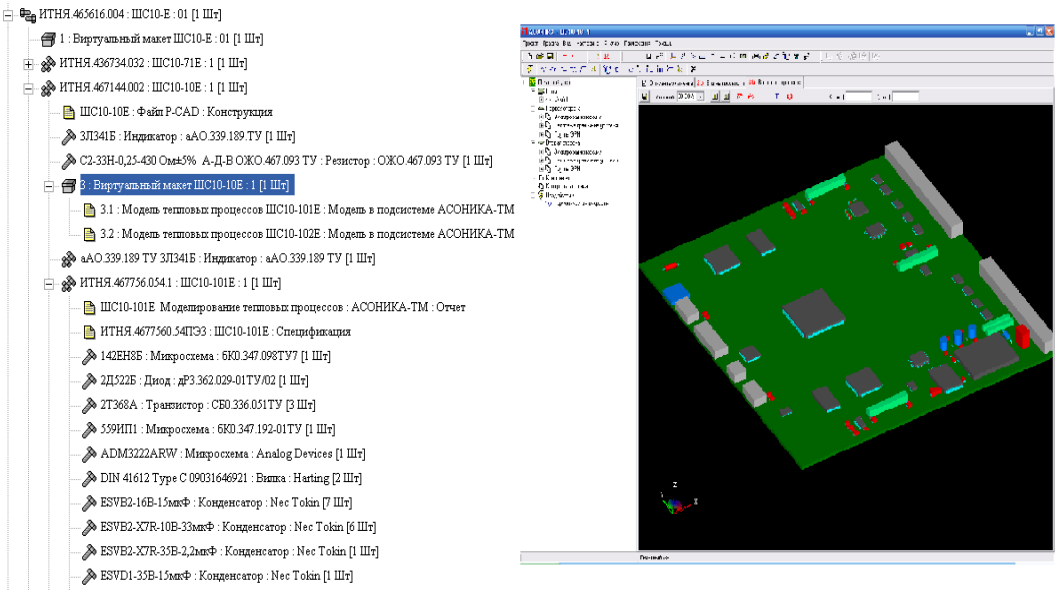


Рис. 7.1.2.4. Представление одного из печатных узлов модуля в АСОНИКА-УМ

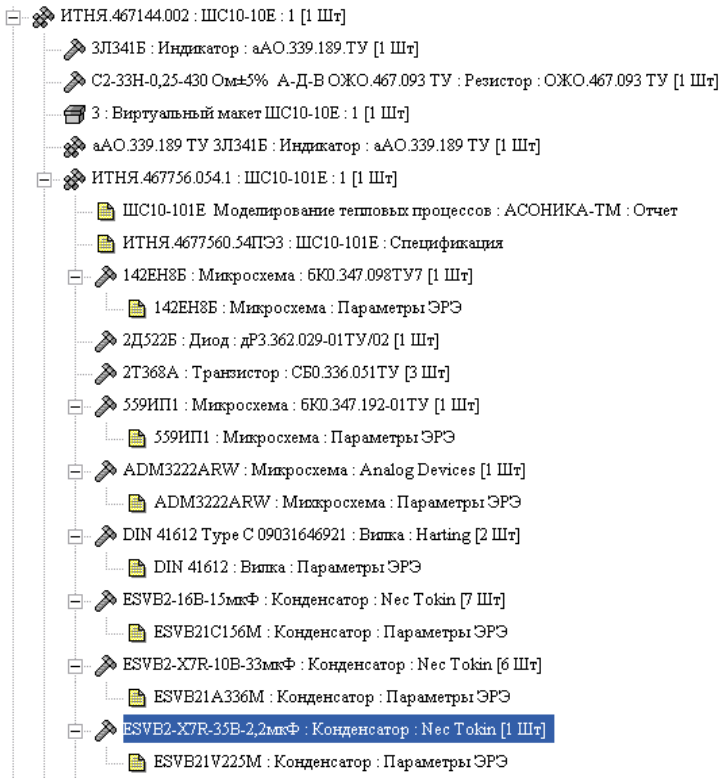


Рис. 7.1.2.5. Представление ЭРЭ печатных узлов модуля в АСОНИКА-УМ

7.1.3. Расчет теплового режима стойки 18-02

Задача расчета.

Для температуры +50 ºС провести расчет теплового режима стойки 18-02. Мощности тепловыделения заданы, режим нагрева - стационарный (постоянный). Охлаждение стойки снаружи

естественное, внутри вынужденное - продув воздухом с температурой 50 градусов и скоростью 2 м/с.

Результатом расчетов будут средние температуры блоков и самой стойки, а также температуры воздуха внутри стойки.

Данные для расчета.

3D-модель изделия, выполненная в системе Pro/ENGINEER.

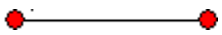
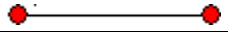
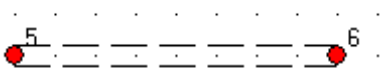
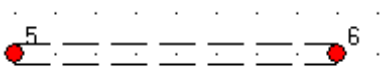
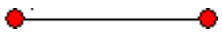
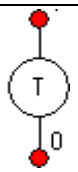
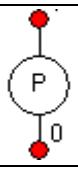
Для автоматизированного моделирования теплового режима стойки в данной работе используется АСОНИКА-Т, предназначенная для моделирования теплового режима конструкций произвольного вида.

Сначала строится модель теплового процесса (МТП), протекающего в стойке, в виде топологического графа. Узлы МТП моделируют элементы конструкции, воздушные объемы и пр., а ветви - виды теплообмена, присутствующие в конструкции источники тепловыделения и температуры. Затем МТП вводится в АСОНИКА-Т с помощью графического интерфейса и выполняется автоматизированный расчет.

В таблице 7.1.3.1 приводятся обозначения ветвей графа МТП (отражают различные типы тепловых проводимостей), которые будут использоваться в дальнейшем при изображении моделей тепловых процессов.

Таблица 7.1.3.1

Обозначение ветвей тепловых моделей

№ п/п	Тип ветви	Обозначение ветви в топологических моделях	Пояснение
1.	2		Кондукция (теплопроводность)
2.	16		Излучение
3.	11		Контактный теплообмен
4.	51		Вынужденная конвекция, обдув
5.	61		Конвекция в канал
6.	71		Тепломассоперенос
7.	111		Источник с заданной температурой, °С
8.	101		Источник с заданной мощностью, Вт

Вследствие сложности рассматриваемой конструкции применим иерархический подход построения МТП, причем иерархия МТП будет не между конструктивными уровнями стойка - ПУ, а внутри конструктивного уровня стойка. Т.е. на первом этапе строится простейшая МТП стойки (макромодель), а на следующих этапах МТП будет усложняться и уточняться.

Внутри стойки существует вынужденная конвекция. Для построения макромодели делаются следующие допущения:

корпус стойки изотермичен (т.е. имеет одинаковую температуру);

внутренние блоки изотермичны;

воздух внутри стойки изотермичен;

мощность тепловыделения равна суммарной мощности стойки.

Узлы МТП представляют следующее элементы:

узел 1 – окружающая среда;

узел 2 – корпус;

Узел 3 – модули;

Узел 4 – воздух входящий;

Узел 5 – воздух выходящий.

Скорость продуваемого воздуха 2 м/с, температура воздуха на входе 50 °С, температура окружающей среды 50 °С.

В результате построена макромодель стойки (см. рис. 7.1.3.1) и подготовлены исходные данные для расчета в подсистеме АСОНИКА-Т. По построенной МТП был произведен автоматизированный расчет и получены результаты расчета (см. табл. 7.1.3.2).

```
МТП СТОЙКА СОЗВЕЗДИЕ МАКРО
ТИПК=01
ТИПР=01
 ФПЧ=00
ТЕСТ=10
 5 - КОЛИЧЕСТВО УЗЛОВ МОДЕЛИ
"1112223331111111122222222333333334444444455555555666666667777777788888888
   4  0111    50.0
   1  0111    50.0
   3  0101  2000.0
   4  5 71   500.0   600.0     2.0     0.5
   3  5 51  1400.0  2000.0  1400.0     2.0   760.0
   3  2 16  1400.0  2000.0     0.8      1.
   2  1 26  1400.0  2000.0  1400.0     1.0   760.0
   2  1 16  1400.0  2000.0     0.8      1.
   2  5 51  1400.0  2000.0  1400.0     2.0   760.0
*
```

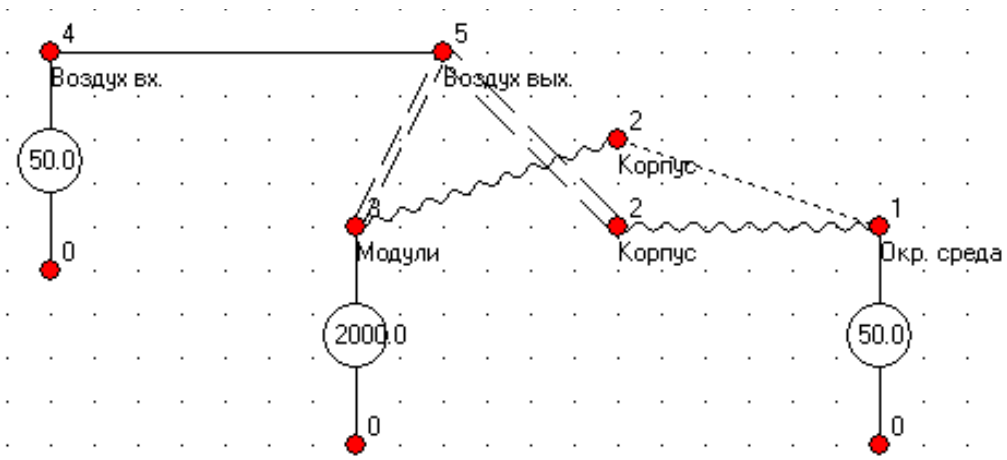


Рис. 7.1.3.1. Макро МТП стойки

Таблица 7.1.3.2

Результаты расчета теплового режима стойки 18-01

№ узла	Имя узла	Температура, °С
1	Окр. среда	50
2	Корпус	77,8
3	Модули	124,7
4	Воздух вх.	50
5	Воздух вых.	54,7

Воздух нагрелся в среднем на 5 °С. Корпус нагрелся до 77,8 °С, модули до 124 °С. В макромодели не учитывалось наличие внутренних нерегулярных вентиляторов и то, что поверхность блока более развита. Их учет будет произведен на более поздних стадиях анализа теплового режима конструкции.

Кроме того, требуется дать оценку выигрыша в том случае, если продув будет осуществляться не сверху вниз, а снизу вверх. В этом случае на протекающий воздушный поток влияет естественная тяга, создаваемая нагретым воздухом, который будет стремиться вверх.

Далее проводится оценка изменения давления при нагревании воздуха в стойке. Очевидно, изменение давления будет определяться разностью между плотностями воздуха на входе и выходе стойки при естественной конвекции, обусловленной изменением плотности воздуха при нагревании. Допустим, воздух нагреется (с запасом) на 10 °С, например, с 50 °С до 60 °С.

При 50 °С плотность воздуха равна 1,093 кг/м^3, при 60 °С плотность воздуха равна 1,06 кг/м^3.

Т.е. разность давления составит 1,093 – 1,06 = 0,033 кг/м^3, или 3 %.

Это приводит к тому, что в условиях свободной вентиляции скорости потока воздушного теплоносителя в зазорах воздушных каналов стойки составляет 0,03-0,1 м/с, режим течения ламинарный. Очевидно, что если система кондиционирования поддерживает скорость продува 2 м/с, то влиянием естественной вентиляции можно пренебречь и реального выигрыша от смены направления продува не получится.

На втором этапе строится более подробная МТП стойки, размерность которой примерно соответствует количеству тепловыделяющих блоков в стойке, т.е. каждый блок моделируется узлом МТП (рис. 7.1.3.2).

При этом не учитываются внутренние вентиляторы блоков, т.е. охлаждение осуществляется продуваемым воздухом из централизованной системы охлаждения и естественной конвекцией снаружи стойки.

Внутри стойки существует вынужденная конвекция. Для построения модели сделаем допущения:

корпус изотермичен;

блоки изотермичны;

три одинаковых расположенных вместе блока 1-11М моделируется одним макроузлом МТП;

воздух в стойке изотермичен в пределах 1-3-го и 4-6-го этажей и движется со скоростью 2 м/с;

мощность тепловыделения суммируется по каждому блоку (ячейке);

окружающая среда и воздух на входе системы охлаждения моделируется источниками постоянной температуры, равными 50 °С.

Для удобства занесения параметров модели рассчитываются типичные площади некоторых блоков стойки и пересчитываются в размеры, произведение которых будет равно площади блоков. Это необходимо для ввода в программу расчета теплового режима геометрических параметров ветвей, описывающих теплообмен с этих поверхностей.

Далее составляется таблица соответствия узлов МТП элементам объекта расчета, мощностей и геометрических размеров (см. табл. 7.1.3.3). Результаты расчета приведены в таблице 7.1.3.4.

Таблица 7.1.3.3

Узлы МТП стойки и параметры модели

Этаж	Наименование элемента МТП	№ узла МТП	Итого, Вт	Сомнож. 1	Сомнож. 2
	Окружающая среда	1			
1-6	Корпус	2		1440	2900
	Воздух вх. сист. охл.	3			
4-6	Воздух внутри	4			

1-3	Воздух внутри	5			
6	фильтр.	6	13	240	258
5	39-ГУПС	7	35	320	870
4	2-13М	8	2,05	370	400
4	1-11М (макро 3 в 1)	9	5,25	370	515
4	ячейка 43-2	10	19	370	400
4	устройство 92	11	19	370	515
4	ячейка 41-1	12	3,75	240	408
4	ИВЭП-12	13	196,5	370	580
3	ИВЭП-2	14	363,5	370	900
3	ячейка 18-03	15	60	370	1100
3	22-03	16	430	370	700
2	ИВЭП-2	17	363,5	370	900
2	ячейка 17-03	18	60	370	1100
2	21-03	19	430	370	700

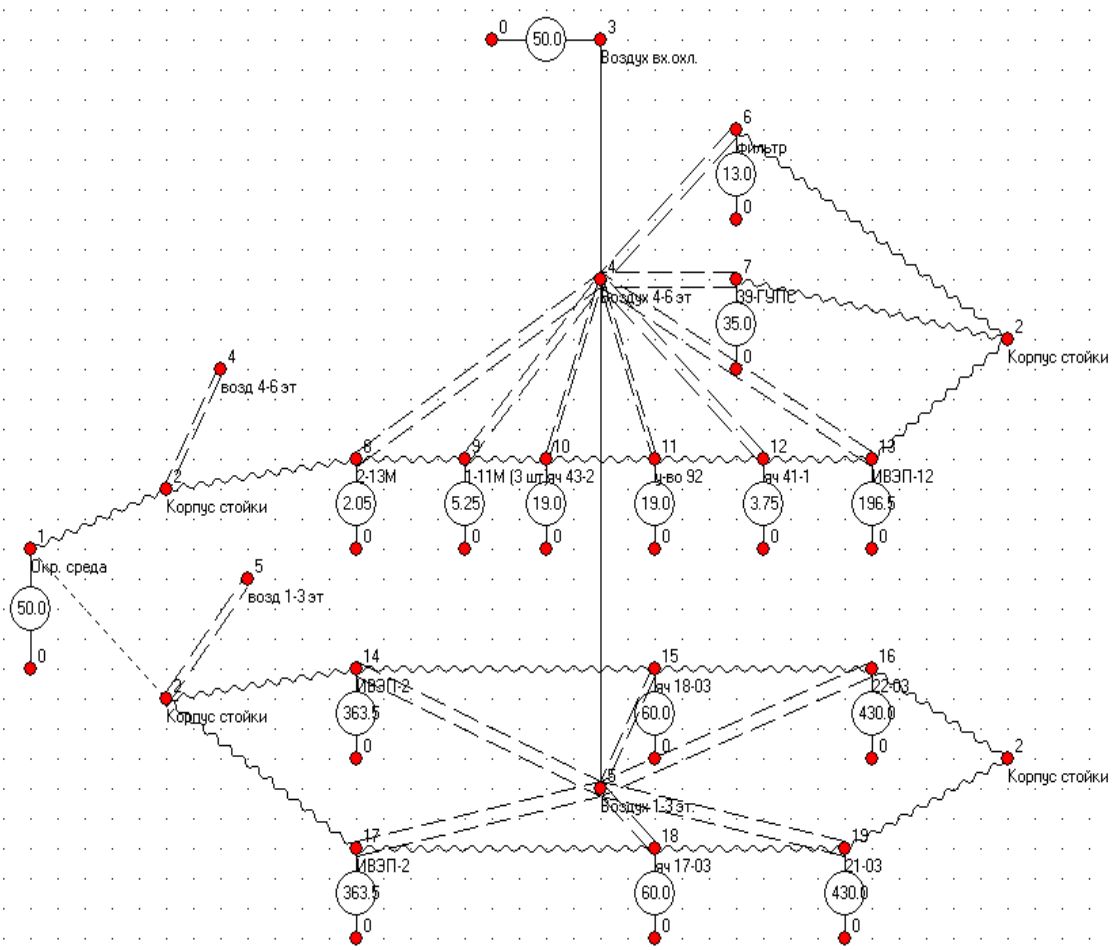


Рис. 7.1.3.2. МТП стойки 18-01

Таблица 7.1.3.4

Результаты расчета теплового режима стойки 18-01

№ узла	Имя узла	Температура, °С	№ узла	Имя узла	Температура, °С
1	Окр. среда	50	11	у-во 92	65,8
2	Корпус стойки	57,8	12	яч. 41-1	72,8
3	Воздух вх. охл.	50	13	ИВЭП-12	111,7
4	Воздух 4-6 эт.	56,9	14	ИВЭП-2	133,5
5	Воздух 1-3 эт.	64,1	15	яч. 18-03	89,2
6	фильтр	66,1	16	22-03	160,6
7	39-ГУПС	65,3	17	ИВЭП-2	133,5
8	2-13М	58,2	18	яч. 17-03	89,2
9	1-11М (3 шт.)	59,7	19	21-03	160,6
10	Яч. 43-2	65,7			

Средняя расчетная температура блоков является достаточно высокой и для блоков ИВЭП-12, ИВЭП-2, ячейки 21-03 (22-03) превышает 100 °С, что объясняется их очень высоким тепловыделением. Для ячеек 17-03 (18-03) температура получилась также достаточно высокой – 89,2 °С.

На третьем этапе необходимо доработать МТП стойки с учетом внутренних вентиляторов. Данные вентиляторы установлены в блоках 2-го и 3-го этажей.

В МТП второго этапа добавляется МТП, учитывающая внутренние вентиляторы блоков стойки, т.е. МТП, размерность которой соответствует количеству тепловыделяющих блоков в стойке. Таким образом, каждый блок моделируется узлом МТП в сумме с МТП, учитывающей внутренние вентиляторы блоков.

Задача этих вентиляторов – осуществлять принудительный обдув тепловыделяющих блоков изнутри, т.к. большое аэродинамическое сопротивление и различные обходящие каналы уменьшают расход воздуха, приходящегося на эти блоки от централизованной системы охлаждения.

В данном расчете скорость воздуха определяется как расход воздуха, деленный на площадь поперечного сечения, через который он прокачивается.

На втором (третьем) этаже установлено 7 вентиляторов: один в среднем блоке 17-03 (18-03), четыре в правом блоке 21-03 (22-03) для охлаждения радиатора и два в левом блоке ИВЭП-2 для индивидуального продува блока.

Т.к. дополнительные вентиляторы установлены в блоках только 2-го и 3-го этажей, а продув осуществляется сверху вниз, МТП стойки 6-го, 5-го, 4-го этажей, очевидно, не изменится. Изменения только касаются части МТП 1-3-го этажей. Необходимо отметить, что второй

и третий этаж продуваются воздухом, который моделируется узлом № 5 МТП (воздух 1-3-го этажей).

Далее рассчитывается расход воздуха, продуваемого вентиляторами 2ДВ0-0,7.60-367-4, через соответствующие блоки с учетом их производительности, количества и геометрических размеров блоков. Скорость продува воздуха внутри блока определяется как объем продуваемого этими вентиляторами через блоки воздуха, деленный на сечение блока (с учетом заполнения) в соответствующем направлении.

Необходимо отметить, что в блоке 21-03 (22-03) воздух четырьмя внутренними вентиляторами продувается через пластинчатый вентилятор с параметрами – толщина пластины 4 мм, высота 40 мм, а длина пластины 120 мм. Количество пластин – 34 штуки. Также необходимо отметить, что между радиатором и стенкой есть щель. Поэтому не весь воздух, продуваемый вентиляторами, пройдет через пластины.

Допущения при построении МТП, как и в предыдущем случае, но добавлены узлы, моделирующие продуваемый в каждом блоке воздух (см. табл. 7.1.3.5). МТП, введенная с помощью графического интерфейса АСОНИКА-Т, представлена на рис. 7.1.3.3. Результаты моделирования приведены в табл. 7.1.3.6.

Таблица 7.1.3.5

Узлы МТП стойки и параметры модели с учетом внутренних вентиляторов

Этаж	Наименование элемента МТП	№ узла МТП	Итого, Вт	Сомно-житель 1	Сомно-житель 2
	Окружающая среда	1			
1-6	Корпус	2		1440	2900
	Воздух вх. сист. охл.	3			
4-6	Воздух внутри	4			
1-3	Воздух внутри	5			
6	фильтр.	6	13	240	258
5	39-ГУПС	7	35	320	870
4	2-13М	8	2,05	370	400
4	1-11М (макро 3 в 1)	9	5,25	370	515
4	ячейка 43-2	10	19	370	400
4	устройство 92	11	19	370	515
4	ячейка 41-1	12	3,75	240	408
4	ИВЭП-12	13	196,5	370	580
3	ИВЭП-2	14	363,5	370	900
3	ячейка 18-03	15	60	370	1100
3	22-03	16	430	370	700
2	ИВЭП-2	17	363,5	370	900
2	ячейка 17-03	18	60	370	1100
2	21-03	19	430	370	700

3	Воздух в ИВЭП-2	20			
3	Воздух в ячейке 18-03	21			
3	Воздух в 22-03	22			
2	Воздух в ИВЭП-2	23			
2	Воздух в ячейке 17-03	24			
2	Воздух в 21-03	25			

Из сравнения результатов расчета теплового режима с учетом и без учета внутренних вентиляторов видно, что их использование снижает температуру блоков, причем не всегда одинаково. Наиболее эффективно в блоке ИВЭП-2, хуже в 21-03 (22-03) и 17-03 (18-03).

Тепловой режим ИВЭП-12 не изменился, т.к. для его охлаждения вентиляторы не использовались.

Дальнейшее уточнение результатов может быть получено и путем уточнения истинных параметров тепловыделения блоков и геометрических параметров конструкции, т.к. при построении МТП используется определенная идеализация конструкции, о которой говорится в начале построения каждой МТП.

Вывод о практически неизменном тепловом режиме стойки при смене направления централизованного продува со сверху вниз на снизу вверх остается, т.к. изменением расхода воздуха можно пренебречь в силу большой мощности системы охлаждения.

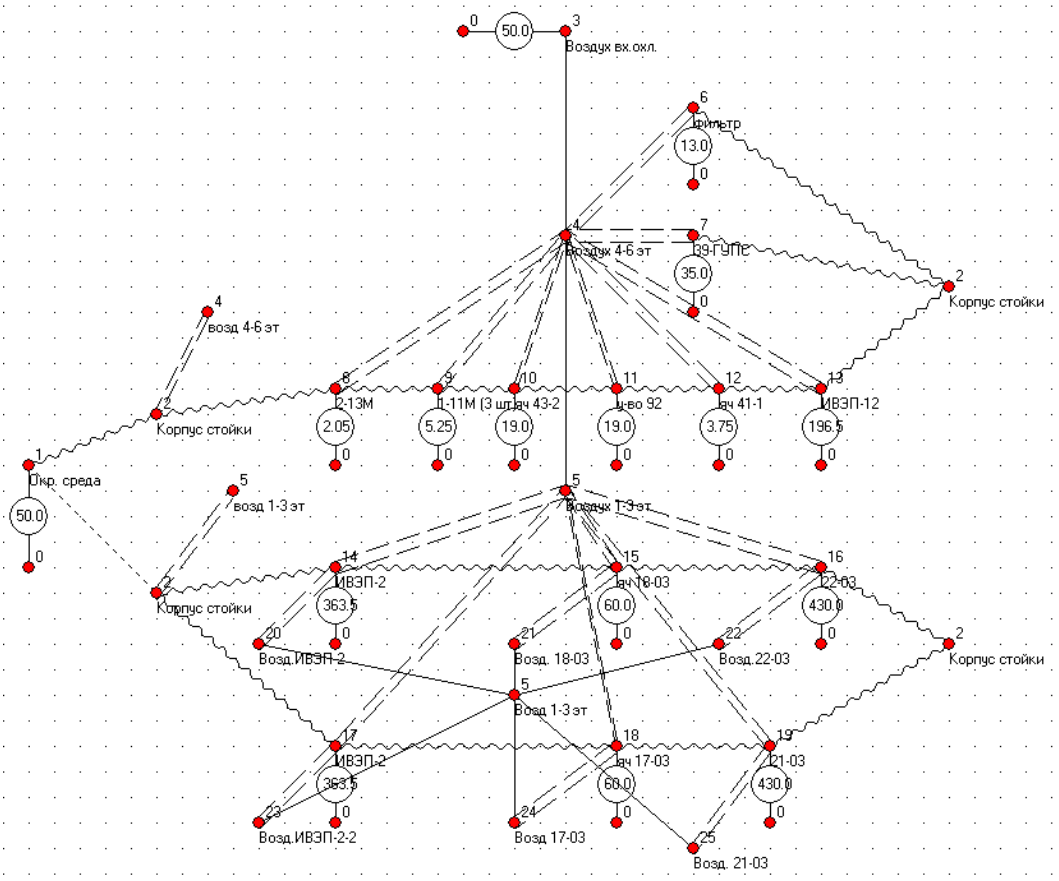


Рис. 7.1.3.3. МТП стойки 18-01 01 с внутренними вентиляторами

Таблица 7.1.3.6

Результаты расчета теплового режима стойки 18-01 с учетом и без учета внутренних вентиляторов

№ узла	Имя узла	Температура без вентил., С	Температура с вентил., С
1	Окр. среда	50	50
2	Корпус стойки	57,8	57,1
3	Воздух вх. охл.	50	50
4	Воздух 4-6 эт.	56,9	57
5	Воздух 1-3 эт.	64,1	64,4
6	Фильтр	66,1	66,2
7	39-ГУПС	65,3	65,3
8	2-13М	58,2	58,2
9	1-11М (3 шт.)	59,7	59,8
10	Яч. 43-2	65,7	65,8
11	У-во 92	65,8	65,9
12	Яч. 41-1	72,8	72,9
13	ИВЭП-12	111,7	111,8
14	ИВЭП-2	133,5	106
15	Яч. 18-03	89,2	82,4
16	22-03	160,6	155
17	ИВЭП-2	133,5	106
18	Яч. 17-03	89,2	82,4
19	21-03	160,6	155
20	Возд. ИВЭП-2		69,5
21	Возд. 18-03		65,7
22	Возд. 22-03		64,8
23	Возд. ИВЭП-2-2		69,5
24	Возд. 17-03		65,7
25	Возд. 21-03		64,8

7.1.4. Расчет аэродинамических процессов стойки 18-02

Задача расчета.

Задача моделирования состоит в определении аэродинамических характеристик воздушных потоков внутри изделия. Результатами моделирования являются давления, скорости и расходы воздуха в различных частях изделия.

Данные для расчета.

3D-модель изделия, выполненная в системе Pro/ENGINEER.

Изделие эксплуатируется при давлении 760 мм рт. ст.

Расход охлаждающего воздуха через изделие 1000 $м^3$/ч (0,278 $м^3$/с).

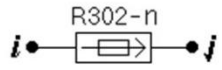
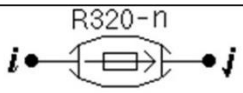
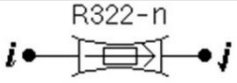
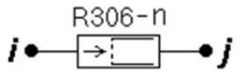
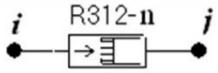
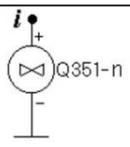
Температура охлаждающего воздуха, подаваемого системой кондиционирования, 50 °С.

Результаты моделирования.

Для построения МАП в изделии используются типы ветвей, список и параметры которых приведены в табл. 7.1.4.1.

Таблица 7.1.4.1

Типы и параметры ветвей модели аэродинамических процессов

Тип и обозначение ветви	Моделируемое аэродинамическое сопротивление	Параметры ветви
1	2	3
	Сопротивление трения в плоском аэродинамическом канале	– геометрические размеры канала; – температура теплоносителя; – температура стенок канала; – теплоноситель.
	Местное сопротивление поворота плоского канала	– угол поворота теплоносителя; – размеры сечения канала в месте поворота; – температура теплоносителя; – теплоноситель.
	Местное сопротивление расширения плоского канала	– размеры сечения канала до расширения; – размеры сечения канала после расширения; – температура теплоносителя; – теплоноситель.
	Местное сопротивление сужения плоского канала	– размеры сечения канала до сужения; – размеры сечения канала после сужения; – температура теплоносителя; – теплоноситель.
	Местное сопротивление прохода теплоносителя через решетку	– размеры полного сечения канала; – размеры живого сечения (параметры решётки); – температура теплоносителя; – теплоноситель.
	Местное сопротивление прохода теплоносителя через жалюзи	– размеры полного сечения канала; – размеры живого сечения (параметры жалюзи); – температура теплоносителя; – теплоноситель.
	Источник постоянного расхода воздуха	Расход воздуха

Для построения модели аэродинамических процессов требуется провести идеализацию конструкции изделия и разработать его аэродинамическую сеть.

Расход охлаждающего воздуха, поступающего из системы кондиционирования, моделируется ветвью типа Q351.

В верхней части конструкции расположена рама с жалюзи, через которые охлаждающий воздух поступает внутрь конструкции изделия.

При проходе воздуха через жалюзи возникает местное аэродинамическое сопротивление, для моделирования которого используется ветвь типа R312.

Далее воздух поступает на первый этаж изделия в канал, образованный стенками, и движется по нему сверху вниз. При этом возникает сопротивление трения, моделируемое ветвью типа R302.

Попадая на второй этаж, воздушный поток разделяется на несколько отдельных потоков, протекающих по каналам (моделируются ветвями типа R302), образованным стенками блоков, расположенных на этаже, стенками изделия и другими конструктивными элементами. Непосредственно перед разделением поток сужается (изменяется площадь живого сечения). При этом возникает местное аэродинамическое сопротивление сужения потока, моделируемое ветвью типа R322.

Расположенные в блоках второго этажа электровентиляторы моделируются ветвями типа Q351. Пять вентиляторов передают воздушный поток между верхней и нижней частью этажа. Два вентилятора подают воздух из двенадцатого канала в нижнюю часть этажа.

Пройдя по каналам второго этажа, одна часть воздуха попадает на третий этаж через решётку, а вторая – по коробу в задней части изделия.

Воздушные потоки, протекающие по первому и шестому, а также четвертому и шестому каналам, соединяются между собой, при этом часть воздушного потока поворачивает на 90 °С. Этот эффект моделируется ветвью типа R324.

Аэродинамические процессы, протекающие на третьем этаже, аналогичны процессам на втором этаже, так как конструктивно эти два этажа полностью повторяют друг друга.

На четвёртый этаж воздух попадает, проходя через решетку между третьим и четвёртым этажом (решетка нормализует воздушный поток и выравнивает давление), а также двигаясь по коробу. На четвёртом этаже воздушные потоки движутся по двенадцати каналам (каналы 10 и 11 образуются в модуле между печатными узлами и стенками модуля). Аэродинамические сопротивления трения моделируются ветвями типа R302, а местные аэродинамические сопротивления прохода через отверстия в модуле R312. Воздушные потоки первого и девятого каналов соединяются с воздушным потоком 12 канала (короб).

После выхода из каналов четвертого этажа воздушные потоки соединяются и попадают на пятый этаж, где происходит их разделение на 2 крупных потока. Непосредственно перед разделением возникает аэродинамическое сопротивление, вызванное сужением потока, которое моделируется ветвью типа R322. Прохождение потоков воздуха по каналам моделируется ветвями типа R302. Потоки, проходящие по первому и второму каналам пятого этажа изделия, меду собой не смешиваются. Перед выходом с пятого этажа возникает местное аэродинамическое сопротивление сужения потоков, моделируемое ветвями типа R322.

На шестом этаже два воздушных потока сливаются в один, который проходит по каналу между блоками, расширяется и затем выходит из конструкции изделия в окружающее пространство.

Построенная таким образом модель аэродинамических процессов в конструкции изделия приведена на рис. 7.1.4.1 (для вариантов 1 и 2) и на рис. 7.1.4.2 (для варианта 3; исключены верви, моделирующие короб).

Модель исследована в 3 вариантах.

1. Электровентиляторы, расположенные на втором и третьем этажах конструкции изделия, выключены (отсутствуют), короб свободен для прохода воздуха.

2. Электровентиляторы включены, каждый из них создает расход воздуха 0,01944 $м^3/с$, короб свободен для прохода воздуха.

3. Электровентиляторы включены, каждый из них создает расход воздуха 0,01944 $м^3/с$, короб заполнен кабелями и закрыт для прохода воздуха.

Результаты расчёта приведены в табл. 7.1.4.2 – 7.1.4.4.

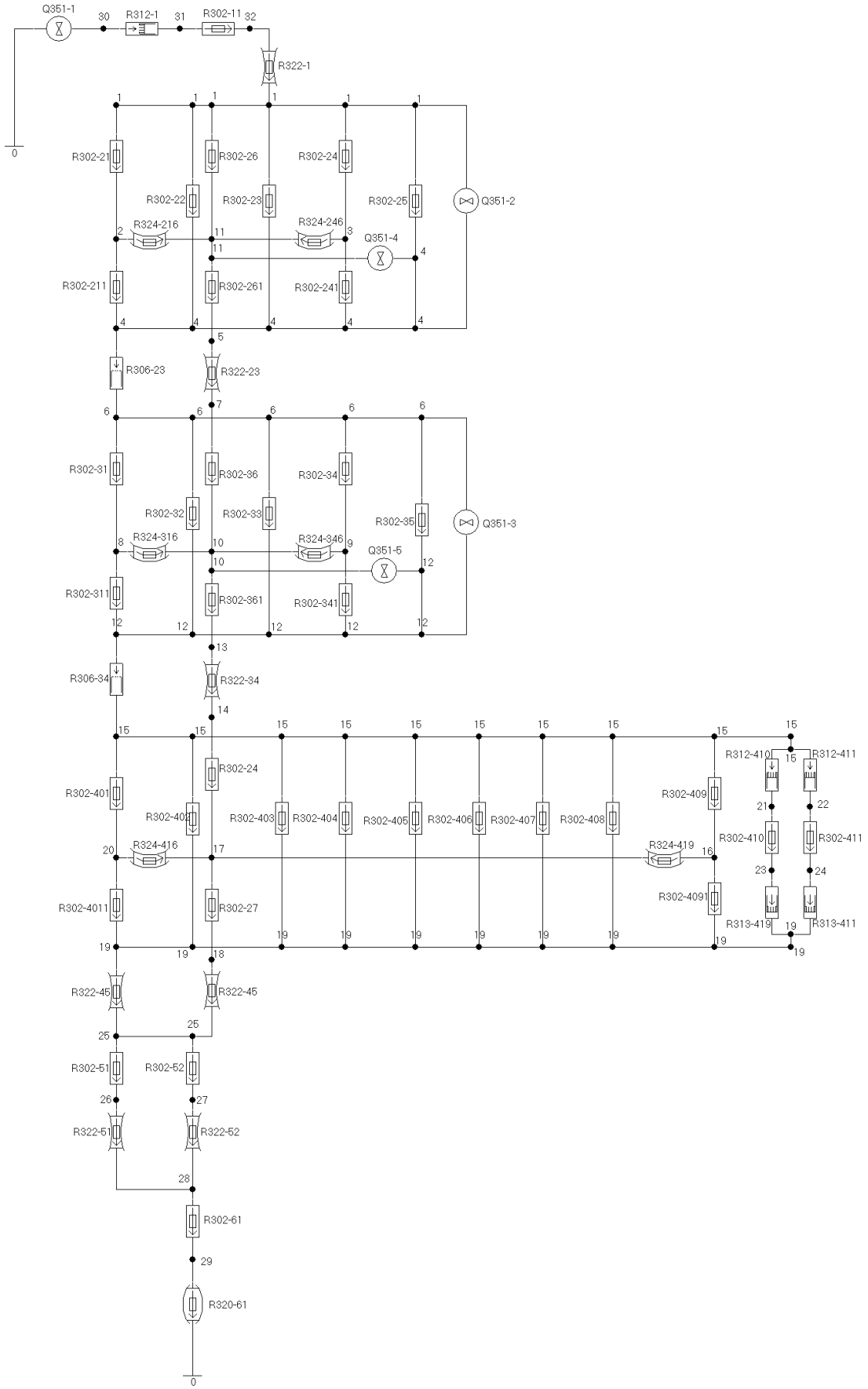


Рис. 7.1.4.1. Модель аэродинамических процессов в конструкции изделия для вариантов 1 и 2

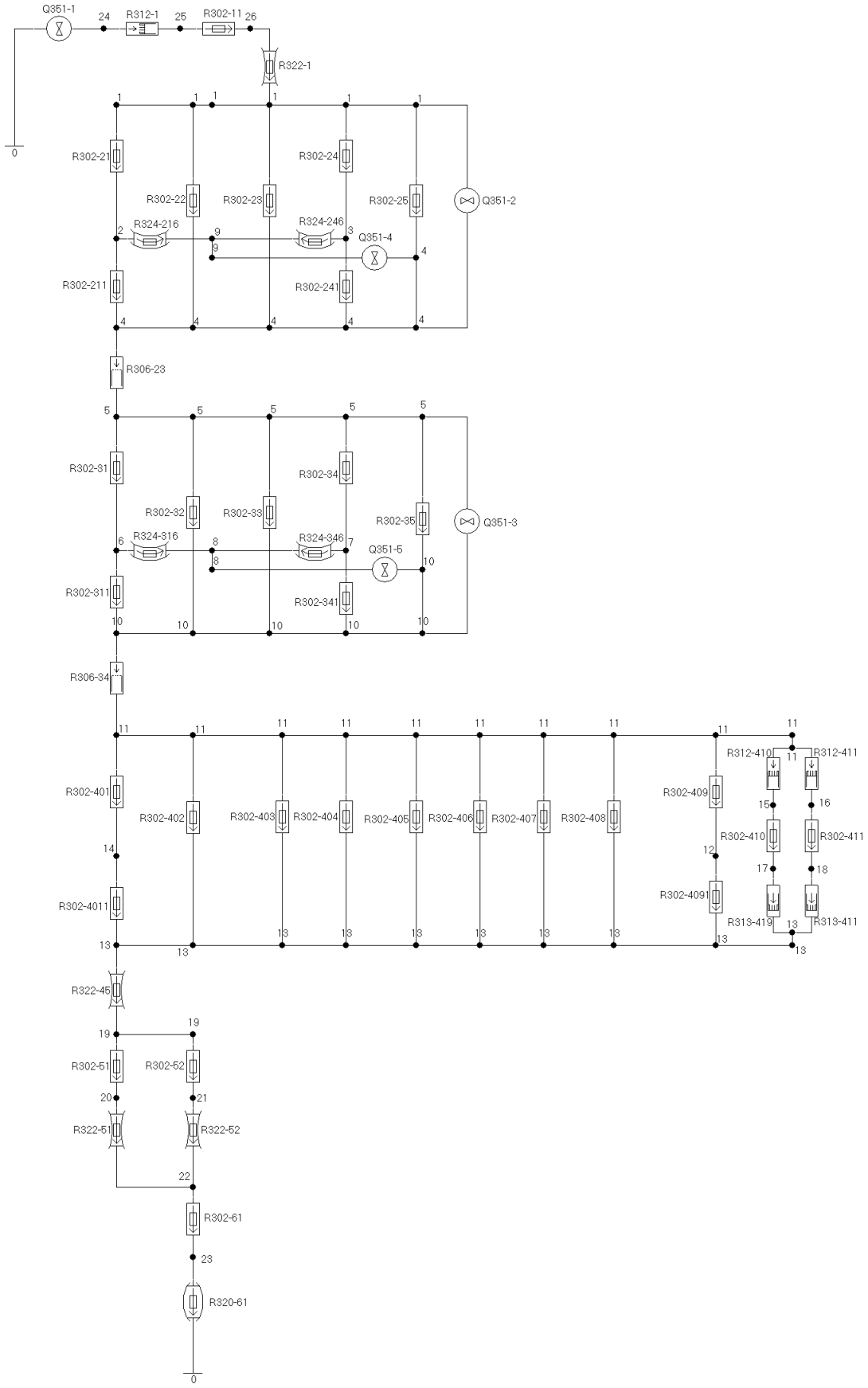


Рис. 7.1.4.2. Модель аэродинамических процессов в конструкции изделия для варианта 3

Таблица 7.1.4.2

Результаты расчёта модели аэродинамических процессов для условий: электровентиляторы выключены, короб свободен для прохода воздуха (фрагмент)

Ветвь	Нач-ный узел	Напр-ние потока	Кон-ный узел	Расход, $м^3/с$	Скорость, м/с	Комментарий
R302-11	31	> > >	32	0,278	0,78	Этаж 1, канал 1
R302-21	1	> > >	2	0,00282	0,1938	Этаж 2, канал 1 (верх)
R302-211	2	> > >	4	0,001784	0,1226	Этаж 2, канал 1 (низ)
R302-22	1	> > >	4	4,528E-5	0,01167	Этаж 2, канал 2
R302-23	1	> > >	4	1,112E-5	0,004584	Этаж 2, канал 3
R302-24	1	> > >	3	0,001912	0,297	Этаж 2, канал 4 (верх)
R302-241	3	> > >	4	0,0008883	0,138	Этаж 2, канал 4 (низ)
R302-25	1	> > >	4	0,0003622	0,04072	Этаж 2, канал 5
R302-26	1	> > >	11	0,2728	4,68	Этаж 2, канал 6 (верх)

Таблица 7.1.4.3

Результаты расчёта модели аэродинамических процессов для условий: электровентиляторы включены, короб свободен для прохода воздуха (фрагмент)

Ветвь	Нач-ный узел	Напр-ние потока	Кон-ный узел	Расход, $м^3/с$	Скорость, м/с	Комментарий
R302-11	31	> > >	32	0,278	0,78	Этаж 1, канал 1
R302-21	1	< < <	2	0,03711	2,551	Этаж 2, канал 1 (верх)
R302-211	2	< < <	4	0,03782	2,599	Этаж 2, канал 1 (низ)
R302-22	1	< < <	4	0,0007056	0,1819	Этаж 2, канал 2
R302-23	1	< < <	4	0,0001722	0,071	Этаж 2, канал 3
R302-24	1	< < <	3	0,008983	1,395	Этаж 2, канал 4 (верх)
R302-241	3	< < <	4	0,009692	1,505	Этаж 2, канал 4 (низ)
R302-25	1	< < <	4	0,00696	0,7825	Этаж 2, канал 5

R302-26	1	> > >	11	0,2347	4,026	Этаж 2, канал 6 (верх)
R302-261	11	> > >	5	0,275	4,717	Этаж 2, канал 6 (низ)
R302-31	6	< < <	8	0,06684	4,594	Этаж 3, канал 1 (верх)
R302-311	8	< < <	12	0,03546	2,437	Этаж 3, канал 1 (низ)
R302-32	6	< < <	12	0,0009634	0,2483	Этаж 3, канал 2
R302-33	6	< < <	12	0,0002351	0,09693	Этаж 3, канал 3
R302-34	6	< < <	9	0,01669	2,593	Этаж 3, канал 4 (верх)
R302-341	9	< < <	12	0,008804	1,368	Этаж 3, канал 4 (низ)
R302-35	6	< < <	12	0,009503	1,068	Этаж 3, канал 5
R302-36	7	> > >	10	0,275	4,717	Этаж 3, канал 6 (верх)
R302-361	10	> > >	13	0,2746	4,711	Этаж 3, канал 6 (низ)
R302-401	15	< < <	20	0,03846	0,6553	Этаж 4, канал 1 (верх)
R302-4011	20	> > >	19	0,1164	1,984	Этаж 4, канал 1 (низ)
R302-402	15	> > >	19	4,096E-5	0,008043	Этаж 4, канал 2
R302-403	15	> > >	19	4,096E-5	0,008043	Этаж 4, канал 3
R302-404	15	> > >	19	4,096E-5	0,008043	Этаж 4, канал 4
R302-405	15	> > >	19	0,001931	0,1034	Этаж 4, канал 5

Таблица 7.1.4.4

Результаты расчёта модели аэродинамических процессов для условий: электровентиляторы выключены, короб закрыт для прохода воздуха

Ветвь	Нач-ный узел	Напр-ние потока	Кон-ный узел	Расход, $м^3/с$	Скорость, м/с	Комментарий
R302-11	25	> > >	26	0,278	0,78	Этаж 1, канал 1
R302-21	1	> > >	2	0,1043	7,165	Этаж 2, канал 1 (верх)
R302-211	2	> > >	4	0,1297	8,912	Этаж 2, канал 1 (низ)

R302-22	1	> > >	4	0,001786	0,4604	Этаж 2, канал 2
R302-23	1	> > >	4	0,0004385	0,1808	Этаж 2, канал 3
R302-24	1	> > >	3	0,05527	8,585	Этаж 2, канал 4 (верх)
R302-241	3	> > >	4	0,06874	10,68	Этаж 2, канал 4 (низ)
R302-25	1	> > >	4	0,01905	2,141	Этаж 2, канал 5
R302-31	5	> > >	6	0,1043	7,165	Этаж 3, канал 1 (верх)
R302-311	6	> > >	10	0,1297	8,912	Этаж 3, канал 1 (низ)
R302-32	5	> > >	10	0,001786	0,4604	Этаж 3, канал 2
R302-33	5	> > >	10	0,0004385	0,1808	Этаж 3, канал 3
R302-34	5	> > >	7	0,05527	8,585	Этаж 3, канал 4 (верх)
R302-341	7	> > >	10	0,06874	10,68	Этаж 3, канал 4 (низ)
R302-35	5	> > >	10	0,01905	2,141	Этаж 3, канал 5
R302-401	11	> > >	14	0,1606	2,736	Этаж 4, канал 1 (верх)
R302-4011	14	> > >	13	0,1606	2,736	Этаж 4, канал 1 (низ)
R302-402	11	> > >	13	0,000113	0,02219	Этаж 4, канал 2
R302-403	11	> > >	13	0,000113	0,02219	Этаж 4, канал 3
R302-404	11	> > >	13	0,000113	0,02219	Этаж 4, канал 4
R302-405	11	> > >	13	0,005326	0,2852	Этаж 4, канал 5
R302-406	11	> > >	13	0,000113	0,02219	Этаж 4, канал 6
R302-407	11	> > >	13	0,04583	1,243	Этаж 4, канал 7
R302-408	11	> > >	13	0,06435	1,543	Этаж 4, канал 8
R302-409	11	> > >	12	0,001328	0,218	Этаж 4, канал 9 (верх)
R302-4091	12	> > >	13	0,001328	0,218	Этаж 4, канал 9 (низ)
R302-410	15	> > >	17	7,201E-5	0,008418	Этаж 4, канал 10
R302-411	16	> > >	18	7,201E-5	0,008418	Этаж 4, канал 11
R302-51	19	> > >	20	0,1396	1,187	Этаж 5, канал 1
R302-52	19	> > >	21	0,1384	1,401	Этаж 5, канал 2
R302-61	22	> > >	23	0,278	1,692	Этаж 6, канал 1

7.1.5. Расчет теплового режима блока ШС10-Е

Задача расчета.

Для температуры +50 ºС провести расчет теплового режима блока ШС10-Е. Мощности тепловыделения заданы, режим нагрева - стационарный (постоянный). Охлаждение стойки снаружи и внутри естественное воздушное охлаждение.

Данные для расчета.

3D-модель изделия, выполненная в системе Pro/ENGINEER.

Результаты моделирования.

Для автоматизированного моделирования теплового режима блока ШС10-Е используется АСОНИКА-Т. Внутри блока существует естественная конвекция, вынужденного охлаждения на первом этапе нет.

Для упрощения задачи и расчета наихудшего случая блок считается герметичным. Первым шагом моделирования является построение топологической модели тепловой процесса (МТП) конструкции. Для этого делаются следующие допущения:

корпус блока изотермичен:

воздух внутри блока изотермичен и моделируется одним узлом модели;

каждый печатный узел (ПУ) изотеремичен;

мощность тепловыделения ПУ моделируется источником постоянной мощности;

окружающая среда моделируется источником постоянной температуры.

С учетом этих допущения МТП выглядит следующим образом (см. рис. 7.1.5.1).

Номера узлов МТП:

узел 1 – окружающая среда;

узел 2 – корпус блока;

узел 3 – внутренний воздушный объем блока;

узлы 4 и 5 – левый (л) и правый (пр) печатный узел блока ШС10-01;

узлы 6 и 7 – левый и правый печатный узел блока ШС10-02;

узлы 8 и 9 – левый и правый печатный узел блока ШС10-01;

узлы 10 и 11 – левый и правый печатный узел блока ШС10-01;

узлы 12 и 13 – левый и правый печатный узел блока ШС10-10;

Узлы 14 и 15 – левый и правый печатный узел блока ШС10-30;

узлы 16 – печатный узел блока ТМ-П;

узлы 17 – корпус блока ШС10-71;

узлы 18- ПУ блока ШС10-71;

узел 19 – торцевой радиатор блока ШС10-71.

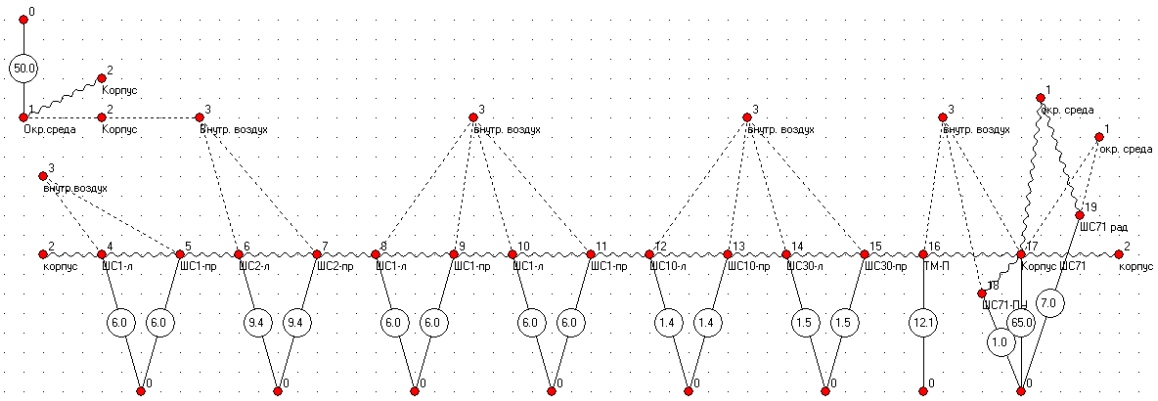


Рис. 7.1.5.1. МТП герметичного блока ШС10-Е

Тепло, выделяемое в печатных узлах, излучением передается на соседние печатные узлы и окружающие элементы конструкции (корпус блока и др.). Кроме того, конвекцией энергия будет передаваться во внутренний воздушный объем блока.

С поверхности блока энергия будет рассеиваться в окружающую среду конвекцией и излучением.

В соответствии с этой МТП были подготовлены исходные данные и проведен расчет с использованием подсистемы АСОНИКА-Т. Полученные результаты сведены в табл. 7.1.5.1.

Таблица 7.1.5.1

Результаты расчета при естественной конвекции

№ узла	Имя узла	Температура, °С
1	Окр. среда	50
2	Корпус	70,6
3	Внутр. воздух	100,3
4	ШС1-л	101,9
5	ШС1-пр	113,5
6	ШС2-л	120,2
7	ШС2-пр	121,6
8	ШС1-л	119
9	ШС1-пр	117,8
10	ШС1-л	116,8
11	ШС1-пр	114,8
12	ШС10-л	109,9
13	ШС10-пр	108,5
14	ШС30-л	109,4
15	ШС30-пр	113,3
16	ТМ-П	123,2
17	Корпус ШС71	124,6
18	ШС71-ПУ	118,3
19	ШС71 рад	126,6

При температуре окружающей среды 50 °С получаем температуру внутреннего воздуха 100,2 °С. Более того, средние температуры ПУ получаются также высокими, например, в ШС71 корпус имеет температуру 124 °С, а ПУ 118 °С, что свидетельствует о превышении допустимых температур.

Предыдущий рассмотренный случай – наихудший случай, блок рассматривался как герметичный. Далее оценивается влияние перфорации.

Реальный блок имеет перфорацию, поэтому в нем наблюдается естественный массоперенос, осуществляемый нагреваемым воздухом.

Перфорация представляет собой 43 щелевых отверстия размером 1,5 × 13 мм. Размер нижней перфорации аналогичен. Расстояние между верхней и нижней перфорацией 120 мм.

Расход воздуха составит 2,4 × 10-5 кг/сек, или 0,22 л/сек. Или 3×10^{-3} м/сек. Причем основной вклад, как уже указывалось, в такой малый расход вносят перфорационные отверстия.

Рассмотрим наилучший гипотетический случай, когда перфорация идеальная и корпус отсутствует.

С точки зрения МТП это означает, что в качестве внутреннего воздушного объема будет выступать окружающая среда, которая моделируется источником температуры, равным температуре окружающей среды, т.е. 50 °С (см. рис. 7.1.5.2). Результаты расчета при естественной конвекции при отсутствии корпуса представлены в табл. 7.1.5.2.

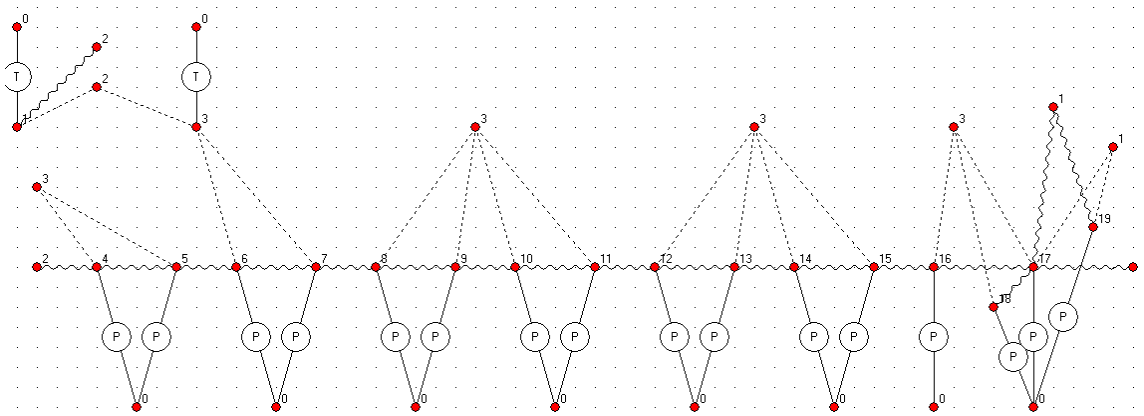


Рис. 7.1.5.2. МТП «открытого» блока ШС10-Е

Таблица 7.1.5.2

Результаты расчета при естественной конвекции при отсутствии корпуса

№ узла	Имя узла	Температура, °С
1	Окр. среда	50
2	Корпус	53,5
3	Внутр. воздух	50
4	ШС1-левый	63,5
5	ШС1-правый	67,4
6	ШС2-л	71,8
7	ШС2-пр	72
8	ШС1-л	68,4
9	ШС1-пр	67,2
10	ШС1-л	66,3
11	ШС1-пр	64,5
12	ШС10-л	58,6
13	ШС10-пр	57,2
14	ШС30-л	58,4
15	ШС30-пр	63,6
16	ТМ-П	79
17	Корпус ШС71	91,3
18	ШС71-ПУ	75,5
19	ШС71 рад	126,6

Полученные температуры свидетельствуют об удовлетворении требований к температурному режиму блока, но эти данные получены при отсутствии стенок блока, что не соответствует действительности.

Далее проводится расчет теплового режима блока ШС10-Е, в котором для снижения температур применяется вентилятор на входе снизу. Данный вентилятор обеспечивает продув воздуха. В этом случае одна из задач – это определение средней по сечению скорости воздуха по заданной производительности вентилятора.

При производительности 140 $м^3/с$ (2 шт. PAPST-8414NH) получается скорость продува воздуха 0,53 м/с.

Тепло, выделяемое в печатных узлах, излучением передается на соседние печатные узлы и окружающие элементы конструкции (корпус блока и др.). В отличие от предыдущего случая, энергия внутри передается в воздух уже не естественной, а вынужденной конвекцией.

А прокачиваемый внутренний воздух, поднимаясь, будет нагреваться и, выходя наружу, переносить энергию из блока (тепломассоперенос) в окружающую среду.

Как и в первом случае, с поверхности блока энергия будет рассеиваться в окружающую среду конвекцией и излучением. Т.е. если снаружи корпус будет отдавать энергию естественной конвекцией, то внутри будет главенствовать вынужденная конвекция.

Узел 3 МТП, ранее представлявший замкнутый внутренний объем воздуха блока, в данном случае моделируется продуваемым воздухом, в который осуществляется вынужденная конвекция с внутренних печатных узлов блока. Тепломассоперенос воздуха из окружающей среды через блок моделируется ветвью модели 1-3 тепломассоперенос в канале (тип 71).

МТП приведена на рис. 7.1.5.3. Результаты расчета приведены в табл. 7.1.5.3.

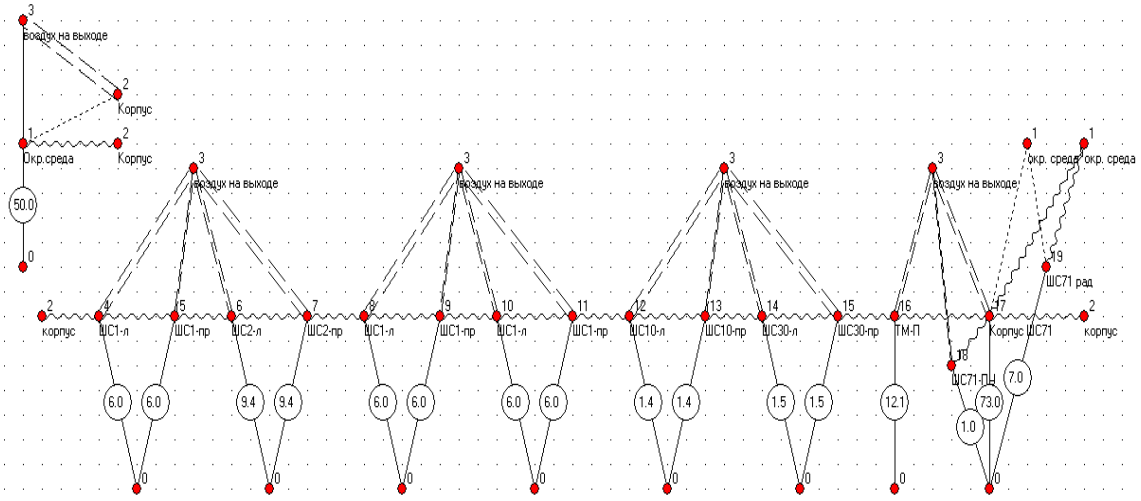


Рис. 7.1.5.3. МТП ШС10-Е при вынужденной конвекции

Ниже приведены исходные данные для расчета, которые автоматически создает АСОНИКА-Т при вводе МТП с помощью графического интерфейса.

```
ШС10-Е СОЗВЕЗДИЯЕ ВЫНУЖДЕНАЯ КОНВ
ТИПК=01
ТИПР=01
ФПЧ=00
ТЕСТ=10
 19 - КОЛИЧЕСТВО УЗЛОВ МОДЕЛИ
"1112223331111111122222222333333334444444455555555666666667777777788888888
   4  0101     6.0
   5  0101     6.0
   8  0101     6.0
   9  0101     6.0
  10  0101     6.0
  11  0101     6.0
   6  0101     9.4
   7  0101     9.4
  12  0101     1.4
  13  0101     1.4
  14  0101     1.5
  15  0101     1.5
  16  0101    12.1
  19  0101     7.0
  17  0101    73.0
  18  0101     1.0
   1  0111    50.0
   1  2 16   320.0  1930.0     0.8      1.
   1  2 26   320.0  1930.0   320.0     1.0   760.0
   4  5 16   200.0   220.0     0.8     1.0
   5  6 16   200.0   220.0     0.8     1.0
   6  7 16   200.0   220.0     0.8     1.0
   7  8 16   200.0   220.0     0.8     1.0
   8  9 16   200.0   220.0     0.8     1.0
   9 10 16   200.0   220.0     0.8     1.0
  10 11 16   200.0   220.0     0.8     1.0
  11 12 16   200.0   220.0     0.8     1.0
  12 13 16   200.0   220.0     0.8     1.0
  13 14 16   200.0   220.0     0.8     1.0
  14 15 16   200.0   220.0     0.8     1.0
  15 16 16   200.0   220.0     0.8     1.0
  16 17 16   200.0   220.0     0.8     1.0
  17 18 16   200.0   220.0     0.8     1.0
   1 19 16    92.0    67.0     0.8     1.0
   2  4 16   200.0   220.0     0.8     1.0
  19  1 26    92.0    67.0    92.0     1.0   760.0
   4  3 51   400.0   220.0   220.0    0.53   760.0
   5  3 51   400.0   220.0   220.0    0.53   760.0
   6  3 51   400.0   220.0   220.0    0.53   760.0
   7  3 51   400.0   220.0   220.0    0.53   760.0
   8  3 51   400.0   220.0   220.0    0.53   760.0
   3  9 51   400.0   220.0   220.0    0.53   760.0
  10  3 51   400.0   220.0   220.0    0.53   760.0
  11  3 51   400.0   220.0   220.0    0.53   760.0
  12  3 51   400.0   220.0   220.0    0.53   760.0
  13  3 51   400.0   220.0   220.0    0.53   760.0
  14  3 51   400.0   220.0   220.0    0.53   760.0
  15  3 51   400.0   220.0   220.0    0.53   760.0
  16  3 51   400.0   220.0   220.0    0.53   760.0
  17  3 51   590.0   230.0   245.0    0.53   760.0
   2  3 51   320.0  1930.0   320.0    0.53   760.0
   1  3 71   350.0   300.0    0.53     0.3
   3 18 51   210.0   200.0   100.0    0.53   760.0
  17  2 16   230.0   345.0     0.8     1.0
  17  1 26    50.0   170.0   170.0     1.0   760.0
   1 17 16    50.0   170.0     0.8     1.0
*
```

Таблица 7.1.5.3

Результаты расчета при скорости 0,53 м/сек (два вентилятора PAPST-8414NH)

№ узла	Имя узла	Температура, °С
1	Окр. среда	50
2	Корпус	54,4
3	Воздух на выходе	53,5
4	ШС1-левый	62,6
5	ШС1-правый	65,7
6	ШС2-л	69,7
7	ШС2-пр	69,8
8	ШС1-л	66,4
9	ШС1-пр	65,3
10	ШС1-л	64,7
11	ШС1-пр	63,3
12	ШС10-л	58,2
13	ШС10-пр	57,2
14	ШС30-л	58,3
15	ШС30-пр	63
16	ТМ-П	79,2
17	Корпус ШС71	96,7
18	ШС71-ПУ	75,4
19	ШС71 рад	126,6

При температуре окружающей среды 50 °С в результате расчета получается температура нагрева продуваемого воздуха 53,5 °С. Т.е. применение продува (0,53 м/с) значительно снизило температуру воздуха.

Далее рассчитывается тепловой режим блока при скорости продува, равной 1 м/с. Для этого во всех ветвях МТП, где есть скорость воздуха, изменяется скорость с 0,53 на 1 м/с. Результаты расчета представлены в табл. 7.1.5.4.

Таблица 7.1.5.4

Результаты расчета при скорости 1 м/с

№ узла	Имя узла	Температура, °С
1	Окр. среда	50
2	Корпус	53,1
3	Воздух на выходе	52
4	ШС1-л	59
5	ШС1-пр	60,9
6	ШС2-л	64,1
7	ШС2-пр	64,1
8	ШС1-л	61,2
9	ШС1-пр	60,6

10	ШС1-л	60,2
11	ШС1-пр	59,3
12	ШС10-л	55,1
13	ШС10-пр	54,4
14	ШС30-л	55
15	ШС30-пр	58,1
16	ТМ-П	71,6
17	Корпус ШС71	89,1
18	ШС71-ПУ	67,3
19	ШС71 рад	126,6

При температуре окружающей среды 50 °С в результате расчета получается температура нагрева продуваемого воздуха 52 °С. Температура корпуса ШС71 снизилась почти до 89 °С, что свидетельствует о снижении температуры в отличие от предыдущих случаев. Можно отметить большую температуру внешнего радиатора, не зависящую от продува, вследствие того, что он не обдувается. Кроме того, возможно, там достаточно сложная конструкция, которую на данном этапе детализации учесть трудно.

7.1.6. Расчет механических характеристик блока ШС10-Е

Задача расчета.

Провести моделирование на ЭВМ блока ШС10-Е с помощью АСОНИКА-М и получить исходные данные для дальнейшей оценки стойкости блока и ПУ к механическим воздействиям.

Данные для расчета:

электронная модель конструкции блока ШС10-Е;

гармоническая вибрация 5g на интервале до 500 Гц.

Анализ исходных данных.

Процедура анализа механических процессов в блоке ШС10-Е была разбита на две части: построение оболочковой геометрической модели по данной твердотельной модели и собственно расчет модели в АСОНИКА-М. Для построения геометрии модели блока ШС10-Е использовалась CAD система PRO/ENGINEER, которая показана на рис. 7.1.6.1. По оболочковой геометрической модели в АСОНИКА-М была построена конечно-элементная модель.

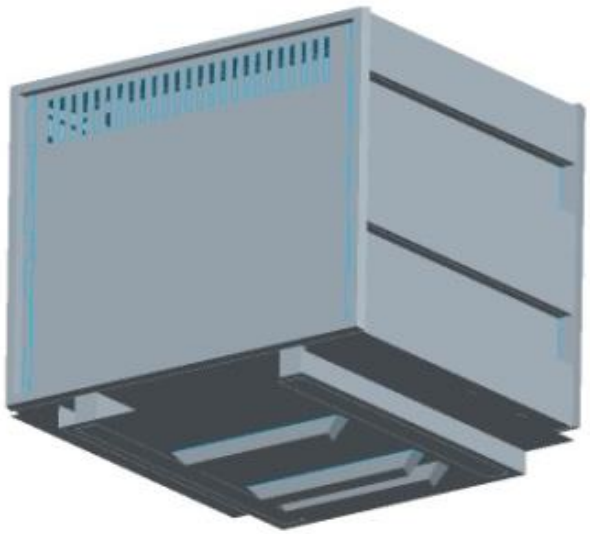


Рис. 7.1.6.1. Оболочковая геометрическая модель блока

Результат расчета на собственные частоты показал, что соединение блока с виброизоляторами не жесткое (посредством детали ITNYA_745422_538_SKOBA) и на интервале частот до 255 Гц порождает массу резонансов. Ввиду этого настоятельно рекомендуется применить более жесткое соединение виброизоляторов и блока. Расчет по этой причине проводился без учета ITNYA_745422_538_SKOBA; было сделано допущение о том, что соединение виброизоляторов и блока абсолютно жесткое.

Также не принимались во внимание экраны печатных плат. При такой малой толщине и относительно больших габаритах экраны испытывают резонансы, которые, уже начиная со значений меньше 100 Гц, довольно плотно располагаются выше в исследуемом частотном диапазоне. Для того чтобы ослабить их негативное влияние, рекомендуется для каждого экрана задать как минимум еще 4 крепления. Крепления необходимо располагать так, чтобы они были равноудалены друг от друга. Это повысит начало резонансов экранов и снизит амплитуду их колебания.

Результаты расчета.

1. При воздействии гармонической вибрации.

До 100 Гц на блоке резонансов нет, поэтому рассчитываемый частотный интервал сокращен. Резонансы в основном на печатных платах.

На рис. 7.1.6.2 – 7.1.6.4 показаны поля перемещений, ускорений и напряжений на резонансной частоте 180 Гц. Также на рисунках показаны номера и расположение контрольных точек. Можно также вывести аналогичные поля на 300 Гц и 360 Гц.

Результат в контрольных точках по ускорениям представлен на рис. 7.1.6.5.

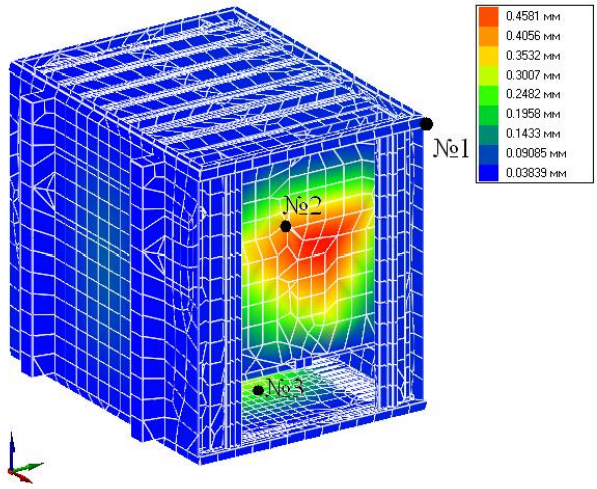


Рис. 7.1.6.2. Поле перемещений (частота 180 Гц)

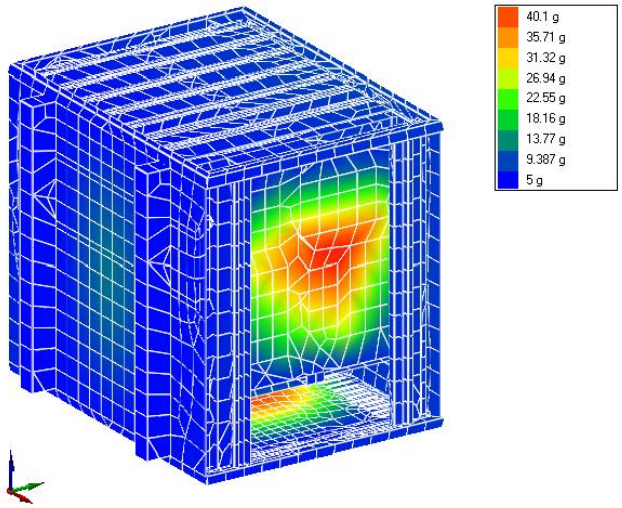


Рис. 7.1.6.3. Поле ускорений (частота 180 Гц)

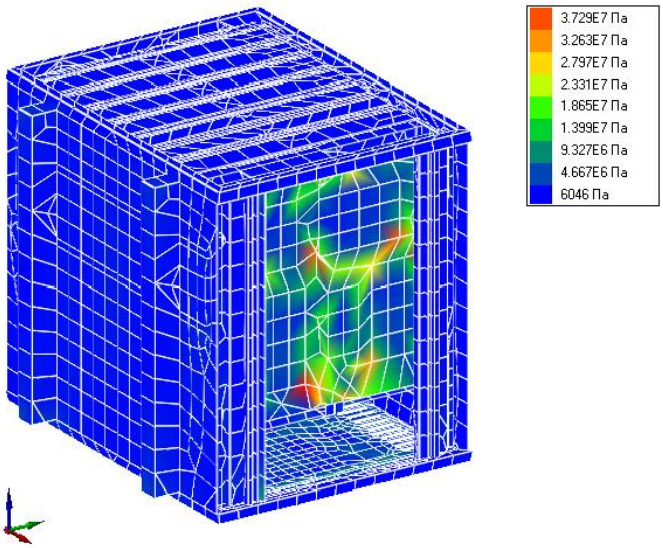


Рис. 7.1.6.4. Поле напряжений (частота 180 Гц)

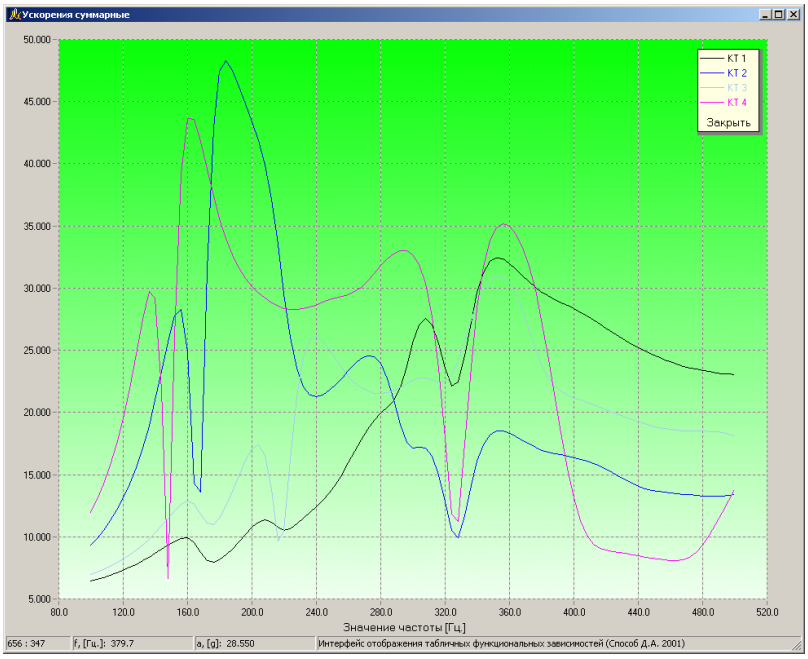


Рис. 7.1.6.5. Графики ускорений в контрольных точках

7.1.7. Расчет системы виброизоляции блока ШС10-Е

Задача расчета.

Провести моделирование на ЭВМ системы виброизоляции блока ШС10-Е с помощью подсистемы АСОНИКА-В и получить исходные данные для дальнейшей оценки стойкости блока и ПУ к механическим воздействиям.

Данные для расчета.

сборочный чертеж конструкции блока ШС10-Е;

параметры механических воздействий (рис. 7.1.7.2 – 7.1.7.4);

масса блока 17,5 кг;

тип виброизоляторов: АПНМ-5.

Анализ исходных данных.

Эскиз конструкции блока ШС10-Е, введенного с помощью графического интерфейса АСОНИКА-В, представлен на рис. 7.1.7.1.

Зависимость входного ускорения гармонической вибрации от частоты представлена на рис. 7.1.7.2.

Зависимость входного механического удара одиночного действия от времени представлена на рис. 7.1.7.3.

Зависимость входного механического удара многократного действия от времени представлена на рис. 7.1.7.4.

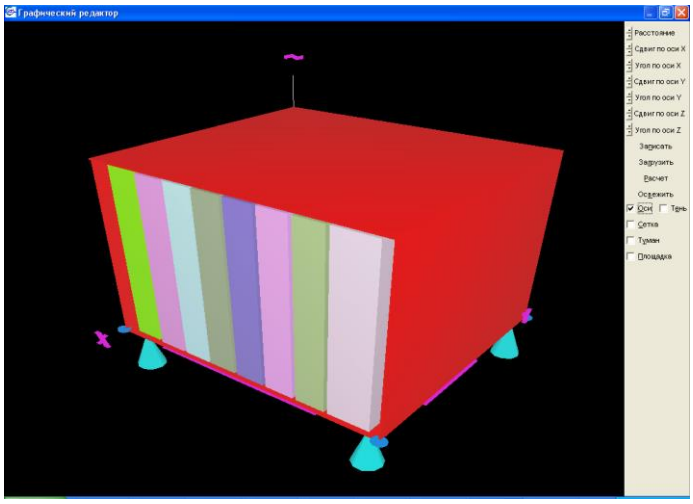


Рис. 7.1.7.1. Графическое изображение рассчитываемого блока ШС10-Е: в виде конусов показаны виброизоляторы

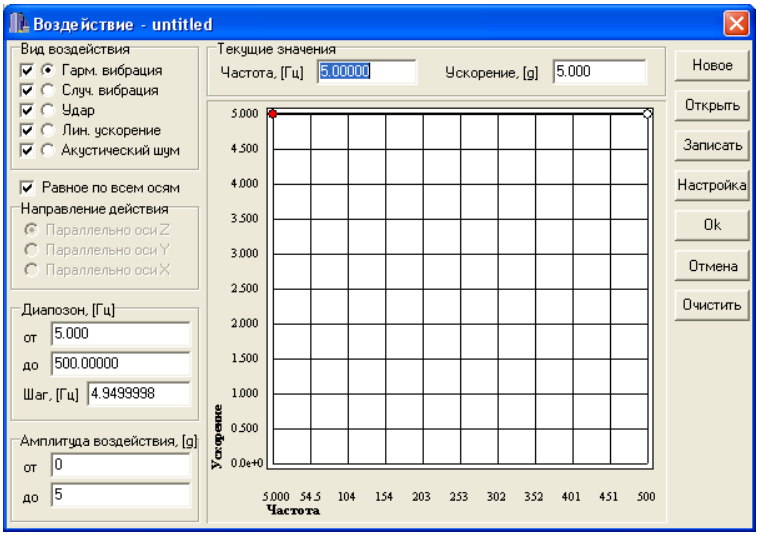


Рис. 7.1.7.2. Зависимость входного ускорения гармонической вибрации от частоты

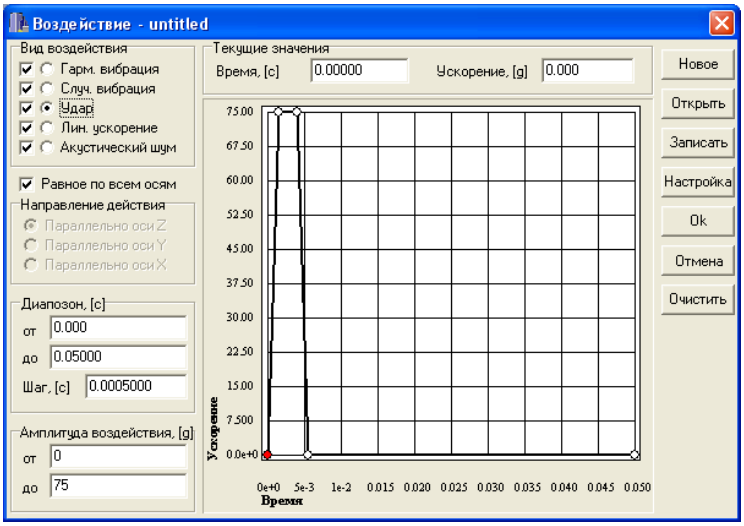


Рис. 7.1.7.3. Зависимость входного механического удара одиночного действия от времени

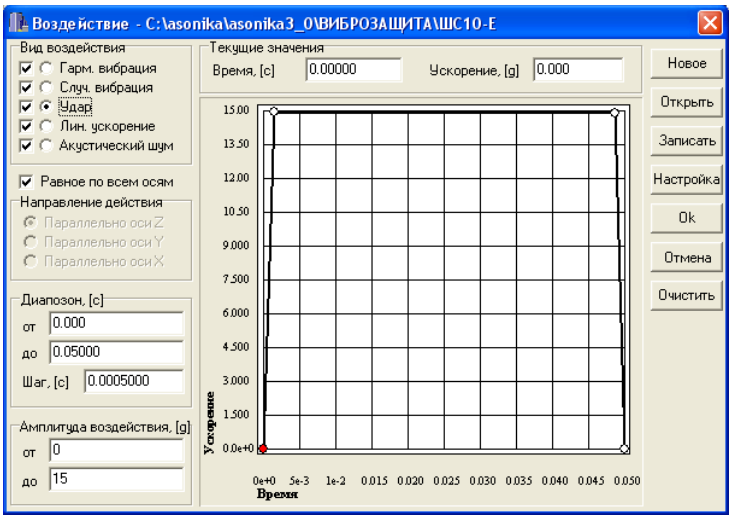


Рис. 7.1.7.4. Зависимость входного механического удара многократного действия от времени

Из справочной литературы были получены следующие параметры виброизолятора АПНМ-5: коэффициент жесткости по вертикальной оси 49000 Н/м. Коэффициент механических потерь из опыта примем 0,19.

Результаты расчета.

1. Расчет виброизоляции блока при воздействии гармонической вибрации.

Результаты моделирования приведены на рис. 7.1.7.5. Можно вывести графики зависимостей ускорения блока от частоты при воздействии гармонической вибрации по каждой из осей, в различных диапазонах частот. Приведен лишь один из графиков по оси X.

При воздействии гармонической вибрации по оси X на резонансной частоте 10 Гц амплитуда виброускорения равна 46g, по оси Y на резонансной частоте 11 Гц амплитуда виброускорения равна 32g; по оси Z на резонансной частоте 15 Гц амплитуда виброускорения равна 14g.

Ускорение по осям X и Y в диапазоне 50…500 Гц падает от 1,7g до 0; ускорение по оси Z в диапазоне 50…500 Гц падает от 0,6g до 0.

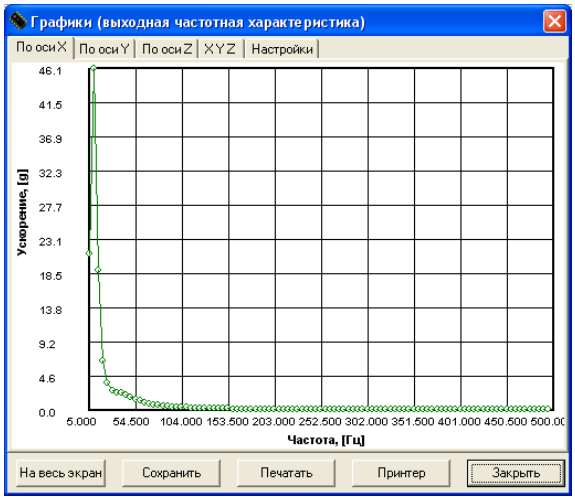


Рис. 7.1.7.5. Зависимость ускорения блока от частоты при воздействии гармонической вибрации по оси X

2. Расчет виброизоляции блока при воздействии механического удара одиночного действия.

Результаты моделирования приведены на рис. 7.1.7.6. Можно вывести графики зависимостей ускорения блока от частоты при воздействии одиночного удара по каждой из осей. Приведен лишь один из графиков по оси X.

При воздействии удара ускорение по оси X не превышает 674,8g, по оси Y не превышает 526g, по оси Z не превышает 266g.

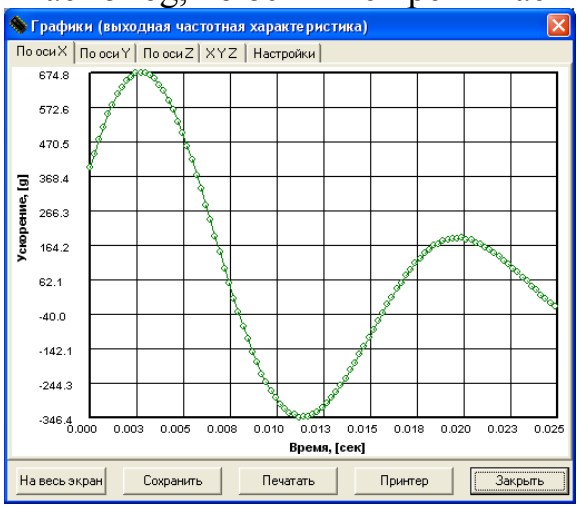


Рис. 7.1.7.6. Зависимость ускорения блока от времени при воздействии механического удара одиночного действия по оси X

3. Расчет системы виброизоляции стеллажа при воздействии механического удара многократного действия.

Результаты моделирования приведены на рис. 7.1.7.7. Можно вывести графики зависимостей ускорения блока от частоты при воздействии многократного удара по каждой из осей. Приведен лишь один из графиков по оси X.

При воздействии удара ускорение по оси X не превышает 61,5g, Y не превышает 38g, по оси Z не превышает 11g.

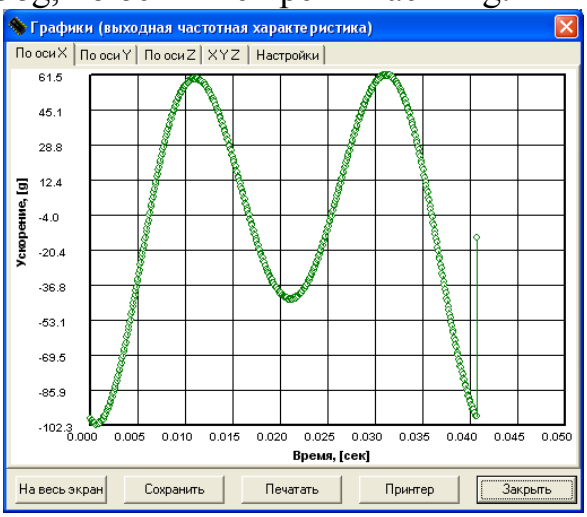


Рис. 7.1.7.7. Зависимость ускорения блока от времени при воздействии механического удара многократного действия по оси X

7.1.8. Разработка базы данных для тепломеханических расчетов АСОНИКА-ТМ

Описание базы данных.

На рис. 7.1.8.1 представлена схема взаимодействия таблиц справочной БД для АСОНИКА-ТМ.

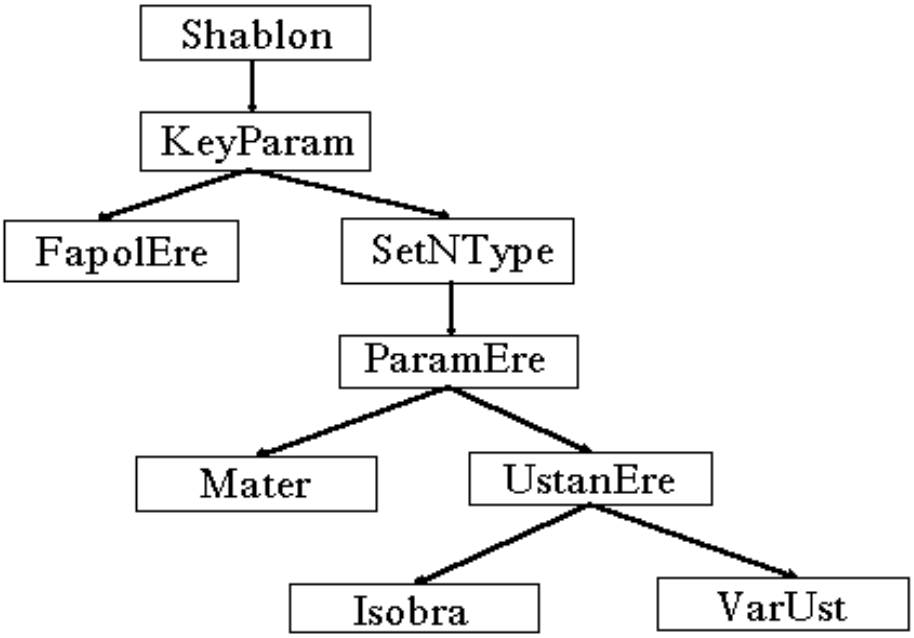


Рис. 7.1.8.1. Схема взаимодействия таблиц справочной БД

Взаимодействие таблиц осуществляется посредством использования механизма внешних ключей.

Назначение таблиц следующее.

Shablon.db – таблица условных обозначений ЭРЭ.

KeyParam.db – таблица параметров ЭРЭ, влияющих на типоразмер корпуса данного ЭРЭ.

SetnType.db – таблица определения номера типоразмера корпуса ЭРЭ.

ParamEre.db – таблица, содержащая параметры корпусов ЭРЭ и предельно-допустимые значения внешних воздействий для каждого ЭРЭ.

Mater.db – таблица, содержащая значения тепловых и механических параметров материалов печатных плат, креплений, выводов ЭРЭ и корпусов ЭРЭ.

UstanEre.db – таблица, содержащая параметры ЭРЭ, установленных на печатном узле.

Isobra.db – таблица с информацией, формирующей условное графическое изображение ЭРЭ на печатном узле (для каждого варианта установки).

VarUst.db – таблица с информацией о вариантах установки ЭРЭ на печатный узел.

FapolEre.db – таблица наименований параметров ЭРЭ, влияющих на типоразмер.

Описание проведенных работ.

Для блока ШС-10 были собраны следующие данные об ЭРЭ:

размеры посадочного места;

размеры самого ЭРЭ;

масса;

размеры сечения выводов;

размеры выводов;

рабочая температура;

данные о материалах;

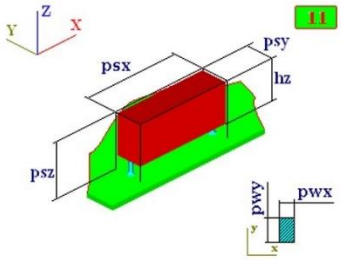
допустимые значения механических, тепловых нагрузок;

электрические параметры.

Данная идентификация была проведена для проведения тепломеханического моделирования в АСОНИКА-ТМ. Созданная база данных позволила при конвертации печатных узлов из P-CAD автоматически вносить параметры ЭРЭ. Пример одного из ЭРЭ с параметрами приведен в табл. 7.1.8.1.

Таблица 7.1.8.1

Пример параметров ЭРЭ

RC1206FR - 079K88L			
Полная условная запись			
Вид в пространстве: 	Параметр		Значение
	psx	Размер посадочного места по оси X, мм	3,1 +/- 0,1
	psy	Размер посадочного места по оси Y, мм	1,6 +/- 0,1
	psz	Размер посадочного места по оси Z, мм	0,55+/- 0,1
	m	Масса элемента, г	0,862
	pwx	Размер сечения выводов по оси X, мм	0,4 +/- 0,2
	pwy	Размер сечения выводов по оси Y, мм	1,6 +/- 0,1
	rop	Плотность материала выводов, кг/м^3	7310
	lampp	Коэфф. теплопроводности материала, Вт/(К·м)	66,8
		Рабочая температура, °С	55…+125
		Рабочее напряжение, В	200
		Относительная влажность воздуха при +35°С	80
		Максимальное ускорение гармонической вибрации в диапазоне 1-2500 Гц, g	20
		Максимальное ускорение одиночного удара, g	1000
		Максимальное ускорение многократного удара, g	20
		Максимальное ускорение линейного ускорения, g	10
		Акустические шумы в диапазоне частот 50-10000 Гц при уровне звукового давления, дБ	145
		Допустимое отклонение	+/-1 %
		Сопротивление, кОм	9,88
		Мощность, Вт	0,25
		Материал выводов	олово

7.1.9. Расчет электрических процессов в модуле питания

Электрическая схема модуля питания введена в графический редактор и представлена на рисунке 7.1.9.1.

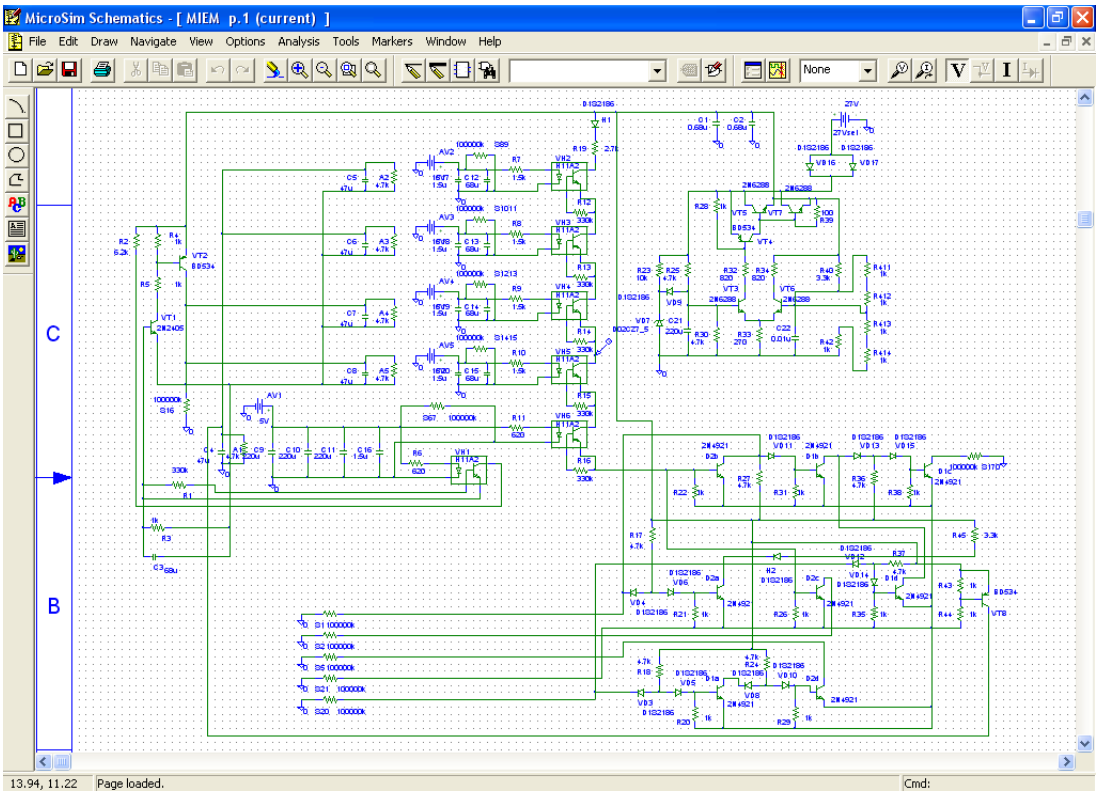


Рис. 7.1.9.1. Модель электрических процессов

В процессе предварительного расчета схемы было обнаружено, что не удается выставить рабочий ток на входе эквивалентной схемы модуля питания. При любом внутреннем входном сопротивлении ток был равен нулю. При анализе схемы соединений стало понятно, что оба входа модуля питания в одной цепи с «нулем» схемы, а это противоречит условию нормальной работы модуля питания. Таким образом, была найдена ошибка в схеме.

Для того чтобы ввести схему в программу моделирования, помимо простых элементов, таких как резисторы и конденсаторы, понадобились несколько элементов, которых нет в стандартном наборе программы. Для большинства элементов были найдены импортные аналоги, модели которых имелись в наличии. К примеру, транзистор 2Т630Б заменен на 2N2405, транзисторная матрица 1НТ251 заменена набором транзисторов, стабилитрон 2С175Ц заменен D02CZ7_5.

Была создана модель модуля питания. Схема замещения (рис. 7.1.9.2) состоит из сопротивления входа и источника питания на выходе, в цепь которого вставлено сопротивление, имитирующее нагрузку.

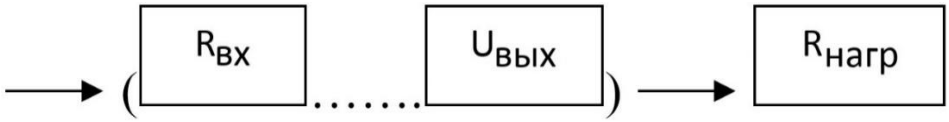


Рис. 7.1.9.2. Схема замещения

Расчет проводился при коэффициенте нагрузки на модули питания 0,2 ($I_{вых}/I_{ном}$). Методом подбора значения сопротивления резистора $R_{нагр}$ и $R_{вх}$ были установлены соответствующий выходной и входной ток. Значения входного тока и выходного напряжения соответствуют техническим условиям.

Расчет показал, что при данной нагрузке практически все элементы схемы имеют большой запас по всем параметрам. Так как рассеиваемая мощность элементов много меньше допустимой, то дополнительного теплоотвода не требуется, также некоторые элементы могут быть выбраны с меньшими предельными значениями, а значит, с меньшими размерами и более дешевые. Расчет при максимальной нагрузке не проводился.

На рис. 7.1.9.3 представлен один из графиков электрических параметров одного из элементов с учетом переходного процесса. Сравнения импульсных значений со значениями из технических условий не проводилось. Переходный процесс является одним из наиболее важных, так как замерить обычным способом (приборами) затруднительно, а во множестве случаев именно он является причиной отказа электронной аппаратуры.

Существует возможность проводить детальный анализ схемы при разных начальных условиях (различных входных сигналах и любой нагрузке, при этом настоящая аппаратура не откажет). Также можно проанализировать переходный процесс.

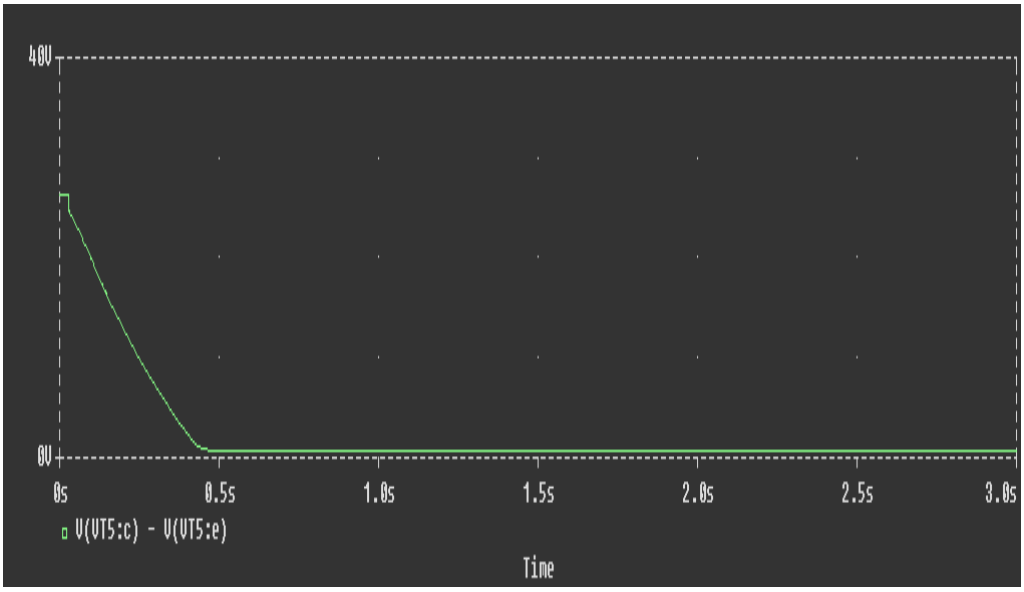


Рис. 7.1.9.3. График для транзистора 2Т819А2 VT5: Uкэ = 718 мВ (100 В)

7.1.10. Выводы

Анализ результатов моделирования тепловых процессов в стойке 18-02 показал следующие результаты.

При условии, что электровентиляторы, расположенные на втором и третьем этажах конструкции изделия, выключены (отсутствуют), короб свободен для прохода воздуха. В этом случае основная часть воздуха движется по коробу, поэтому к блокам, расположенным на 2-, 3- и 4-м этажах, подводится лишь его малая часть, что приводит к низкой эффективности работы системы кондиционирования.

Электровентиляторы включены, каждый из них создает расход воздуха 0,01944 $м^3/с$, короб свободен для прохода воздуха. Применение вентиляторов на втором и третьем этажах приводит к увеличению скоростей течения воздуха, однако из-за значительного аэродинамического сопротивления, создаваемого блоками, решётками и модулями, большая часть холодного воздуха все же движется по коробу, аэродинамическое сопротивление которого мало.

Электровентиляторы включены, каждый из них создает расход воздуха 0,01944 $м^3/с$, короб заполнен кабелями и закрыт для прохода воздуха. Весь воздушный поток движется через центральную часть конструкции, скорости воздуха на 2-, 3- и 4-м этажах значительно возрастают, однако в узких каналах второго и третьего этажа, а также 2…6 и 9…11 каналах четвертого этажа она остается низкой из-за их малой ширины и как следствие высокого аэродинамического сопротивления.

Моделирование блока ШС10-Е на различные воздействия в АСОНИКА-М показало, что модель не испытывает перегрузок и фактические напряжения в блоке далеки от превышения допустимых напряжений. Окончательный вывод о работоспособности блока в эксплуатационных условиях можно будет сделать только после расчета печатных узлов.

Моделирование блока на виброизоляторах в АСОНИКА-В показало, что применение виброизоляторов дает положительный эффект только при воздействии гармонической вибрации, так как при этом значительно снижаются виброускорения в рабочем диапазоне частот. Однако при ударных воздействиях, наоборот, происходит усиление колебаний. Необходимо провести анализ прочности конструкции блока и провести моделирование механических процессов в печатных узлах. Если при этом без виброизоляторов в конечном счете ускорения ЭРИ не превышают допустимые при всех видах воздействия, то возможно отказаться от применения виброизоляторов. Возможны и другие варианты, но окончательный

вывод можно сделать только после полного анализа блока и печатных узлов на все виды воздействий.

Была составлена общая таблица, в которую были внесены ЭРЭ и их характеристики. Далее составлялись таблицы для каждого ЭРЭ, в которые вносились размеры элементов, допустимые значения механических и тепловых воздействий, размеры посадочных мест и т.д.

Был создан виртуальный проект стойки 18-02 и входящего в нее блока ШС10-Е. В данный проект были занесены модули (ШС10-01Е, ШС10-02Е, ШС10-10Е, ШС10-30Е, ШС10-71Е, ШС10-103Е) с установленными в них печатными узлами. Также внесены ЭРЭ, установленные на ПУ. К каждому из элементов виртуального проекта были прикреплены технические документы. Добавлены виртуальные макеты блока и всех модулей.

В результате данной работы была сформирована комплексная электронная модель, составляющая виртуального макета, стойки 18-02 и блока ШС10-Е.

Разработанный виртуальный проект обеспечил взаимосвязь при комплексном моделировании физических процессов, реализацию единого информационного пространства, поддержку последующих этапов жизненного цикла изделия (производство, эксплуатацию). Существует возможность в любой момент просмотреть, отредактировать, внести новый нужный документ в данный проект, что значительно упрощает последующие модификации.

7.1.11. Расчет тепломеханических процессов печатных узлов блока ШС10-Е с помощью АСОНИКА-ТМ с учетом электрических процессов

7.1.11.1. Расчет тепломеханических процессов модуля ШС10-01Е

Задача расчета.

1. РАСЧЕТ ТЕПЛОМЕХАНИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ МОДУЛЯ ШС10-01Е

1.1. Расчет механических процессов печатного узла ШС10-011Е

1.2. Расчет тепловых процессов печатного узла ШС10-011Е

1.3. Расчет механических процессов печатного узла ШС10-012Е

1.4. Расчет тепловых процессов печатного узла ШС10-012Е

2. РАСЧЕТ ТЕПЛОМЕХАНИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ МОДУЛЯ ШС10-10Е

2.1. Расчет механических процессов печатного узла ШС10-101Е

2.2. Расчет тепловых процессов печатного узла ШС10-101Е

2.3. Расчет механических процессов печатного узла ШС10-102Е

2.4. Расчет тепловых процессов печатного узла ШС10-102Е

3. РАСЧЕТ ТЕПЛОМЕХАНИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ МОДУЛЯ ШС10-30Е

3.1. Расчет механических процессов печатного узла ШС10-301Е

3.2. Расчет тепловых процессов печатного узла ШС10-301Е

3.3. Расчет механических процессов печатного узла ШС10-302Е

3.4. Расчет тепловых процессов печатного узла ШС10-302Е

4. РАСЧЕТ ТЕПЛОМЕХАНИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ МОДУЛЯ ШС10-71Е

4.1. Расчет механических процессов печатного узла ШС10-71Е

4.2. Расчет тепловых процессов печатного узла ШС10-71Е

Из-за большого объема расчетов приводятся лишь расчет механических процессов печатного узла ШС10-011Е и расчет тепловых процессов печатного узла ШС10-011Е.

7.1.11.1.1. Расчет механических процессов печатного узла ШС10-011Е

Задача расчета.

Провести расчеты печатного узла (ПУ) в составе блока ШС10-Е при заданных механических воздействиях. На основании анализа механических характеристик ПУ сделать выводы о соответствии техническим условиям на ЭРИ по механическим характеристикам.

Данные для расчета.

В качестве исходных данных для расчета были получены чертежи ПУ ШС10-011Е и выходные файлы системы PCAD, а также параметры механических воздействий. Эскиз ПУ ШС10-011Е в АСОНИКА-ТМ приведен на рис. 7.1.11.1.

Графики механических воздействий представлены на рис. 7.1.11.2 – 7.1.11.5. Вначале проводится расчет непосредственно на данные воздействия. Затем в местах крепления ПУ задаются ускорения, полученные по результатам моделирования блока ШС10-Е, установленного на виброизоляторах.

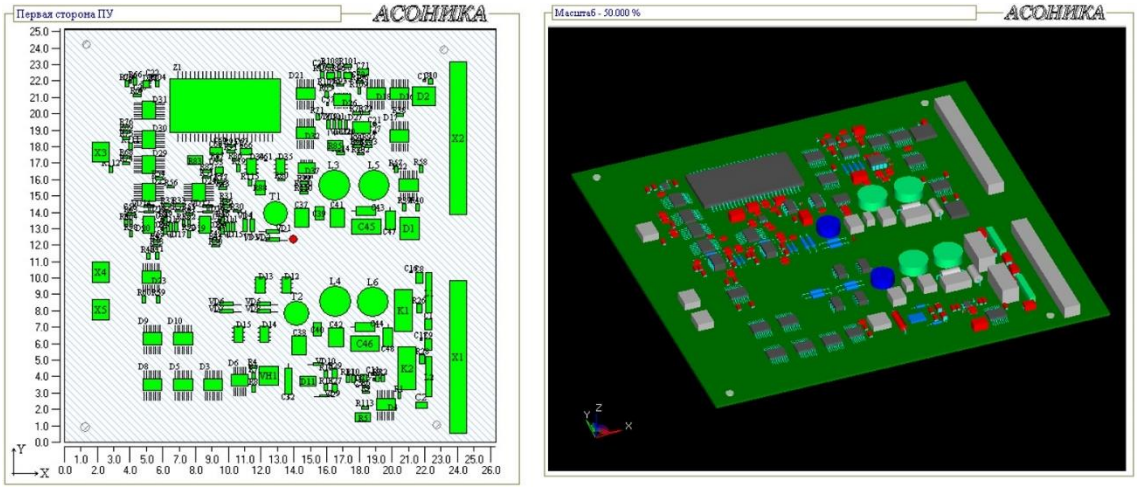


Рис. 7.1.11.1. Эскиз ПУ ШС10-011Е в подсистеме АСОНИКА-ТМ (сторона 1)

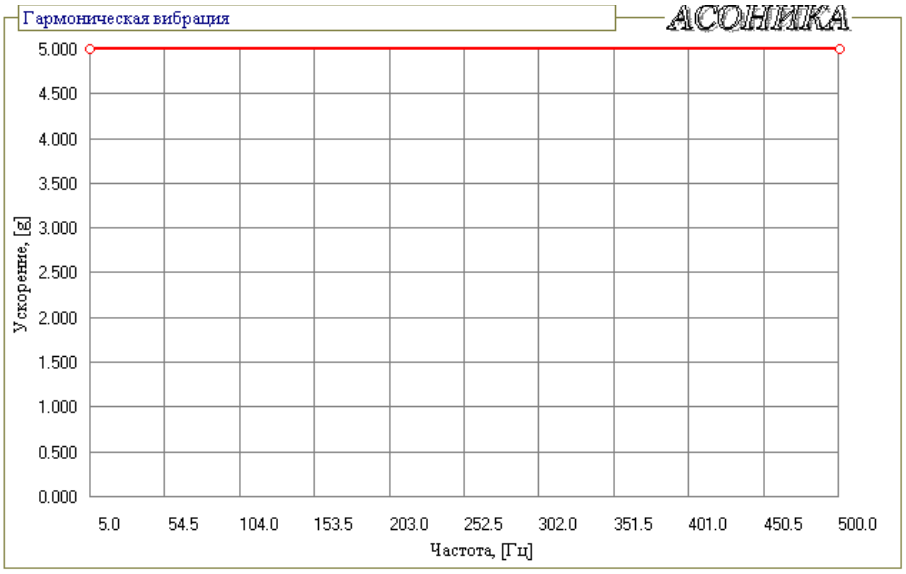


Рис. 7.1.11.2. Гармоническая вибрация

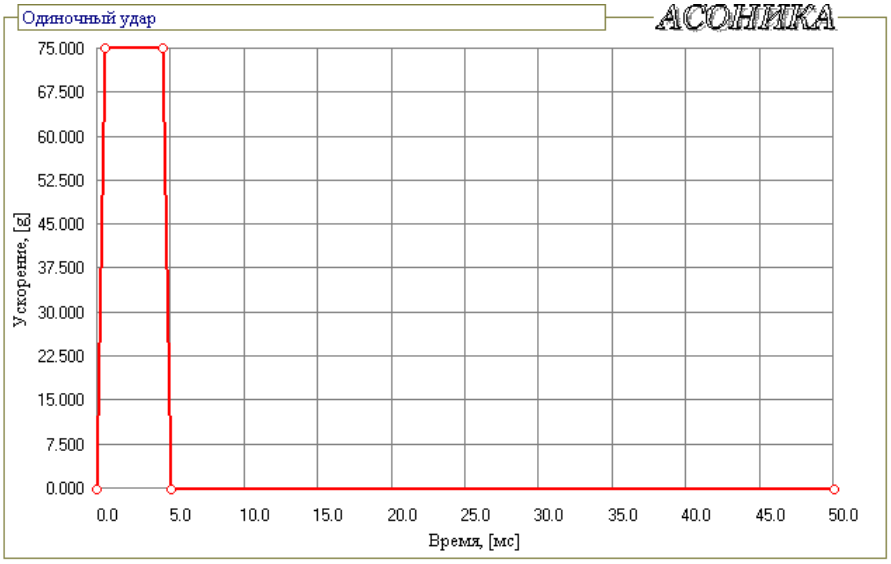


Рис. 7.1.11.3. Одиночный удар

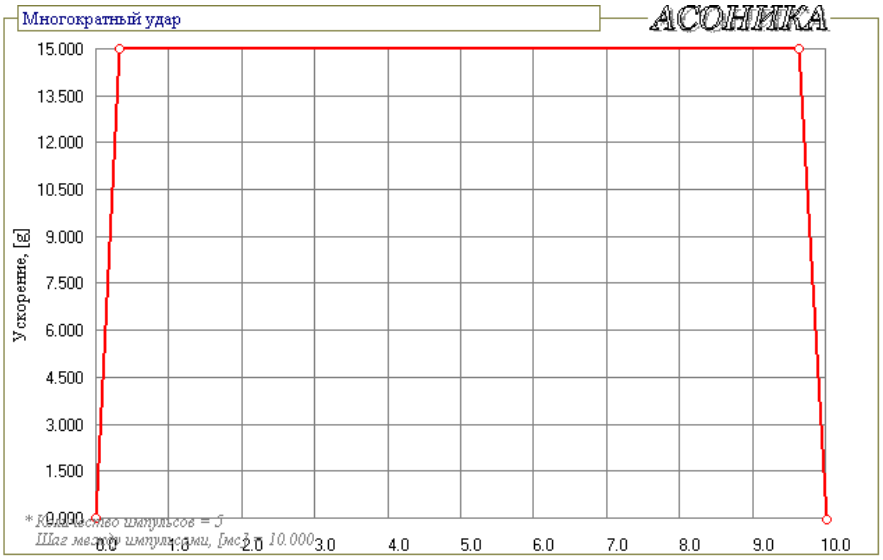


Рис. 7.1.11.4. Многократный удар

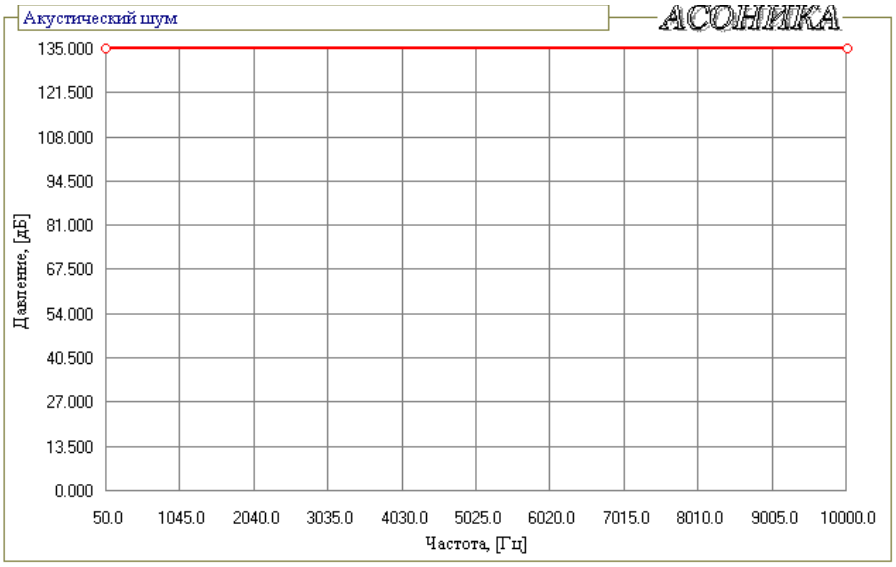


Рис. 7.1.11.5. Акустический шум

Результаты расчета.

На рис. 7.1.11.6 – 7.1.11.8 приведены результаты моделирования ПУ на воздействие гармонической вибрации. Карта механических режимов ЭРИ при воздействии гармонической вибрации представлена в таблице 7.1.11.1.

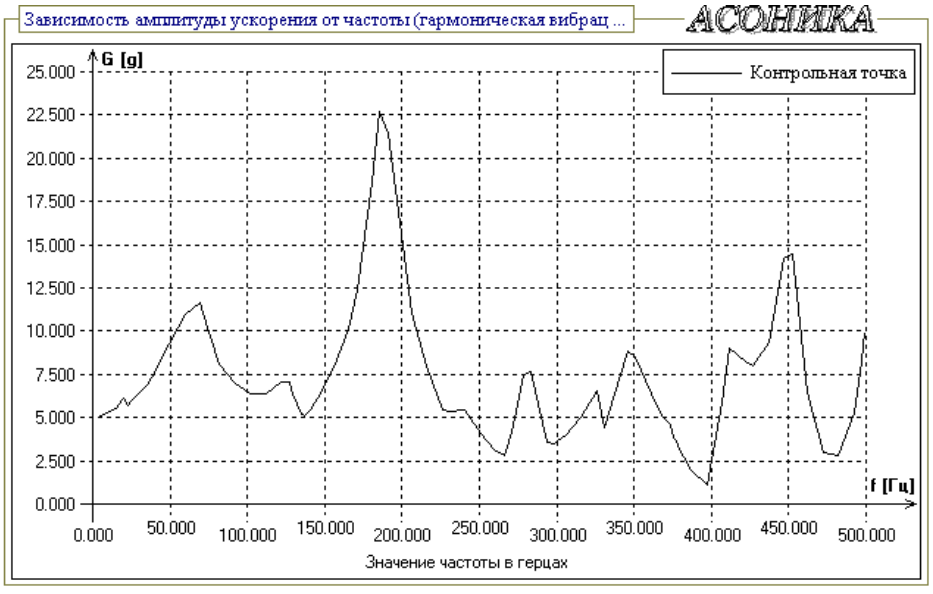


Рис. 7.1.11.6. Зависимость амплитуды ускорения гармонической вибрации от частоты в контрольной точке (в центре платы)

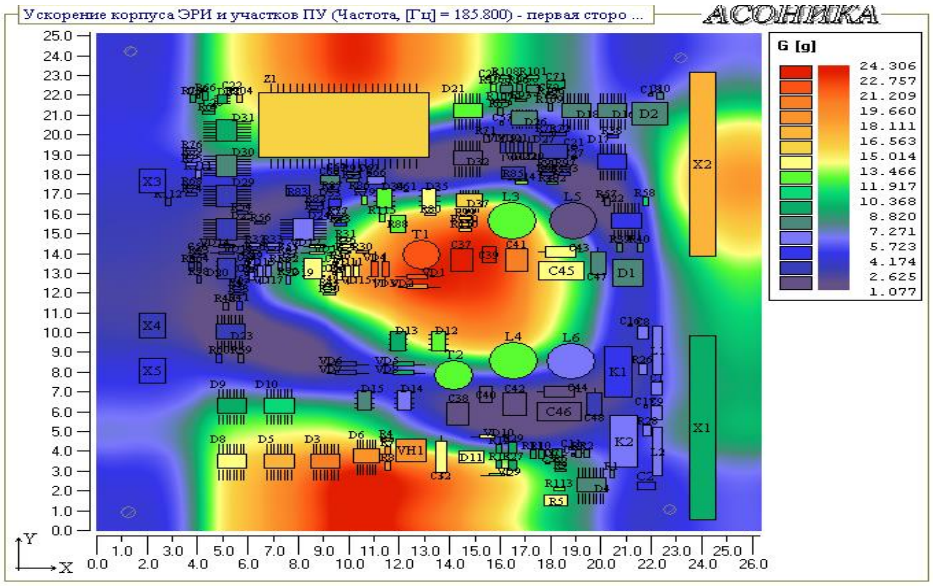


Рис. 7.1.11.7. Поле виброускорений при воздействии гармонической вибрации на резонансной частоте 186 Гц (на плоскости)

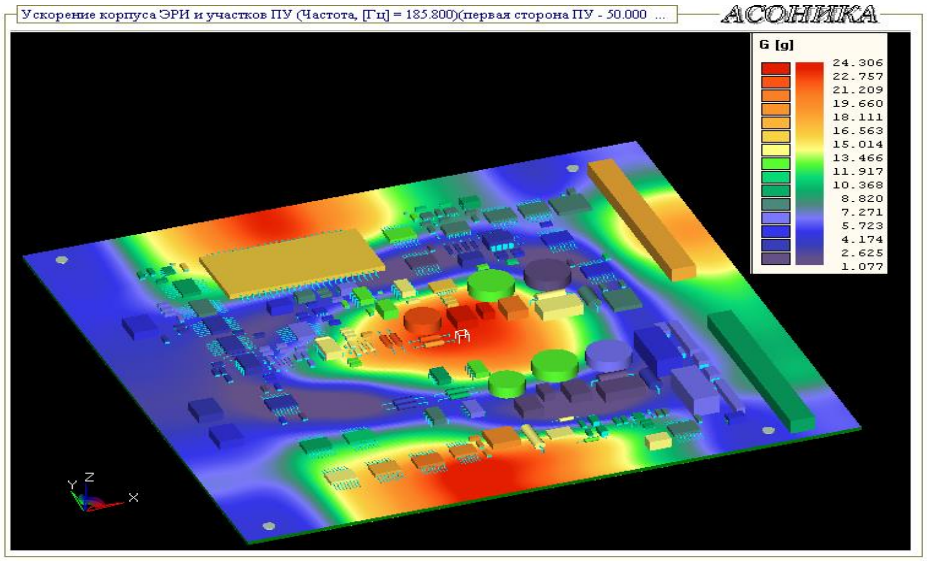


Рис. 7.1.11.8. Поле виброускорений при воздействии гармонической вибрации на резонансной частоте 186 Гц (в объеме)

Можно также вывести результаты моделирования ПУ на воздействие одиночного и многократного удара: зависимость ускорения одиночного и однократного удара от времени в контрольной точке (в центре платы), поля максимальных ускорений при воздействии одиночного и многократного удара на плоскости и в объеме, а также карты механических режимов ЭРИ при воздействии одиночного и многократного ударов. Аналогичные результаты можно получить и на воздействие акустического шума.

Некоторые результаты моделирования представлены на рис. 7.1.11.9 – 7.1.11.14.

Таблица 7.1.11.1

Карта механических режимов работы ЭРИ при гармонической вибрации для ПУ ШС10-011Е (фрагмент)

КАРТА МЕХАНИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ЭРИ (при гармонической вибрации)							
№ п/п	Обозначение ЭРИ	Сторона	Ускорение ЭРИ			Коэффициент механической нагрузки, отн. ед.	Перегрузка, g
			Частота, Гц	Максимальное расчетное, g	Максимальное допустимое по ТУ, g		
1	C1	1	499,500	8,064	40,000	0,202	
2	C10	1	499,500	12,525	40,000	0,313	
3	C11	1	452,000	17,256	40,000	0,431	
4	C16	1	345,800	24,178	40,000	0,604	
5	C17	1	499,500	8,064	40,000	0,202	
.....							
264	R89	2	412,000	14,780	40,000	0,370	

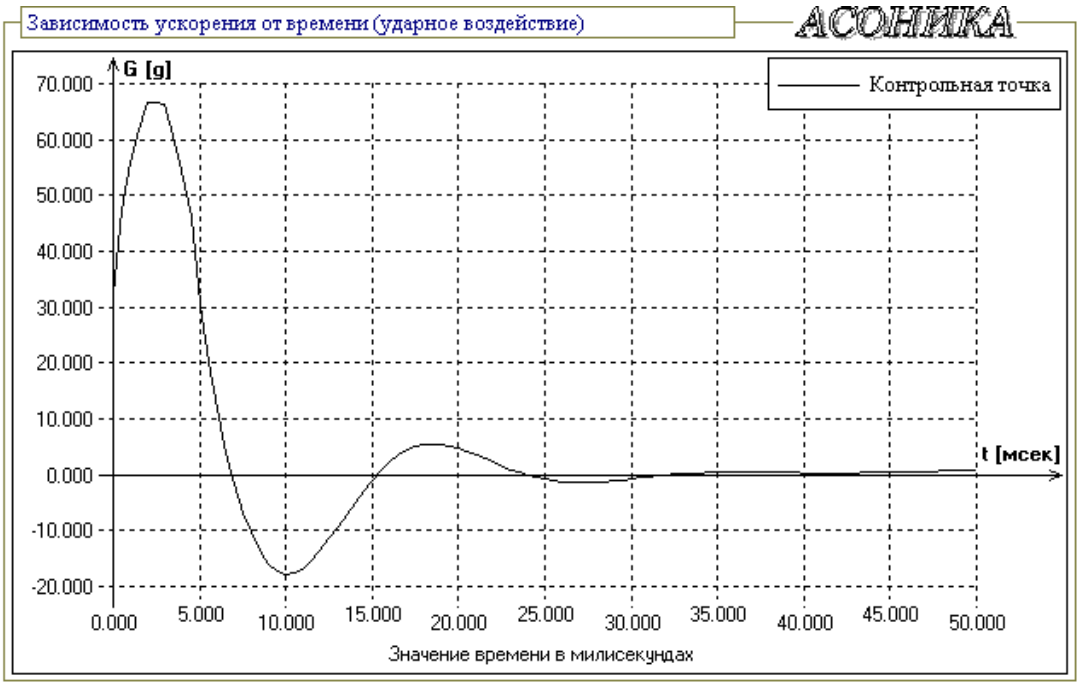


Рис.7.1.11.9. Зависимость ускорения одиночного удара от времени в контрольной точке (в центре платы)

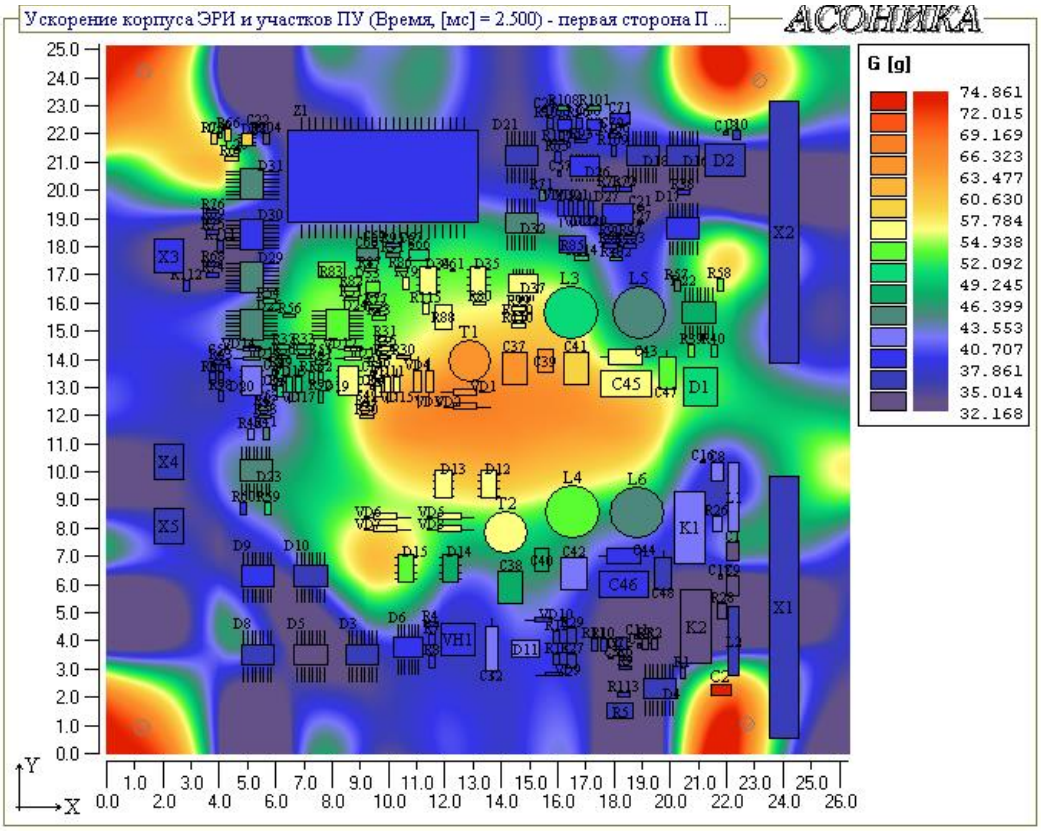


Рис. 7.1.11.10. Поле максимальных ускорений при воздействии одиночного удара (на плоскости)

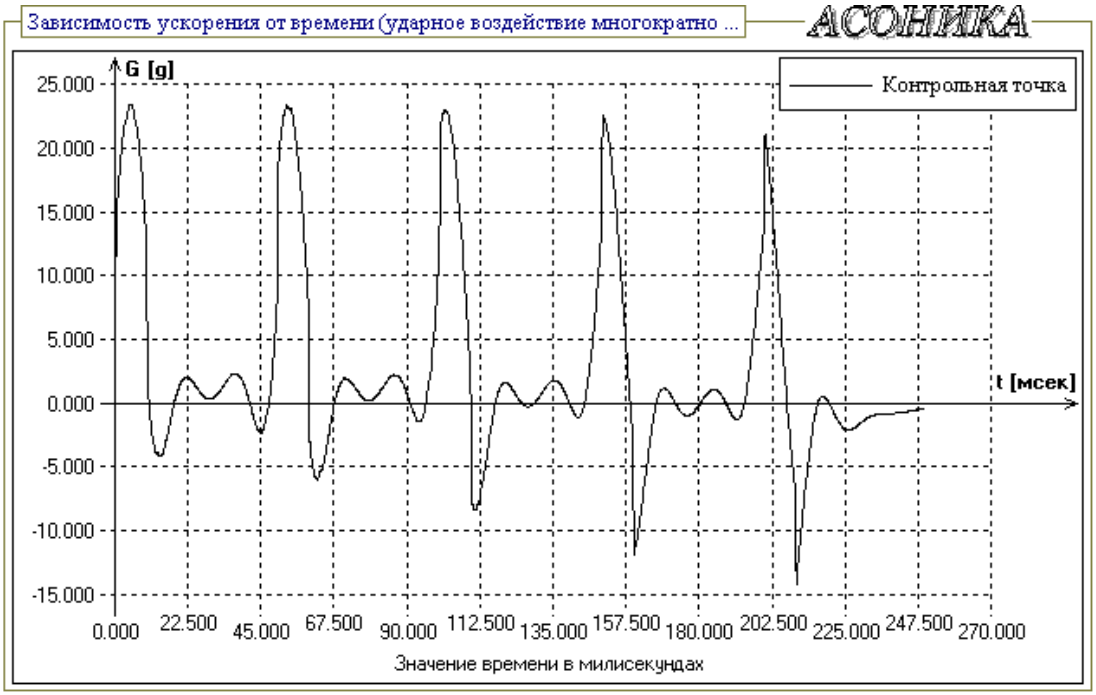


Рис. 7.1.11.11. Зависимость ускорения многократного удара от времени в контрольной точке (в центре платы)

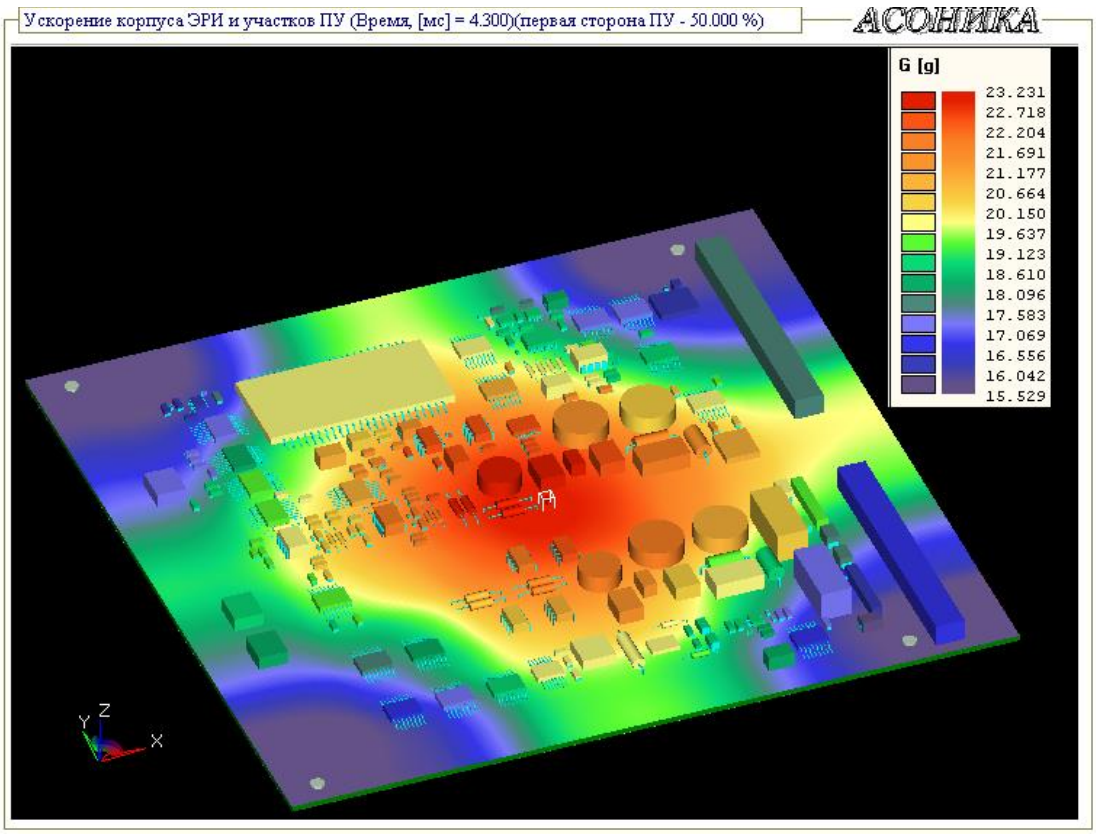


Рис.7.1.11.12. Поле максимальных ускорений при воздействии многократного удара (в объеме)

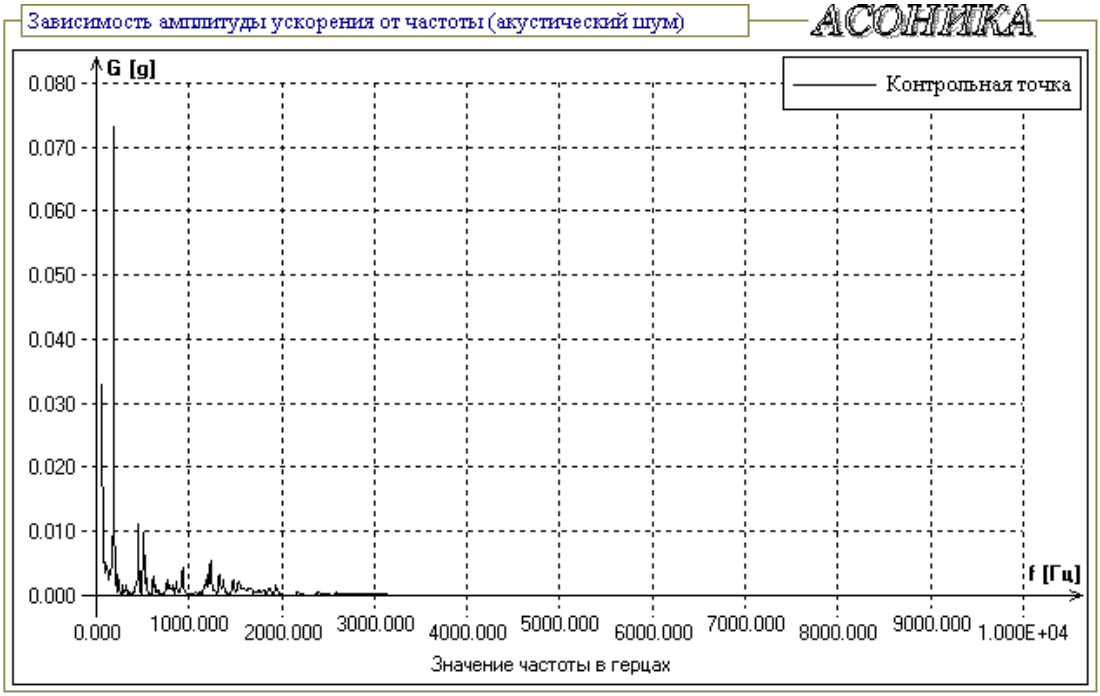


Рис. 7.1.11.13. Зависимость амплитуды ускорения акустического шума от частоты в контрольной точке (в центре платы)

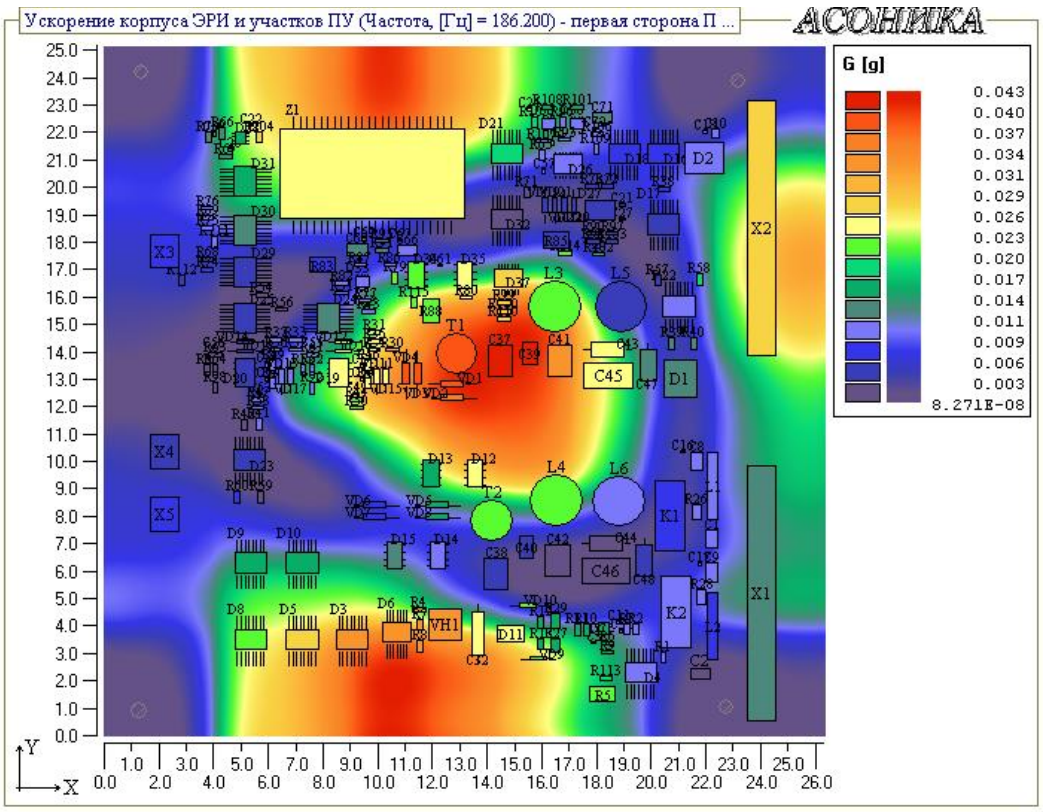


Рис. 7.1.11.14. Поле ускорений при воздействии акустического шума на резонансной частоте 186,2 Гц (на плоскости)

7.1.11.1.2. Расчет тепловых процессов печатного узла ШС10-011Е

Задача расчета.

Провести расчеты печатного узла (ПУ) в составе блока ШС10-Е при заданных тепловых воздействиях. На основании анализа тепловых характеристик ПУ сделать выводы о соответствии техническим условиям на ЭРИ по тепловым характеристикам.

Данные для расчета.

В качестве исходных данных для расчета были получены чертежи ПУ ШС10-011Е и выходные файлы системы PCAD, а также карты рабочих режимов ЭРИ. Эскиз ПУ ШС10-011Е в АСОНИКА-ТМ приведен на рис. 7.1.11.15 (первая сторона) и 7.1.11.16 (вторая сторона).

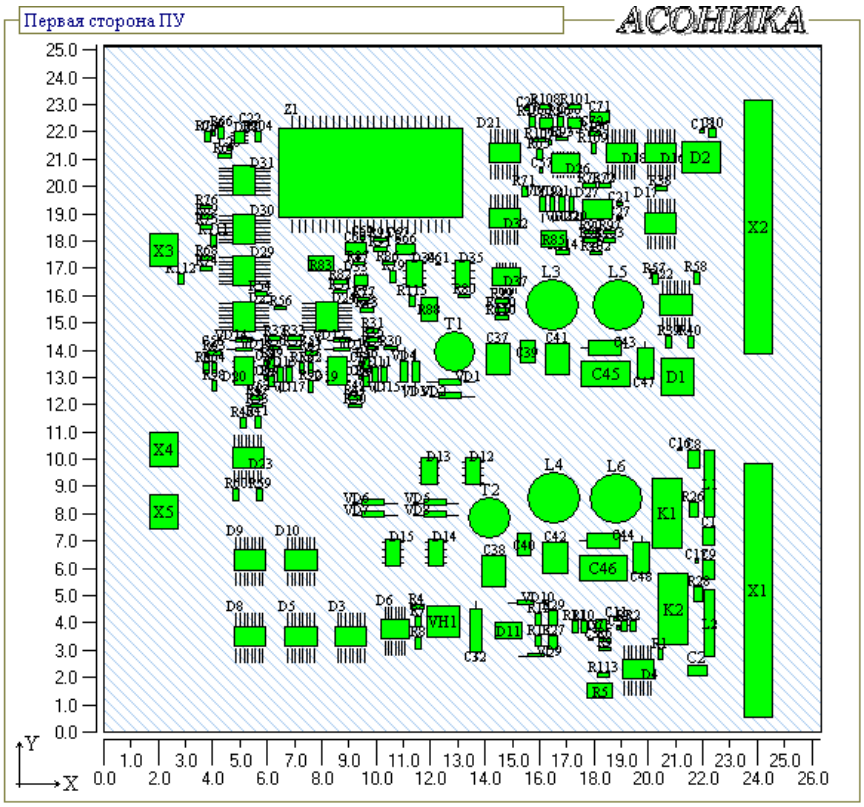
Мощности тепловыделения ЭРИ в ПУ 1350 мВт.

По результатам теплового расчета блока в АСОНИКА-Т получены следующие температуры воздуха внутри блока:

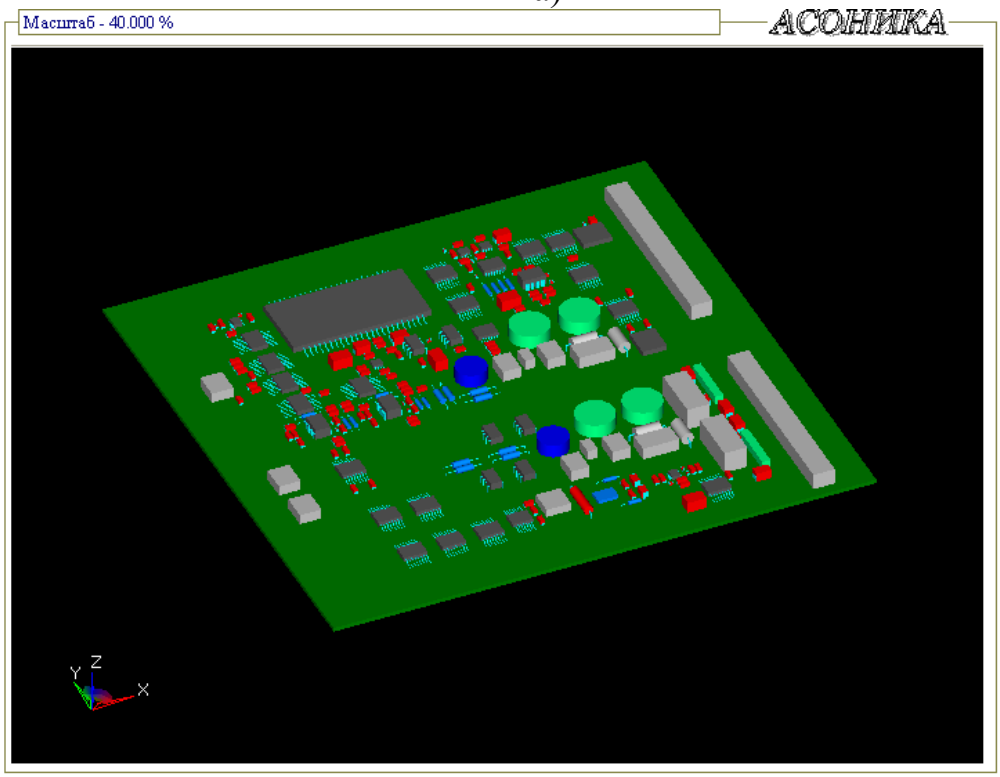
при естественной конвекции 100,2 °С;

при вынужденной конвекции при скорости продува 1 м/с 53 °С.

Используем данные значения температур в качестве граничных условий для теплового расчета ПУ.

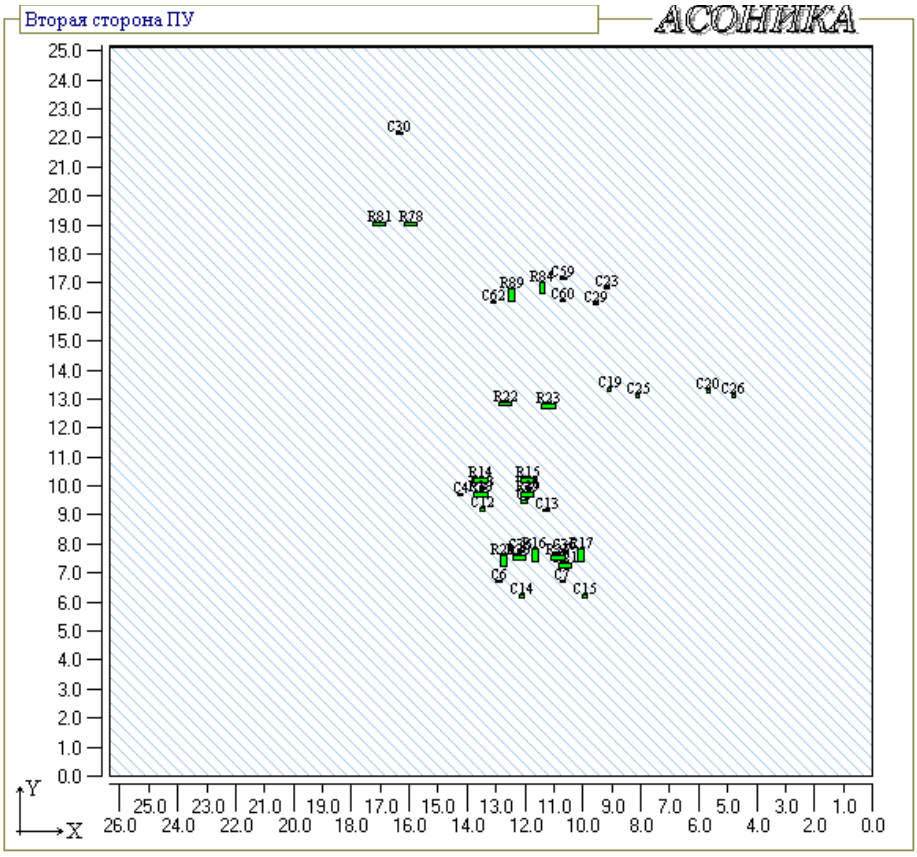


а)

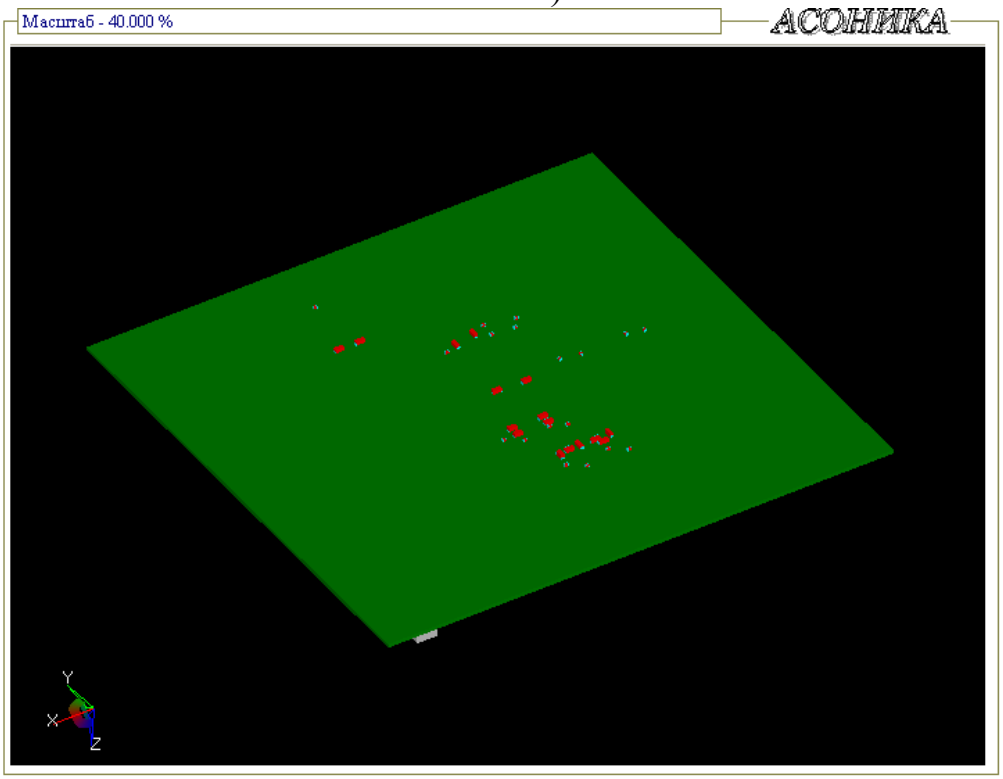


б)

Рис. 7.1.11.15. Эскиз ПУ ШС10-011Е, введенного в АСОНИКА-ТМ (сторона 1)



а)

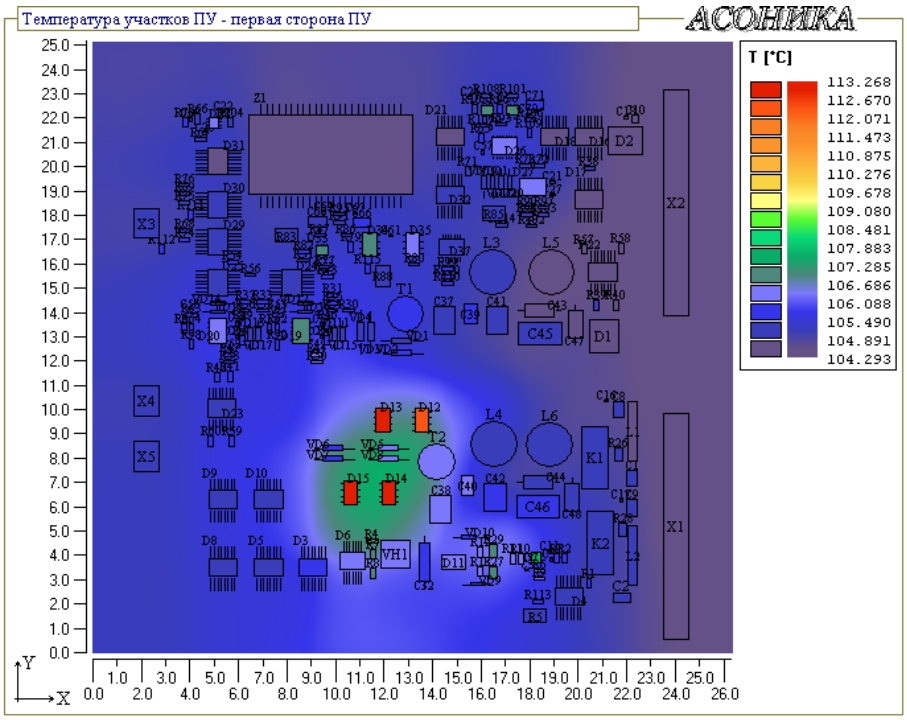


б)

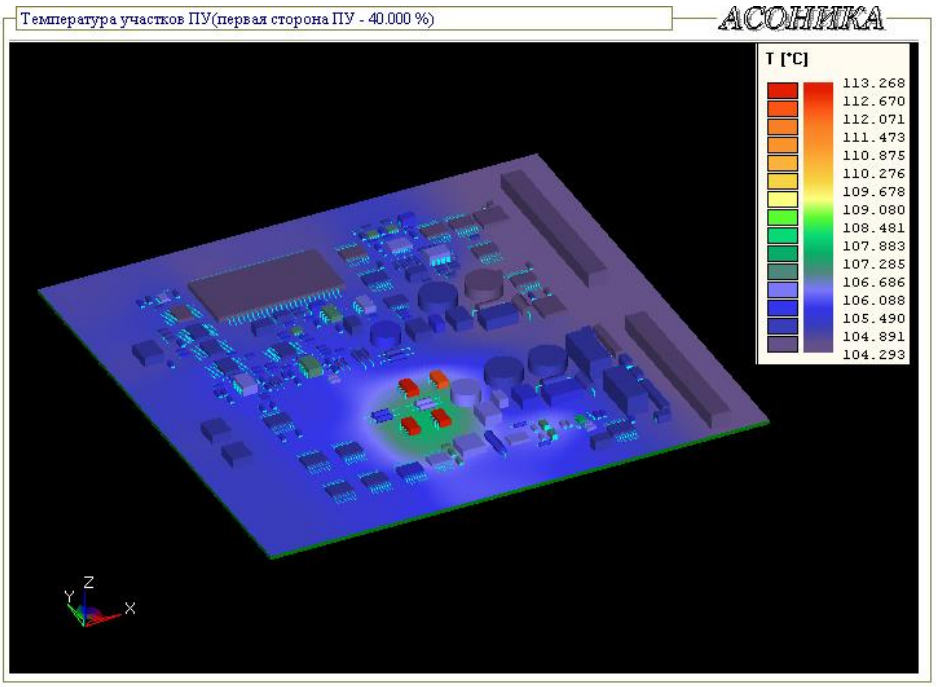
Рис. 7.1.11.16. Эскиз ПУ ШС10-011Е, введенного в АСОНИКА-ТМ (сторона 2)

Результаты расчета.

На рис. 7.1.11.17 и 7.1.11.18 приведены полученные тепловые характеристики ПУ в режиме 1 (воздуха внутри блока при естественной конвекции 100,2 °С) и в режиме 2 (воздуха внутри блока при вынужденной конвекции при скорости продува 1 м/с 53 °С). Карты тепловых режимов ЭРИ представлены соответственно в таблицах 7.1.11.2 и 7.1.11.3.



а)



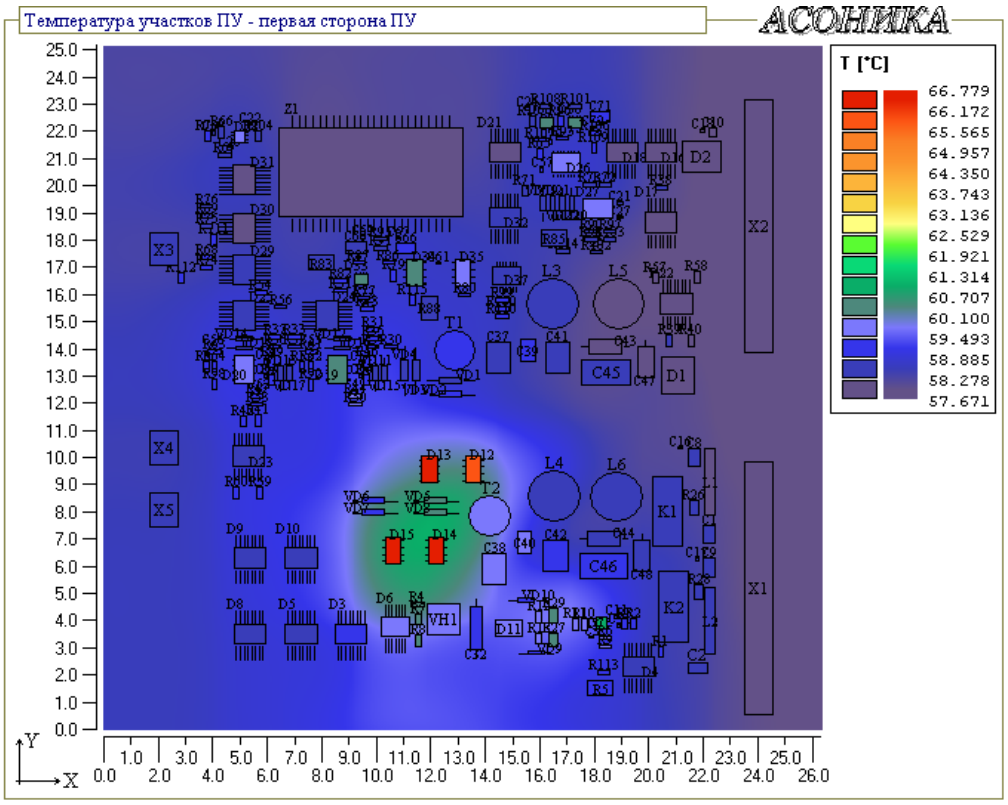
б)

Рис. 7.1.11.17. Поле температур для ПУ ШС10-011Е в режиме 1

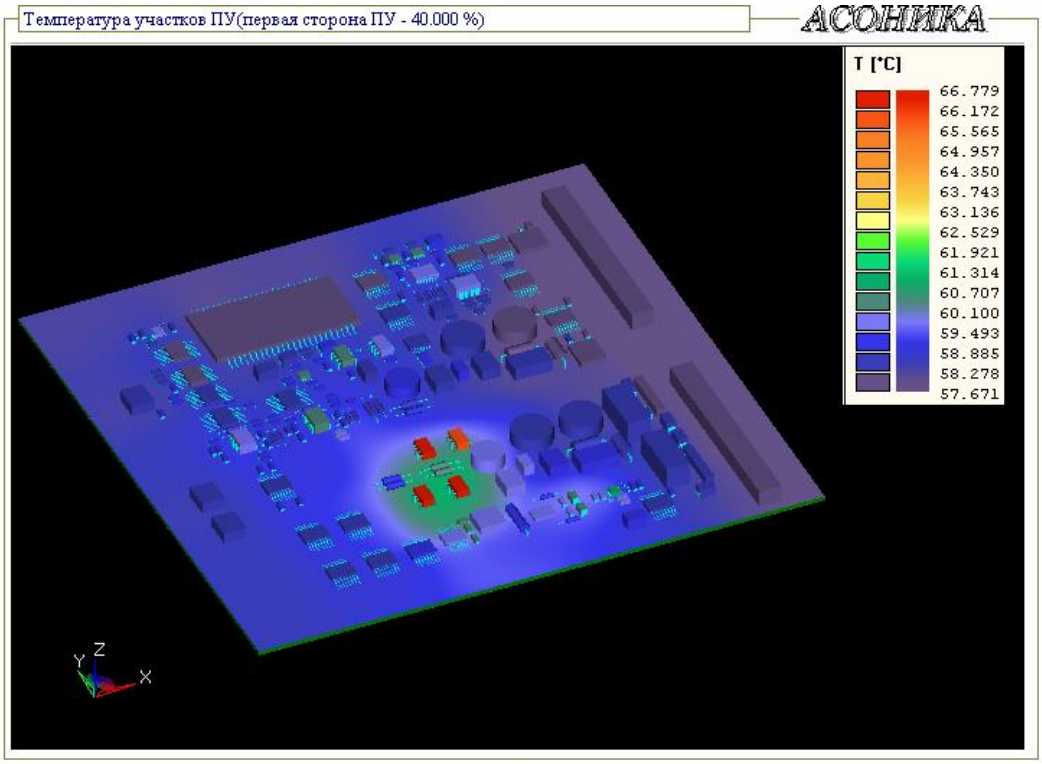
Таблица 7.1.11.2

Карта тепловых режимов работы ЭРИ при стационарном тепловом воздействии для ПУ ШС10-011Е в режиме 1 (фрагмент)

№ п/п	Обозначение ЭРИ	Сторона	Температура ЭРИ		Коэффициент тепловой нагрузки, отн. ед.	Перегрев, °С
			Расчетная, °С	Максимальная допустимая по ТУ, °С		
1	C1	1	105,046	100,000	1,050	5,046
2	C10	1	104,714	100,000	1,047	4,714
3	C11	1	105,581	100,000	1,056	5,581
4	C16	1	104,855	100,000	1,049	4,855
5	C17	1	105,048	100,000	1,050	5,048
51	D1	1	104,712	100,000	1,047	4,712
52	D10	1	105,466	85,000	1,241	20,466
53	D11	1	106,199	100,000	1,062	6,199
54	D12	1	112,471	85,000	1,323	27,471
55	D13	1	113,016	85,000	1,330	28,016
91	L1	1	104,790	100,000	1,048	4,790
92	L2	1	104,931	100,000	1,049	4,931
93	L3	1	104,925	100,000	1,049	4,925
94	L4	1	105,378	100,000	1,054	5,378
95	L5	1	104,644	100,000	1,046	4,644
96	L6	1	104,982	100,000	1,050	4,982
97	R1	1	105,578	100,000	1,056	5,578
98	R10	1	106,503	100,000	1,065	6,503
99	R100	1	105,530	100,000	1,055	5,530
100	R101	1	105,484	100,000	1,055	5,484
101	R102	1	105,200	100,000	1,052	5,200



а)



б)

Рис. 7.1.11.18. Поле температур для ПУ ШС10-011Е в режиме 2

Таблица 7.1.11.3

Карта тепловых режимов работы ЭРИ при стационарном тепловом воздействии для ПУ ШС10-011Е в режиме 2 (фрагмент)

№ п/п	Обозначение ЭРИ	Сторона	Температура ЭРИ		Коэффициент тепловой нагрузки, отн. ед.	Перегрев, °С
			Расчетная, °С	Максимальная допустимая по ТУ, °С		
1	C1	1	58,486	100,000	0,585	
2	C10	1	58,106	100,000	0,581	
3	C11	1	59,025	100,000	0,590	
4	C16	1	58,275	100,000	0,583	
5	C17	1	58,486	100,000	0,585	
6	C18	1	58,109	100,000	0,581	
7	C2	1	58,549	100,000	0,585	
8	C21	1	58,502	100,000	0,585	
9	C22	1	58,651	100,000	0,587	
10	C24	1	58,651	100,000	0,587	
11	C27	1	58,491	100,000	0,585	
12	C28	1	58,856	100,000	0,589	
13	C3	1	59,946	100,000	0,599	
14	C31	1	59,027	100,000	0,590	
15	C32	1	59,239	100,000	0,592	
16	C37	1	58,798	100,000	0,588	
17	C38	1	59,860	100,000	0,599	
18	C39	1	58,926	100,000	0,589	
19	C40	1	60,015	100,000	0,600	
20	C41	1	58,327	100,000	0,583	
……...						
264	R89	2	59,111	100,000	0,591	

Выводы.

Расчет механических характеристик первого ПУ ШС10-011Е показал соответствие техническим условиям на все ЭРИ по механическим характеристикам. При установке блока на виброизоляторы все ЭРИ также соответствуют техническим условиям

по механическим характеристикам при всех видах механических воздействий. Расчет теплового режима ПУ ШС10-011Е в составе блока показал несоответствие техническим условиям на все ЭРИ по тепловым характеристикам для 1-го режима (температуры всех ЭРИ превышают максимально допустимые значения по ТУ) и полное соответствие техническим условиям на все ЭРИ по тепловым характеристикам для 2-го режима (тепловые перегрузки отсутствуют).

7.1.12. Исследование надежности блока ШС10-Е

7.1.12.1. Идентификация параметров ЭРИ изделия ШС10-Е

АСОНИКА-К – программное средство, созданное в технологии «клиент-сервер». Она может быть установлена на персональный компьютер, в локальную или глобальную сеть. Подсистема может функционировать как в автономном режиме, так и в составе системы АСОНИКА или других промышленных САПР. Время эксплуатации подсистемы пользователем без сопровождения разработчиков определяется сроками изменения данных о надежности ЭРИ (сроками переиздания).

АСОНИКА-К состоит из двух частей (клиентской и серверной), взаимодействие между которыми осуществляется через канал связи (сеть) с использованием HTTP-протокола для обмена данными.

Серверная часть подсистемы включает в себя интерфейс администратора сервера, серверную часть расчетного ядра, серверную часть модуля сопряжения, справочную систему и справочную часть (СЧ) базы данных (БД).

Клиентская часть подсистемы включает в себя интерфейс пользователя, клиентскую часть расчетного ядра, клиентскую часть модуля сопряжения и проектную часть (ПЧ) БД.

Интерфейс пользователя обеспечивает простоту работы с подсистемой, возможность работы с подсистемой любым пользователям, обладающим лишь элементарными навыками работы с ПК.

База данных подсистемы обеспечивает хранение параметров моделей надежности ЭРИ, параметров схемы расчета надежности проектируемой РЭА и защиту от несанкционированного доступа. На основе анализа современных систем управления БД была выбрана

наиболее совершенная среди них – СУБД Oracle, для которой были разработаны таблицы, определены связи между ними и ключевые поля. Oracle представляет собой СУБД, обеспечивающую создание реляционной базы данных, которая позволяет хранить информацию в виде связанных таблиц.

База данных подсистемы состоит из трех частей – справочной части (СЧ), проектной части (ПЧ) и архивной части (АЧ).

Ключевыми полями СЧ БД подсистемы являются параметры записи ЭРИ в конструкторской документации. В СЧ БД хранятся численные значения параметров моделей надежности ЭРИ и математические модели надежности. СЧ БД имеет интерфейсы связи с математическим ядром подсистемы и интерфейсом администратора БД.

В соответствии с ТЗ на проведение работ была поставлена задача создания базы данных по надежности ЭРИ иностранного производства (ИП), в соответствии с номенклатурой, предоставленной заказчиком.

Все работы по созданию справочника можно разделить на несколько этапов:

разработка структуры и математического аппарата справочника;

проведение идентификации номенклатуры изделий, в соответствии со структурой справочника;

создание справочника в среде СУБД Oracle 9i.

Разработка структуры справочника.

Исходя из последних тенденций развития военно-промышленного комплекса, в области комплектования аппаратуры ЭРИ, а также основываясь на иностранных справочниках по надежности, была разработана градация классов ЭРИ, которая в большей мере отвечает требованиям проектирования современной аппаратуры специального назначения.

Следующим шагом стал анализ номенклатуры ЭРИ, предоставленной заказчиком. После предварительной идентификации были выбраны классы ЭРИ, к которым относятся типономиналы из ограничительного перечня. Таким образом, был составлен следующий список классов ЭРИ:

микропроцессоры и микроконтроллеры;

микросхемы запоминающих устройств;

программируемые логические интегральные схемы (ПЛИС);
преобразователи ЦАП и АЦП;
аналоговые микросхемы;
связные и радиотехнические ИС;
интерфейсные ИС;
источники вторичного и бесперебойного питания (ВИП и ИБП);
полупроводниковые приборы и модули на их основе;
силовые и СВЧ интегральные схемы;
соединители и коммутационные устройства;
конденсаторы;
резисторы;
трансформаторы;
чип-индуктивности, дроссели, линии задержки;
знакосинтезирующие индикаторы.

Идентификация ЭРИ.

Под параметрической идентификацией следует понимать процесс определения параметров математической модели расчета надежности, для каждого конкретного типа ЭРИ.

Процесс идентификации ЭРИ иностранного производства можно изобразить в виде алгоритма, приведенного на рис. 7.1.12.1.1.

При выполнении идентификации ЭРИ согласно данному алгоритму, следует отметить некоторые пункты.

Во-первых, для получения достоверной информации о параметрах изделий ЭКБ ИП (поиска аналогов ТУ) были использованы информационные материалы фирм-производителей (так называемые data sheet), приближенно напоминающие отечественные ТУ.

Во-вторых, при проверке достаточности информации, найденной в аналогах ТУ, не всегда эта информация была достаточна для расчетов надежности, в таких случаях, согласно блоку 9 (рис. 7.1.12.1.1), проводился поиск усредненных параметров технологических групп и подгрупп в справочниках по надежности изделий иностранного производства.

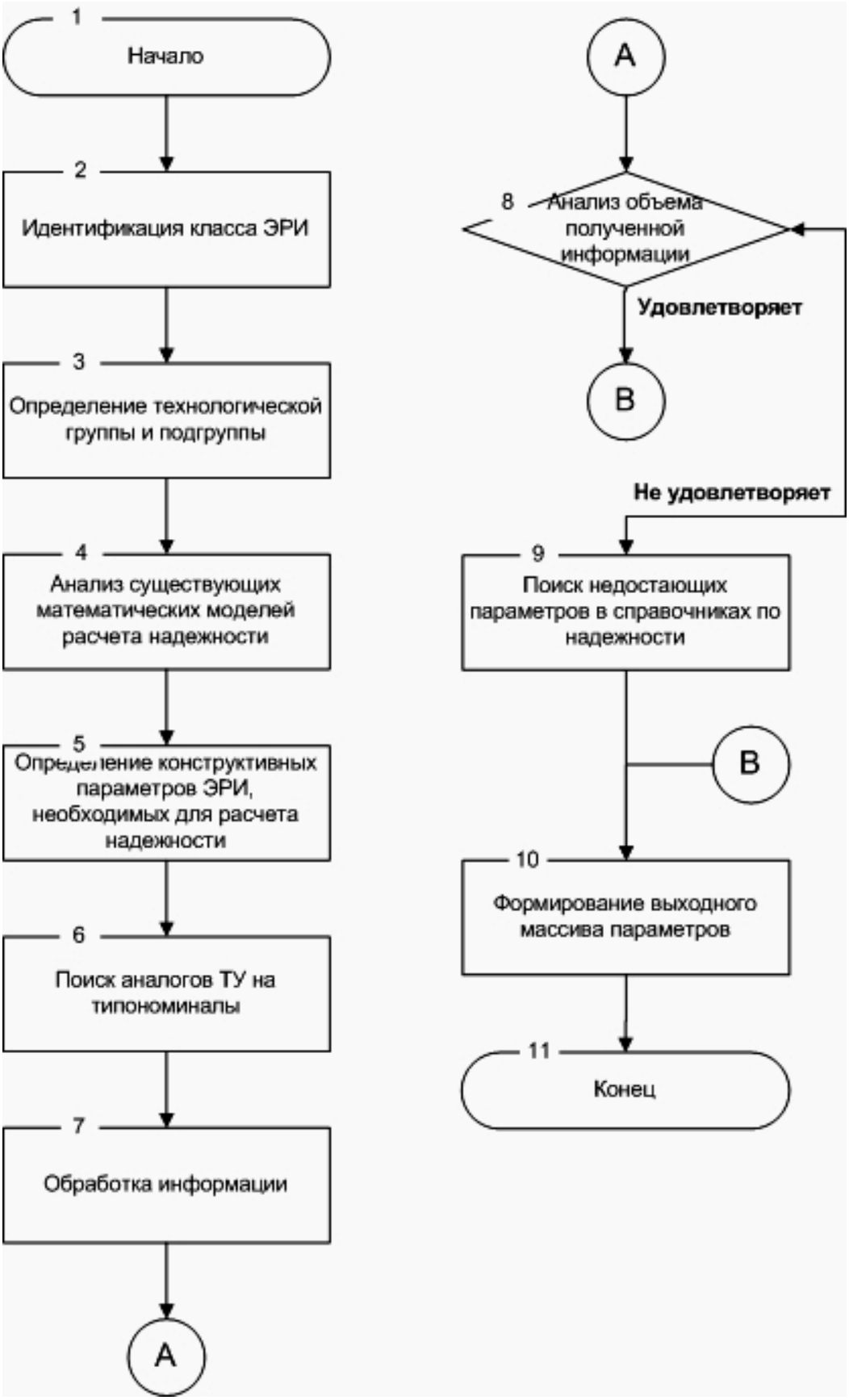


Рис. 7.1.12.1.1. Блок-схема алгоритма процесса идентификации ЭРИ

В результате проведения идентификации все типономиналы из списка были отнесены к определенному классу ЭРИ и, в соответствии с выбранными ранее математическими моделями, были найдены все необходимые параметры.

Создание базы данных.

Рассмотрим процесс создания класса ЭРИ на примере класса «Микросхемы запоминающих устройств».

В качестве математической модели для расчета интенсивности отказов данного типа микросхем была выбрана модель из справочника следующего вида:

$$\lambda_Э = (C_1 P_T + C_2 P_E + \lambda_{CYC}) P_q P_L,$$

где $\lambda_э$ – эксплуатационная интенсивность отказов, [1/ч];

C_1 – интенсивность отказов, связанная с отказами кристалла (зависит от сложности микросхемы, т.е. от количества бит информации), 1/ч;

P_T – коэффициент, учитывающий влияние повышенной температуры на отказ кристалла микросхемы (учет влияния теплового сопротивления, электрической нагрузки по мощности, температуры окружающей среды и т.д.), отн. ед.;

C_2 – интенсивность отказов, связанная с отказами корпуса (определяется типом корпуса и количеством выводов), 1/ч;

P_E – коэффициент эксплуатации, учитывающий жесткость условий эксплуатации изделия, отн. ед.;

λ_{CYC} – интенсивность отказов, связанная с количеством циклов запись/считывание (учитывает отказы блоков оперативной памяти микросхемы), 1/ч;

P_q – коэффициент приемки, отражающий степень жесткости требований к контролю качества и правила приемки изделий, отн. ед.;

P_L – коэффициент, зависящий от отработанности технологического процесса производства ИМС, отн. ед.

Таким образом, исходя из математической модели, формируется список параметров, хранящихся в базе, которые необходимы для проведения расчета надежности. В данном случае это следующие величины:

объем памяти, т.е. количество бит запоминающего устройства, для определения коэффициента C_1 по расчетным формулам;

тепловое сопротивление кристалл-корпус, а также энергия активации, для определения коэффициента P_T;

тип корпуса и количество выводов (внешних и внутренних), для определения коэффициента C_2;

количество циклов запись/считывание, для расчета λ_{CYC};

период нахождения данного ЭРИ в производстве для определения P_L.

Для удобства использования был создан отдельный справочник в БД, под названием «Изделия ЭКБ ИП заказчика», в который были интегрированы все классы ЭРИ, присутствующие в номенклатуре.

Таким образом, была создана реляционная база данных по изделиям иностранного производства, скомпонованная в отдельный справочник. Для удобства навигации и поиска конкретных типономиналов при проведении расчетов надежности создан Отчет, в котором описана вся номенклатура ЭРИ ИП, с указанием названия справочника, а также названия классов ЭРИ, к которым они принадлежат.

7.1.12.2. Исследование надежности электронных ячеек блока ШС10-Е

Задача расчета.

Исследование надежности электронных ячеек блока ШС10-Е.

1. Расчет надежности устройства вторичного электропитания ШС10-71Е.
2. Расчет надежности ячейки ШС10-30Е.
3. Расчет надежности ячейки ШС10-10Е.
4. Расчет надежности ячейки ШС10-01Е.
5. Расчет надежности ячейки ШС10-02Е.

Расчет надежности проведен в соответствии с ГОСТ Р 27.301-95 «Надежность в технике. Расчет надежности. Основные положения».

Устройство вторичного электропитания ШС10-71Е, электронные ячейки (ЭЯ) ШС10-30Е, ШС10-10Е, ШС10-01Е, ШС10-02Е предназначены для установки на наземные подвижные объекты.

ЭЯ должны выдерживать условия эксплуатации наземной аппаратуры группы 1.4 по ГОСТ Р В 20.39.304-98, исполнения «О» - «Аппаратура объектов на колесных и гусеничных шасси с противопульным бронированием, не имеющих артиллерийско-минометного вооружения». Возможность установки изделия в любом месте объекта, кроме моторно-трансмиссионного отделения.

ЭЯ являются невосстанавливаемыми изделиями. Контроль исправности ЭЯ осуществляется с помощью автоматической системы контроля (АСК) изделия, которая обеспечивают практически непрерывный и полный контроль работоспособности.

При проведении расчета надежности были приняты следующие допущения:

отказы ЭЯ представляют собой случайные независимые события;

время работы до отказа ЭЯ является случайной величиной, распределенной по экспоненциальному закону с постоянным параметром λ;

УВЭП ШС10-71Е и ЭЯ относятся к аппаратуре вида I в соответствии с ГОСТ В 20.39.303-98, имеющей два уровня качества функционирования;

ЭЯ работают в непрерывном режиме (допускаются перерывы на проведение технического обслуживания в составе системы);

расчет показателей надежности ЭЯ выполнен по данным об электрических параметрах и режимах работы ЭРИ.

Расчет показателей надежности ЭЯ выполнен при следующем предположении: глубина контроля ШС10-71Е, ШС10-30Е, ШС10-10Е, ШС10-01Е, ШС10-02Е при последней, перед ежесуточной эксплуатацией в составе системы, проверке его в условиях технической позиции (ТП) близка к единице. Это значит, что при положительном результате проверки в эксплуатацию поступает полностью исправные ШС10-71Е, ШС10-30Е, ШС10-10Е, ШС10-01Е, ШС10-02Е.

Требования по надежности:

нормируемая характеристика надежности – среднее время наработки до отказа (показатель безотказности);

критерий отказа ШС10-71Е, ШС10-30Е, ШС10-10Е, ШС10-01Е, ШС10-02Е – отказ любого его ЭРИ;

среднее время наработки до отказа ШС10-71Е, ШС10-30Е, ШС10-10Е, ШС10-01Е, ШС10-02Е без восстановления в процессе работы (T_0) – не менее 150000 [ч].

1. Расчет надежности устройства вторичного электропитания ШС10-71Е.

Расчет надежности ШС10-71Е проведен в рамках выполнения обязательных мероприятий ПОНр. Для непосредственного выполнения расчета использовалась АСОНИКА-К, рекомендованная в РДВ 319.01.05-94, ред. 2-2000.

Данные для расчета.

Расчетные условия эксплуатации.

Параметры механических воздействий:

синусоидальная вибрация – диапазон частот от 5 до 500 Гц;

ускорение – 49,5 м/с^2 (5g);

общее число механических ударов многократного действия – 45000.

Параметры климатических воздействий:

требования по воздействию повышенной температуры среды – 50 °С,

требования по воздействию пониженной температуры среды – минус 40 °С.

При расчете надежности изделия ШС10-71Е, для получения нижней оценки показателей надежности, принимаем за рабочую температуру окружающей среды предельные значения температуры, равные +50 °С в режиме эксплуатации и +25 °С в режиме хранения.

Режим работы изделия ШС10-71Е предполагается непрерывный (с перерывами на проведение технического обслуживания в составе системы).

Результаты расчета.

Показателем безотказности ШС10-71Е является его средняя наработка до отказа без восстановления в процессе работы. Безотказность ШС10-71Е характеризуется совокупностью интенсивностей отказов его составных частей (ЭРИ). Схема расчета надежности (СРН) ШС10-71Е, соответствующая заданному критерию отказа, представляет собой последовательное соединение ЭРИ (см. рис. 7.1.12.2.1).



Рис. 7.1.12.2.1. Схема расчета надежности ШС10-71Е

Предварительный расчет надежности ШС10-71Е.

На рис. 7.1.12.2.2 показано окно АСОНИКА-К с результатами расчетов ШС10-71Е.

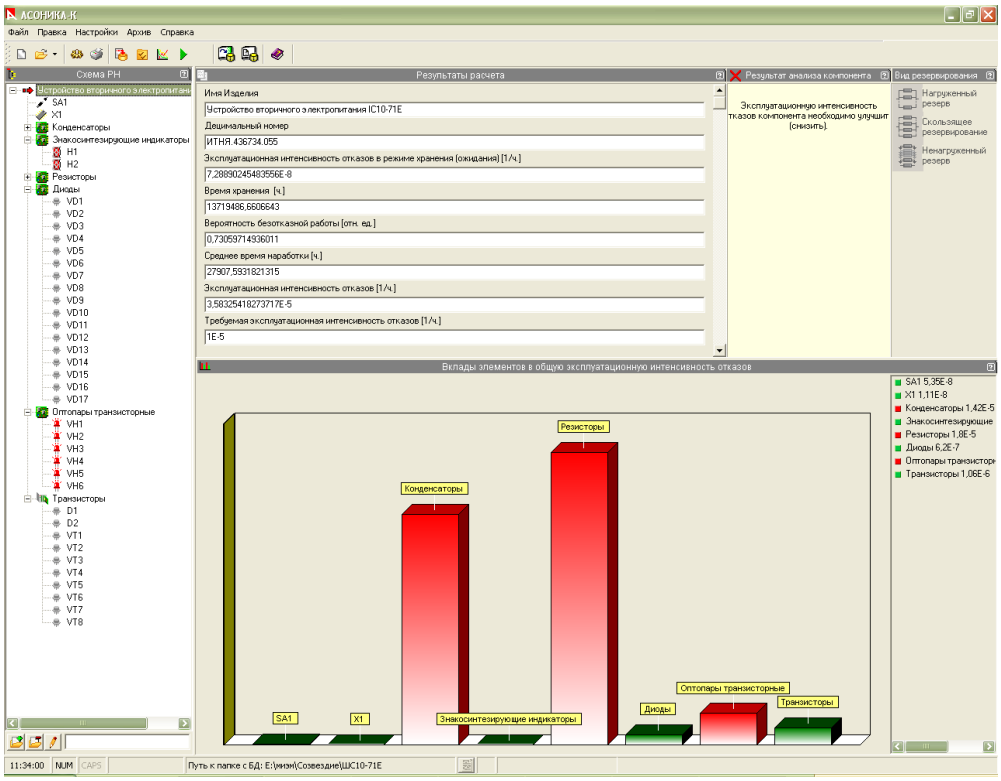


Рис. 7.1.12.2.2. АСОНИКА-К: результаты расчетов ШС10-71Е (предварительный расчет)

Полученное в результате расчета значение средней наработки ШС10-71Е составляет ≈ 27,907 тыс. ч (для коэффициентов электрической нагрузки, равных 0,7 при температуре 50 °С), что не удовлетворяет требованиям ТУ (T_0 = 150 тыс. ч).

$\lambda э$: 3,58325418273717E-5.

Интенсивность отказов в режиме ожидания: 7,28890245483556E-8.

Некоторые результаты предварительного расчета надежности представлены на рис. 7.1.12.2.3, 7.1.12.2.4 и в табл. 7.1.12.2.1, 7.1.12.2.2.

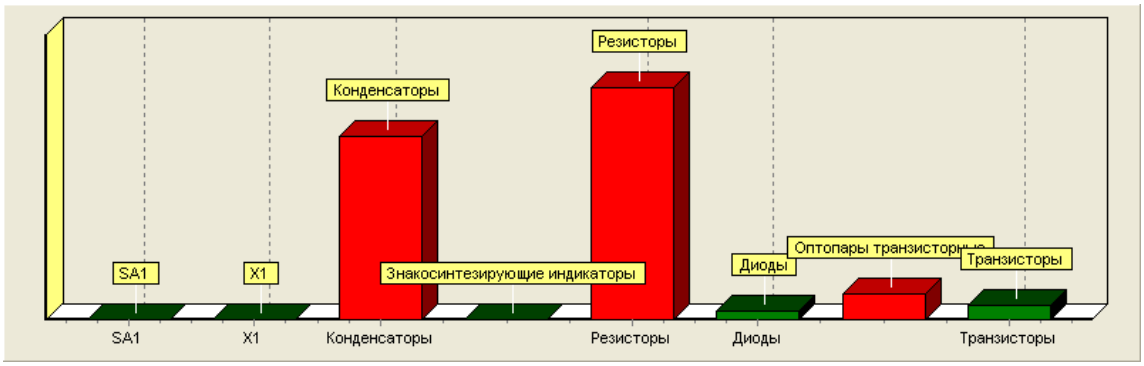


Рис. 7.1.12.2.3. Интенсивности отказов компонентов первого уровня в изделии «Устройство вторичного электропитания ШС10-71Е» (предварительный расчет)

Таблица 7.1.12.2.1

Результаты предварительного расчета надежности компонентов первого уровня в изделии «Устройство вторичного электропитания ШС10-71Е»

Наименование компонента	Эксплуатационная интенсивность отказов	Интенсивность отказов в режиме ожидания
SA1	5,35e^{-08}	5,96e^{-10}
X1	1,11e^{-08}	2,20e^{-10}
Конденсаторы	1,42e^{-05}	1,26e^{-08}
Знакосинтезирующие индикаторы	6,33e^{-09}	1,89e^{-10}
Резисторы	1,80e^{-05}	3,73e^{-09}
Диоды	6,20e^{-07}	1,01e^{-09}
Оптопары транзисторные	1,95e^{-06}	5,40e^{-08}
Транзисторы	1,06e^{-06}	5,30e^{-10}

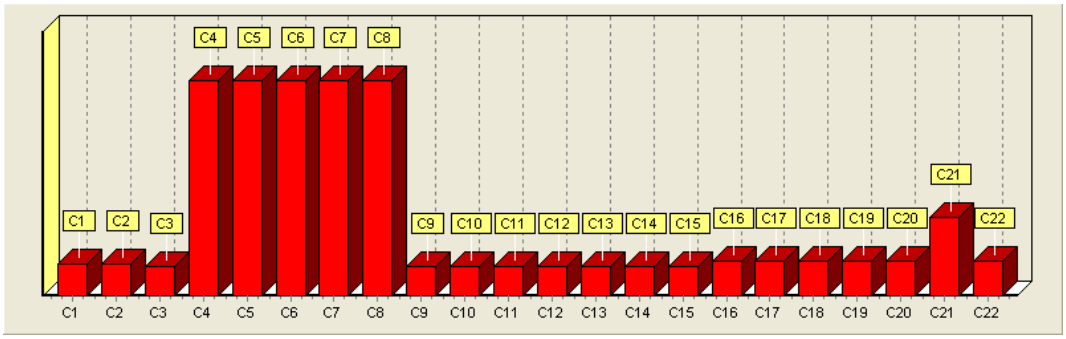


Рис. 7.1.12.2.4. Интенсивности отказов компонентов второго уровня «Конденсаторы» в изделии «Устройство вторичного электропитания ШС10-71Е» (предварительный расчет)

Таблица 7.1.12.2.2

Результаты предварительного расчета надежности компонентов второго уровня «'Конденсаторы» в изделии «Устройство вторичного электропитания ШС10-71Е»

Наименование компонента	Тип изделия	Эксплуатационная интенсивность отказов	Интенсивность отказов в режиме ожидания
C1	К10-47а,в	2,67e-07	4,17e-10
C2	К10-47а,в	2,67e-07	4,17e-10
C3	К53-16	2,52e-07	5,49e-10
C4	К50-29	1,84e-06	6,84e-10
C5	К50-29	1,84e-06	6,84e-10
C6	К50-29	1,84e-06	6,84e-10
C7	К50-29	1,84e-06	6,84e-10
C8	К50-29	1,84e-06	6,84e-10
C9	К53-16	2,52e-07	5,49e-10
C10	К53-16	2,52e-07	5,49e-10
C11	К53-16	2,52e-07	5,49e-10
C12	К53-16	2,52e-07	5,49e-10
C13	К53-16	2,52e-07	5,49e-10
C14	К53-16	2,52e-07	5,49e-10
C15	К53-16	2,52e-07	5,49e-10
C16	К10-17а,б,в	2,94e-07	4,17e-10
C17	К10-17а,б,в	2,94e-07	4,17e-10
C18	К10-17а,б,в	2,94e-07	4,17e-10
C19	К10-17а,б,в	2,94e-07	4,17e-10
C20	К10-17а,б,в	2,94e-07	4,17e-10
C21	К53-18	6,72e-07	1,46e-09
C22	К10-17а,б,в	2,94e-07	4,17e-10

Уточненный расчет надежности ШС10-71Е.

Уточненный расчет эксплуатационной интенсивности отказов ЭРИ проводился на основании температур ЭРИ, полученных в результате моделирования тепловых процессов с использованием АСОНИКА-ТМ, а остальные данные об ЭРИ ячейки были взяты из комплекта карт правильности применения ЭРИ, предоставленных заказчиком.

На рис. 7.1.12.2.5 показано окно АСОНИКА-К с результатами расчетов ШС10-71Е (уточненный расчет).

Некоторые результаты предварительного расчета надежности представлены на рис. 7.1.12.2.6, 7.1.12.2.7 и в табл. 7.1.12.2.3, 7.1.12.2.4.

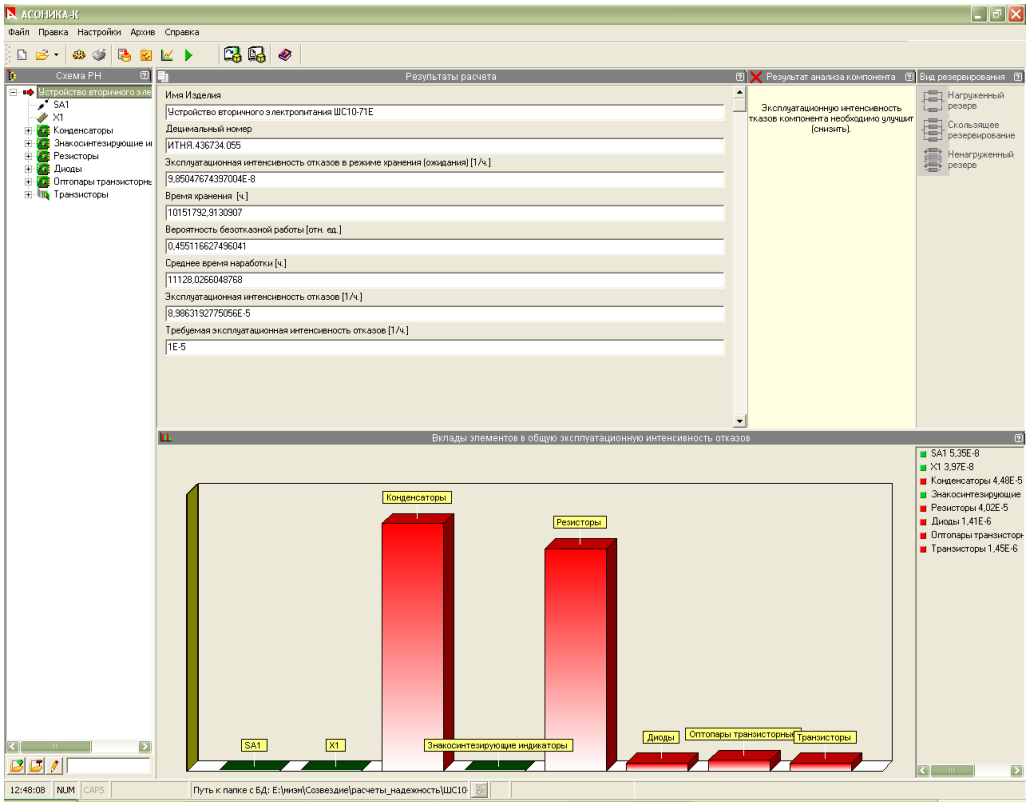


Рис. 7.1.12.2.5. АСОНИКА-К: результаты расчетов ШС10-71Е (уточненный расчет)

Полученное в результате расчета значение средней наработки ШС10-71Е составляет ≈ 11,128 тыс. ч (для коэффициентов электрической нагрузки, изменяющихся в зависимости от типа ЭРИ от 0,1 до 0,7 при температурах ЭРИ, полученных с помощью АСОНИКА-ТМ), что не удовлетворяет требованиям ТУ (T_0 = 150 тыс. ч).

$\lambda э$: 8,9863192775056E-5.

Интенсивность отказов в режиме ожидания: 9,85047674397004E-8.

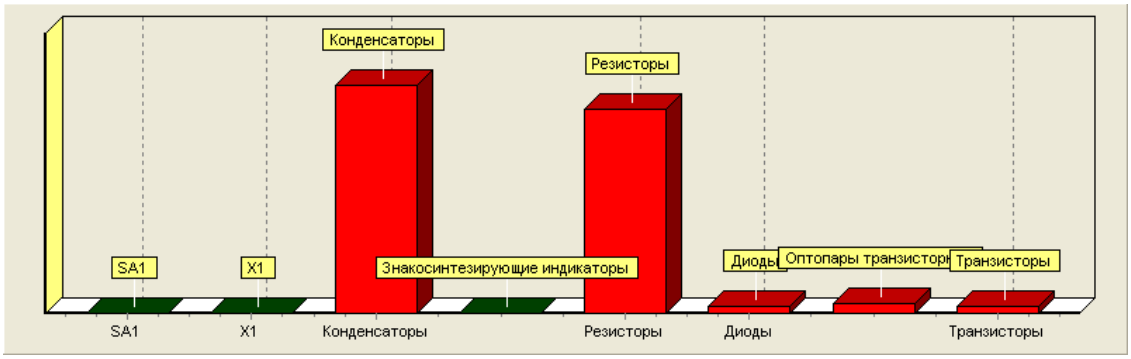


Рис. 7.1.12.2.6. Интенсивности отказов компонентов первого уровня в изделии «Устройство вторичного электропитания ШС10-71Е» (уточненный расчет)

Таблица 7.1.12.2.3

Результаты уточненного расчета надежности компонентов первого уровня в изделии «Устройство вторичного электропитания ШС10-71Е»

Наименование компонента	Эксплуатационная интенсивность отказов	Интенсивность отказов в режиме ожидания
SA1	5,35e-08	5,96e-10
X1	3,97e-08	4,21e-10
Конденсаторы	4,48e-05	2,69e-08
Знакосинтезирующие индикаторы	6,33e-09	1,89e-10
Резисторы	4,02e-05	1,47e-08
Диоды	1,41e-06	1,15e-09
Оптопары транзисторные	1,95e-06	5,40e-08
Транзисторы	1,45e-06	5,80e-10

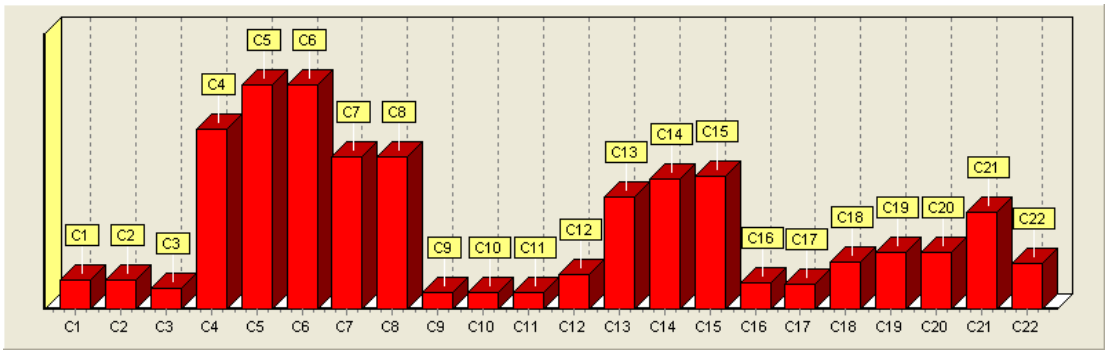


Рис. 7.1.12.2.7. Интенсивности отказов компонентов второго уровня «Конденсаторы» в изделии «Устройство вторичного электропитания ШС10-71Е» (уточненный расчет)

Таблица 7.1.12.2.4

Результаты уточненного расчета надежности компонентов второго уровня «Конденсаторы» в изделии «Устройство вторичного электропитания ШС10-71Е»

Наименование компонента	Тип изделия	Эксплуатационная интенсивность отказов	Интенсивность отказов в режиме ожидания
C1	К10-47а,в	7,01e-07	1,10e-09
C2	К10-47а,в	7,10e-07	1,11e-09
C3	К53-16	4,93e-07	1,07e-09
C4	К50-29	4,41e-06	6,84e-10
C5	К50-29	5,50e-06	6,84e-10
C6	К50-29	5,50e-06	6,84e-10
C7	К50-29	3,73e-06	6,84e-10
C8	К50-29	3,73e-06	6,84e-10
C9	К53-16	4,07e-07	8,86e-10
C10	К53-16	4,07e-07	8,86e-10
C11	К53-16	4,07e-07	8,86e-10
C12	К53-16	8,60e-07	9,36e-10
C13	К53-16	2,75e-06	1,50e-09
C14	К53-16	3,20e-06	1,74e-09
C15	К53-16	3,26e-06	1,78e-09
C16	К10-17а,б,в	6,54e-07	9,30e-10
C17	К10-17а,б,в	6,09e-07	8,66e-10
C18	К10-17а,б,в	1,17e-06	1,66e-09
C19	К10-17а,б,в	1,38e-06	1,96e-09
C20	К10-17а,б,в	1,39e-06	1,97e-09
C21	К53-18	2,38e-06	2,59e-09
C22	К10-17а,б,в	1,14e-06	1,61e-09

Анализ результатов расчетов.

Для оценки влияния температуры окружающей среды была построена температурная зависимость эксплуатационной интенсивности отказов устройства вторичного электропитания в диапазоне температур +25…+85 °С для коэффициентов электрической нагрузки ЭРИ, равных 0,7 (см. рис. 7.1.12.2.8).

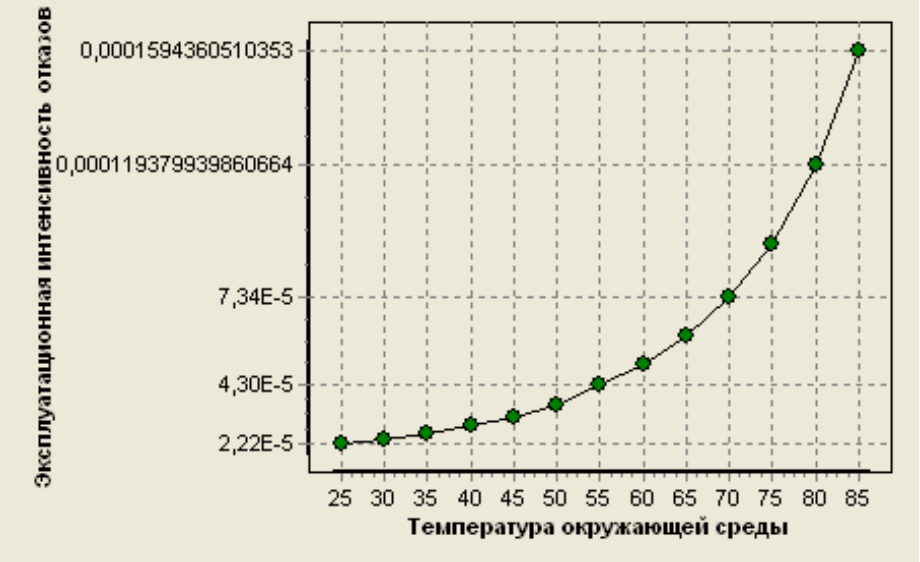


Рис. 7.1.12.2.8. Зависимость эксплуатационной интенсивности отказов УВЭП ШС10-71Е от температуры

Одновременное изменение температуры всех ЭРИ в диапазоне +25…+85 °С приводит к изменению интенсивности отказов УВЭП ШС10-71Е более чем в 7,15 раза.

Оценка влияния характеристик надежности конкретных ЭРИ на эксплуатационную интенсивность отказов устройства вторичного электропитания проводилась непосредственно в ходе проведения расчета.

Как видно на рис. 7.1.12.2.6, наиболее ненадежным классом ЭРИ являются классы «Резисторы» и «Конденсаторы».

На рис. 7.1.12.2.7 показан вклад ЭРИ класса «Конденсаторы» в суммарную интенсивность отказов.

Выводы.

При температуре 65 °С средняя наработка до отказа будет не ниже, чем 27,907 тыс. ч, для коэффициента электрической нагрузки в зависимости от типа ЭРИ, изменяющейся в диапазоне от 0,1 до 0,7 (данные из КРР, предоставленных заказчиком).

При температурах ЭРИ, полученных в результате моделирования с помощью АСОНИКА-ТМ, средняя наработка до отказа будет не ниже, чем 11,128 тыс. ч, для коэффициента электрической нагрузки в зависимости от типа ЭРИ, изменяющейся в диапазоне от 0,1 до 0,7 (данные из КРР, предоставленных заказчиком).

При температуре 50 °С средняя наработка до отказа будет не ниже, чем 27,907 тыс. ч, для коэффициента электрической нагрузки, равной 0,7.

Наиболее ненадежным классами ЭРИ являются класс «Резисторы» и «Конденсаторы». Для повышения надежности можно рекомендовать следующие мероприятия:

изменить типы ЭРИ (использовать ЭРИ с меньшей $\lambda_б$);

облегчить режим работы ЭРИ (снизить рабочую тепловую и электрическую нагрузки);

уменьшить число ЭРИ (использовать Chip – резисторы и конденсаторы);

применить ЭРИ с более высоким уровнем качества;

снизить температуру окружающей среды (повысить эффективность системы охлаждения).

2. Расчет надежности ячейки ШС10-30Е.

Данные для расчета: см. данные для ШС10-71Е.

Показателем безотказности ШС10-30Е является его средняя наработка до отказа без восстановления в процессе работы. Безотказность ШС10-30Е характеризуется совокупностью интенсивностей отказов его составных частей (ЭРИ). Схема расчета надежности (СРН) ШС10-30Е, соответствующая заданному критерию отказа, представляет собой последовательное соединение технологически и функционально объединенных групп ЭРИ (см. рис. 7.1.12.2.9).

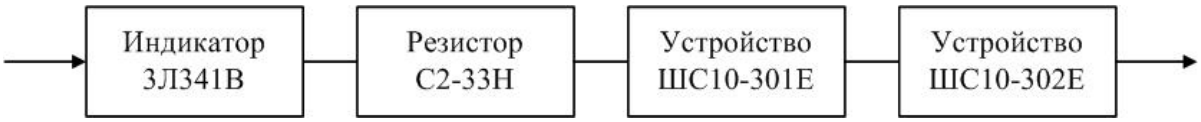


Рис. 7.1.12.2.9. Схема расчета надежности ШС10-30Е

На рис. 7.1.12.2.10 приведена последовательная схема расчета надежности (СРН) устройства ШС10-301Е, входящего в ячейку ШС10-30Е, на уровне технологически объединенных групп ЭРИ.

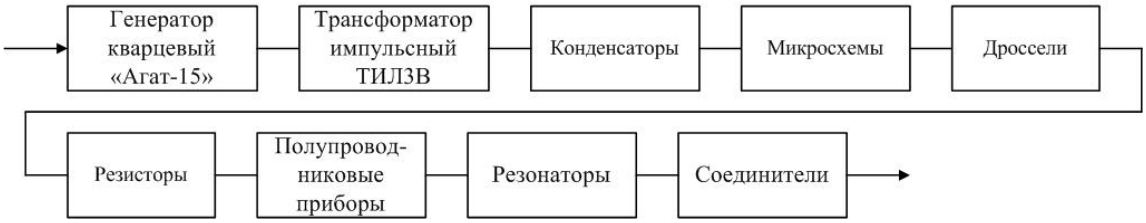


Рис. 7.1.12.2.10. Схема расчета надежности ШС10-301Е

На рис. 7.1.12.2.11 приведена последовательная СРН устройства ШС10-302Е, входящего в ячейку ШС10-30Е, на уровне технологически объединенных групп ЭРИ.



Рис. 7.1.12.2.11. Схема расчета надежности ШС10-302Е

Предварительный расчет надежности ШС10-30Е.

На рис. 7.1.12.2.12 показано окно АСОНИКА-К с результатами расчетов ШС10-30Е (предварительный расчет).

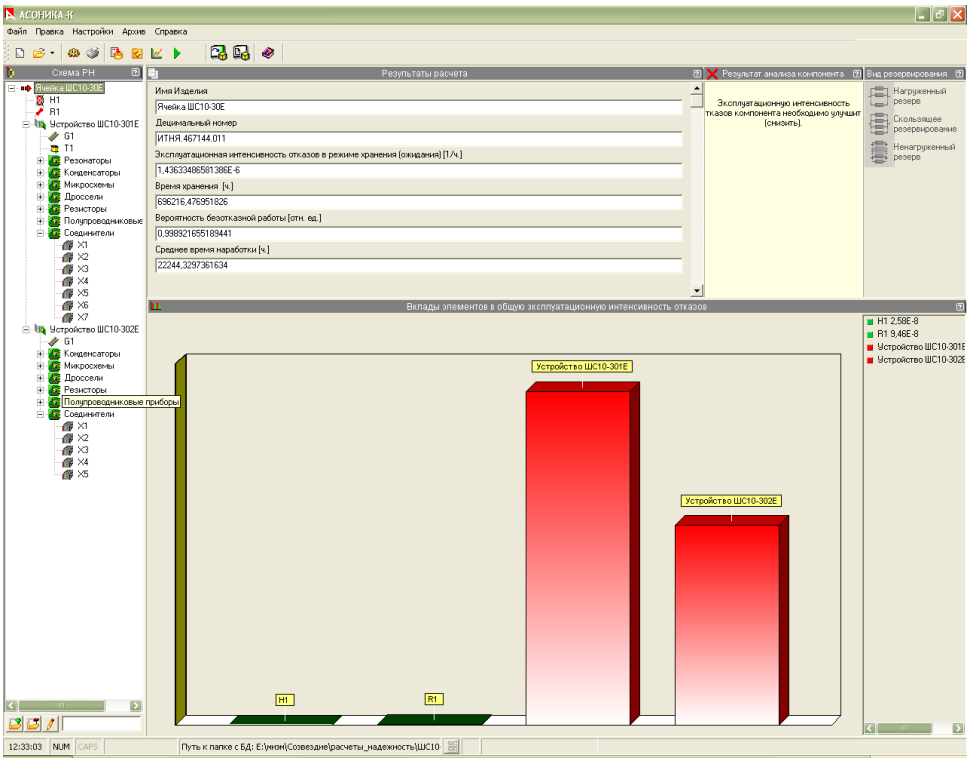


Рис. 7.1.12.2.12. АСОНИКА-К: результаты расчетов ШС10-30Е (предварительный расчет)

Полученное в результате расчета значение средней наработки ШС10-30Е составляет ≈ 22,244 тыс. ч (для коэффициентов электрической нагрузки, изменяющейся в зависимости от типа ЭРИ от 0,1 до 0,7 при температуре 65 °С), что не удовлетворяет требованиям ТУ (T_0 = 150 тыс. ч).

$\lambda э$: 4,49552767766368E-5.

Интенсивность отказов в режиме ожидания: 1,43633486581386E-6.

Некоторые результаты предварительного расчета надежности представлены на рис. 7.1.12.2.13, 7.1.12.2.14 и в табл. 7.1.12.2.5, 7.1.12.2.6.

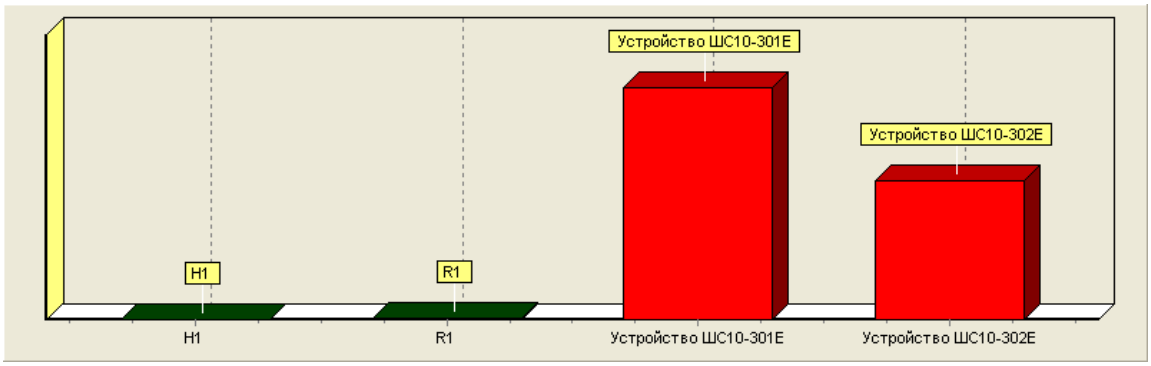


Рис. 7.1.12.2.13. Интенсивности отказов компонентов первого уровня в изделии «Ячейка ШС10-30Е» (предварительный расчет)

Таблица 7.1.12.2.5

Результаты предварительного расчета надежности компонентов первого уровня в изделии «Ячейка ШС10-30Е»

Наименование компонента	Тип изделия	Эксплуатационная интенсивность отказов	Интенсивность отказов в режиме ожидания
H1	3Л341В	2,58e-08	3,73e-10
R1	С2-33Н	9,46e-08	6,31e-11
Устройство ШС10-301Е		2,80e-05	8,57e-07
Устройство ШС10-302Е		1,68e-05	5,79e-07

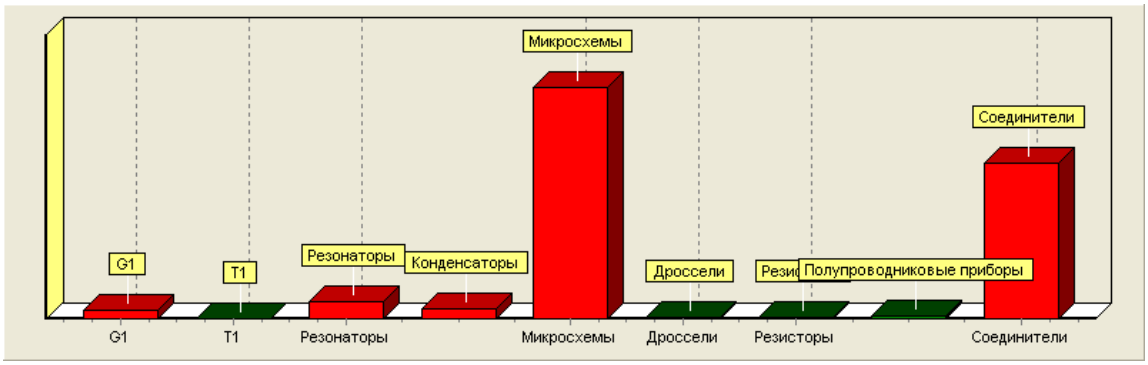


Рис. 7.1.12.2.14. Интенсивности отказов компонента первого уровня «Устройство ШС10-301Е» в изделии «Ячейка ШС10-30Е» (предварительный расчет)

Таблица 7.1.12.2.6

Результаты предварительного расчета надежности компонента первого уровня «Устройство ШС10-301Е» в изделии «Ячейка ШС10-30Е»

Наименование компонента	Дец. номер/Тип изделия	Эксплуатационная интенсивность отказов	Интенсивность отказов в режиме ожидания
G1	Генератор «Агат-15»	5,17e-07	5,17e-09
T1	ТИЛ3В	3,14e-09	5,95e-10
Резонаторы	1	1,13e-06	1,13e-08
Конденсаторы	1	6,81e-07	2,53e-08
Микросхемы	1	1,52e-05	1,55e-07
Дроссели	1	1,21e-07	5,26e-08
Резисторы	1	5,15e-08	1,17e-08
Полупроводниковые приборы	1	1,54e-07	3,26e-08
Соединители	1	1,02e-05	5,62e-07

Уточненный расчет надежности ШС10-30Е.

Уточненный расчет эксплуатационной интенсивности отказов ЭРИ проводился на основании температур ЭРИ, полученных в результате моделирования тепловых процессов с использованием АСОНИКА-ТМ, а остальные данные об ЭРИ ячейки были взяты из комплекта карт правильности применения ЭРИ, предоставленных заказчиком.

На рис. 7.1.12.2.15 показано окно АСОНИКА-К с результатами расчетов ШС10-30Е (уточненный расчет).

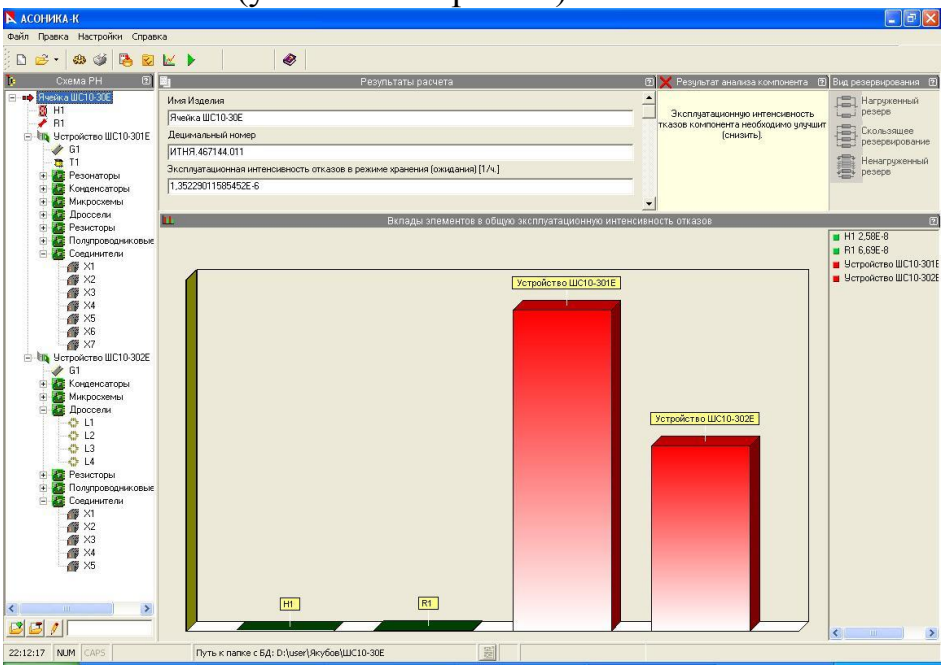


Рис. 7.1.12.2.15. АСОНИКА-К: результаты расчетов ШС10-30Е (уточненный расчет)

Полученное в результате расчета значение средней наработки ШС10-30Е составляет ≈ 22,533 тыс. ч (для коэффициентов электрической нагрузки, изменяющихся в зависимости от типа ЭРИ от 0,1 до 0,7 при температурах ЭРИ, полученных с помощью АСОНИКА-ТМ, что не удовлетворяет требованиям ТУ (T_0 = 150 тыс. ч)).

Некоторые результаты уточненного расчета надежности представлены на рис. 7.1.12.2.16, 7.1.12.2.17 и в табл. 7.1.12.2.7, 7.1.12.2.8.

λэ: 4,43791073381866E-5.

Интенсивность отказов в режиме ожидания: 1,3476641903139E-6.

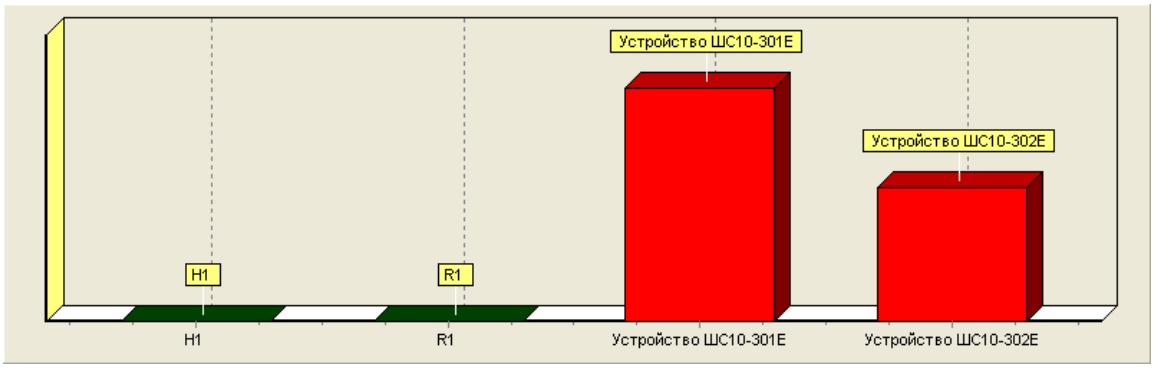


Рис. 7.1.12.2.16. Интенсивности отказов компонентов первого уровня в изделии «Ячейка ШС10-30Е» (уточненный расчет)

Таблица 7.1.12.2.7

Результаты уточненного расчета надежности компонентов первого уровня в изделии «Устройство вторичного электропитания ШС10-71Е»

Наименование компонента	Дец. номер/Тип изделия	Эксплуатационная интенсивность отказов	Интенсивность отказов в режиме ожидания
H1	3Л341В	2,58e-08	3,75e-11
R1	С2-33Н	6,69e-08	4,56e-11
Устройство ШС10-301Е	ИТНЯ.467144.012	2,81e-05	8,25e-07
Устройство ШС10-302Е	ИТНЯ.467144.009	1,62e-05	5,23e-07

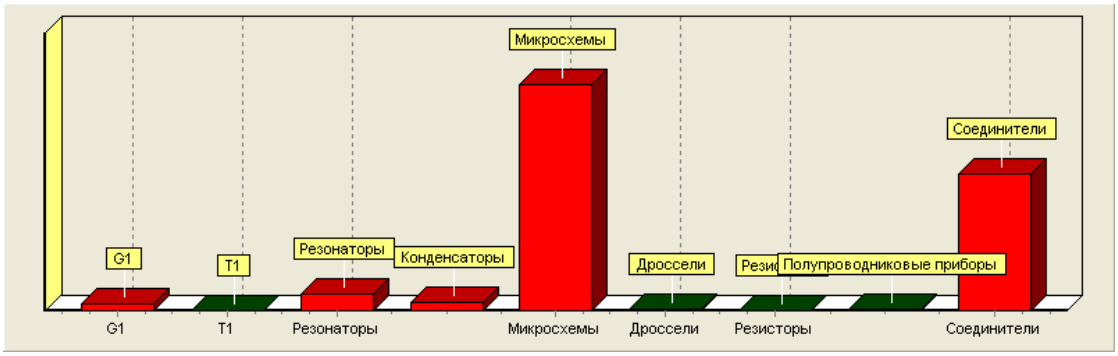


Рис. 7.1.12.2.17. Интенсивности отказов компонентов первого уровня «Устройство ШС10-301Е» в изделии «Ячейка ШС10-30Е» (уточненный расчет)

Таблица 7.1.12.2.8

Результаты уточненного расчета надежности компонентов первого уровня «Устройство ШС10-301Е» в изделии «Ячейка ШС10-30Е»

Наименование компонента	Дец. номер/Тип изделия	Эксплуатационная интенсивность отказов	Интенсивность отказов в режиме ожидания
G1	Генератор «Агат-15»	5,17e-07	5,17e-09
T1	ТИЛ3В	1,96e-09	1,60e-10
Резонаторы	1	1,13e-06	1,13e-08
Конденсаторы	1	6,10e-07	2,24e-08
Микросхемы	1	1,59e-05	1,62e-07
Дроссели	1	1,00e-07	5,21e-08
Резисторы	1	4,14e-08	7,76e-09
Полупроводниковые приборы	1	1,43e-07	3,26e-08
Соединители	1	9,59e-06	5,31e-07

Анализ результатов расчетов.

Для оценки влияния температуры окружающей среды была построена температурная зависимость эксплуатационной интенсивности отказов ячейки ШС10-30Е в диапазоне температур +25…+85 °С для заданных значений коэффициентов электрической нагрузки в зависимости от типа ЭРИ от 0,1 до 0,7 (см. рис. 7.1.12.2.18).



Рис. 7.1.12.2.18. Зависимость эксплуатационной интенсивности отказов ШС10-30Е от температуры

Одновременное изменение температуры всех ЭРИ в диапазоне +25…+85 °С приводит к изменению интенсивности отказов ШС10-30Е более чем в 2,2 раза.

Оценка влияния характеристик надежности конкретных ЭРИ на эксплуатационную интенсивность отказов ячейки проводилась непосредственно в ходе проведения расчета.

Как видно из результатов расчета, самым ненадежным устройством ячейки является ШС10-301Е. Поэтому далее будет рассмотрено именно это устройство.

Как видно на рис. 7.1.12.2.17, наиболее ненадежным классом ЭРИ являются классы «Микросхемы» и «Соединители».

Ненадежными микросхемами являются микросхемы D1, D3 типа TMS320VC5416PGE160 и D5, D6, D7 типа TPS73HD301PWPR и TPS73HD325PWPR.

Ненадежными соединителями являются соединители X1, X2 типа C 09 03 164 6921 и X3 типа PLS-6.

Выводы.

Проведенный расчет надежности ячейки ШС10-30Е показал, что:

при температуре 65 °С средняя наработка до отказа будет не ниже, чем 22,244 тыс. ч, для коэффициента электрической нагрузки в зависимости от типа ЭРИ, изменяющейся в диапазоне от 0,1 до 0,7 (данные из КРР, предоставленных заказчиком);

при температурах ЭРИ, полученных в результате моделирования с помощью АСОНИКА-ТМ, средняя наработка до отказа будет не ниже, чем 22,533 тыс. ч, для коэффициента электрической нагрузки в

зависимости от типа ЭРИ, изменяющейся в диапазоне от 0,1 до 0,7 (данные из КРР, предоставленных заказчиком).

Рассмотренные варианты анализа надежности ячейки ШС10-01Е показали, что требованиям по надежности изделие не удовлетворяет (средняя наработка до отказа должна быть не менее 150000 ч).

Наиболее ненадежным устройством ячейки является ШС10-021Е, а классами ЭРИ являются класс «Микросхемы» и «Соединители». Для повышения надежности можно рекомендовать следующие мероприятия:

изменить типы ЭРИ (использовать ЭРИ с меньшей $\lambda_б$);

облегчить режим работы ЭРИ (снизить рабочую тепловую и электрическую нагрузки);

уменьшить число ЭРИ (использовать микросхемы большей степени интеграции);

применить ЭРИ с более высоким уровнем качества (для отечественных ЭРИ применить элементы с 9 приемкой (ОС), а для зарубежных ЭРИ элементы с уровнем качества S или B);

снизить температуру окружающей среды (повысить эффективность системы охлаждения).

Результаты расчета других ячеек выполняются аналогично и поэтому не приведены.

7.1.12.3. Расчет надежности блока ШС10-Е

Описание блока.

Блок ШС10-Е предназначен для приема, передачи и обработки информации.

Условия эксплуатации: блок ШС10-Е должен выдерживать ВВФ по классу аппаратуры 1 по ГОСТ Р В 20.39.304-98, группа аппаратуры 1.4, исполнение О «Аппаратура объектов на колесных и гусеничных шасси с противопульным бронированием, не имеющих артиллерийско-минометного вооружения», устанавливаемая в любом месте объекта, кроме моторно-трансмиссионного отделения.

Блок ШС10-Е является восстанавливаемым изделием. Допускается мелкий ремонт путем замены отказавших электронных модулей, предусмотренный в его инструкции по эксплуатации. Контроль исправности системы осуществляется с помощью системы индикации на лицевой панели блока, которая обеспечивает практически непрерывный и полный контроль работоспособности. Кроме того, предусмотрено восстановление за счет замены ячеек блока из состава одиночного комплекта ЗИП.

При проведении расчета надежности были приняты следующие допущения:

отказы ЭРИ представляют собой случайные независимые события;

время работы до отказа компонента (электронного модуля или ЭРИ) является случайной величиной, распределенной по экспоненциальному закону с постоянным параметром λ;

восстановление представляют собой случайные независимые события.

Блок ШС10-Е относится к аппаратуре вида I по классификации ГОСТ В 20.39.303-98, имеющей два уровня качества функционирования.

Блок ШС10-Е в составе изделия работает в непрерывном круглосуточном режиме.

Расчет показателей надежности блока выполнен в следующих предположениях:

глубина контроля электронных ячеек блока при последней перед эксплуатацией его в составе изделия проверке в условиях технической позиции (ТП) близка к единице. Это значит, что при положительном результате проверки в эксплуатацию поступает полностью исправный блок (включая резервные ячейки);

допустимы потери времени на ввод в работу ячеек из состава ЗИП.

Требования по надежности блока ШС10-Е

В соответствии с ГОСТ РВ, на блок приведены следующие требования по надежности:

- нормируемые характеристики надежности:
  - средняя наработка на отказ,
  - среднее время восстановления;
- для справки даны следующие показатели долговечности и сохраняемости:
  - средний срок службы,
  - средний ресурс,
  - средний срок сохраняемости;
- средняя наработка на отказ модуля должна быть не менее 15000 ч;
- среднее время восстановления модуля должно быть не более 30 мин без учета времени доставки ЗИП;
- средний срок службы модуля:
  - до первого капитального ремонта должен быть 10 г,
  - до второго капитального ремонта 18 г,
  - средний полный срок службы – 25 г;
- средний ресурс модуля:
  - до первого капитального ремонта должен быть 40000 ч,
  - до второго капитального ремонта 72000 ч,
  - средний полный ресурс – 100000 ч;
- средний срок сохраняемости модуля при хранении:

- в неотапливаемом хранилище в упаковке изготовителя должен быть 11,5 г,

- в составе объекта – 10 г.

Критерий отказа блока: выход из строя любой электронной ячейки блока ШС10-Е.

Описание схемы расчета надежности блока ШС10-Е.

Состав блока ШС10-Е приведен в табл. 7.1.12.3.1.

Таблица 7.1.12.3.1

Состав блока ШС10-Е

№ п/п	Обозначение	Наименование	Кол., шт.
1.	А1	Ячейка ШС10-71Е	1
2.	А2	Ячейка ШС10-30Е	1
3.	А3	Ячейка ШС10-10Е	1
4.	А4-А6	Ячейка ШС10-01Е	3
5.	А7	Ячейка ШС10-02Е	1
6.	А8	Аппаратура передачи данных	1
7.	А9	Устройство ШС10-103Е	1
8.	А10	Общая часть блока ШС10-Е	1

Схема расчета надежности блока ШС10-Е (см. рис. 7.1.12.3.1) представляет собой последовательное соединение 10 составных частей (СЧ). При отказе любой из СЧ происходит отказ всего блока. Контроль работоспособности ячеек – 100 % и непрерывный.

Обозначения ячеек (модулей) на рис. 7.1.12.3.1 соответствуют обозначениям табл. 7.1.12.3.1.



Рис. 7.1.12.3.1. Схема расчета надежности блока

Оценка предельно допустимых интенсивностей отказов электронных ячеек.

На основании ТУ требуемое значение средней наработки на отказ должно быть не менее 15 тыс. ч.

На практике для оценки значений показателей надежности модулей по приведенному в ТУ значению показателя надежности на систему в целом используется несколько способов, а именно:

по критерию равной надежности СЧ;

по принципу априорной сложности устройств;

с учетом существующего соотношения показателей надежности СЧ;

с учетом перспектив совершенствования СЧ.

Исходя из критерия равной надежности изделия ШС10-Е, получаем следующие значения интенсивности отказов электронных ячеек и общей части блока:

$$T_{ЭЯi} = NT_0 = 10 \cdot 15000 = 150000 \text{ (ч)},$$

где T_0 – заданная в ТУ средняя наработка на отказ блока, ч;
N – количество СЧ блока ШС10-Е.

Таким образом, определим значения интенсивности отказов в режиме эксплуатации ЭЯ и будем их использовать в качестве требований к каждой ячейке (см. табл. 7.1.12.3.2).

Требуемое значение ИО каждой ЭЯ определяется как

$$\lambda_{ЭЯi} = \frac{1}{T_{ЭЯi}} = 6{,}667 \cdot 10^{-6} \text{ (1/ч)},$$

где $\lambda_{ЭЯi}$ – требуемое значение ИО в режиме эксплуатации, 1/ч.

Таблица 7.1.12.3.2

Значения ИО в режиме эксплуатации СЧ блока ШС10-Е

№ п/п	Обозначение	Наименование	ИО в режиме эксплуатации, $\times 10^6$, 1/ч	Примечание
1.	А1	Ячейка ШС10-71Е	6,667	
2.	А2	Ячейка ШС10-30Е	6,667	
3.	А3	Ячейка ШС10-10Е	6,667	
4.	А4-А6	Ячейка ШС10-01Е	6,667	на 1 шт.
5.	А7	Ячейка ШС10-02Е	6,667	
6.	А8	Аппаратура передачи данных	6,667	
7.	А9	Устройство ШС10-103Е	6,667	
8.	А10	Общая часть блока ШС10-Е	6,667	

Исследование надежности электронных ячеек.

Исследование надежности электронных ячеек (см. табл. 7.1.12.3.1) проведено в рамках выполнения обязательных мероприятий ПОНр [6].

Условия эксплуатации.

Ниже приведены сведения о механических, климатических и временных условиях предполагаемой эксплуатации изделия ШС10-Е.

Механические и климатические условия. ШС10-Е должен быть:

прочным после воздействии синусоидальной вибрации одной частоты с амплитудой ускорения 19,6 м/с^2 (2g), в диапазоне частот от 20 до 30 Гц;

прочным после воздействии синусоидальной вибрации с амплитудой ускорения 49,5 м/с^2 (5g) в диапазоне частот от 5 до 500 Гц;

устойчивым в условиях воздействия синусоидальной вибрации с амплитудой ускорения 49,5 м/с^2 (5g) в диапазоне частот от 5 до 500 Гц;

прочным и устойчивым в условиях воздействия на него механических ударов одиночного действия с пиковым ударным ускорением 196 м/с^2 (20g), длительностью действия ударного ускорения от 5 до 15 мса в трех взаимно перпендикулярных направлениях. Число ударов 3 в каждом направлении воздействия;

прочным после воздействии на него механических ударов многократного действия с пиковым ударным ускорением 147 м/с^2 (15g), длительностью действия ударного ускорения от 5 до 15 мс в трех взаимно перпендикулярных направлениях. Общее число ударов 10 000;

устойчивым в условиях воздействия на него механических ударов многократного действия с пиковым ударным ускорением 147 м/с^2 (15g), длительностью импульса от 5 до 10 мс. По 20 ударов в трех взаимно перпендикулярных направлениях;

соответствовать требованиям ТУ и быть прочным после воздействия нагрузок при транспортировании в составе объекта. Пиковое ударное ускорение 147 м/с^2 (15g), длительность действия от 5 до 10 мс в трех взаимно перпендикулярных направлениях. Общее число ударов 10 000, частота ударов не более 120 в минуту;

не должен иметь резонанса элементов конструкции при воздействии вибрации в диапазоне частот от 5 до 40 Гц;

прочным после воздействия на него акустического шума в диапазоне частот от 50 до 10 000 Гц при уровне звукового давления 135 дБ;

устойчивым в условиях воздействия на него акустического шума в диапазоне частот от 50 до 10 000 Гц при уровне звукового давления 135 дБ;

соответствовать требованиям ТУ и быть прочным после воздействия нагрузок при транспортировании в упакованном виде. Пиковое ударное ускорение 147 м/с^2 (15g), длительность действия от 5 до 10 мс в трех взаимно перпендикулярных направлениях. Общее число ударов 2 000, частота ударов не более 120 в минуту. Пиковое ударное ускорение 98 м/с^2 (10g), длительность действия от 5 до 10 мс в трех взаимно перпендикулярных направлениях. Общее число ударов 8 800, частота ударов не более 120 в минуту;

соответствовать требованиям ТУ в условиях воздействия повышенной влажности воздуха от 98 до 100 % при температуре 35 °С;

соответствовать требованиям ТУ в условиях воздействия рабочей пониженной температуры среды минус 40 °С;

соответствовать требованиям ТУ после пребывания в условиях воздействия пониженной предельной температуры среды минус 60 °С;

соответствовать требованиям ТУ в условиях воздействия атмосферных конденсированных осадков (инея и росы);

соответствовать требованиям ТУ в условиях воздействия рабочей повышенной температуры среды 60 °С;

соответствовать требованиям ТУ после пребывания в условиях воздействия повышенной предельной температуры среды 70 °С;

соответствовать требованиям ТУ после воздействия изменения температуры среды в диапазоне температур от пониженной предельной минус 60 °С до повышенной предельной 70 °С;

соответствовать требованиям ТУ в условиях воздействия атмосферного пониженного рабочего давления $6 \cdot 10^4$ Па (450 мм рт. ст.);

соответствовать требованиям ТУ в условиях статического воздействия песка и пыли при концентрации 2,5 г/м^3 и скорости воздуха 1 м/с;

соответствовать требованиям ТУ после воздействия атмосферного пониженного давления $1{,}2 \cdot 10^4$ Па (90 мм рт. ст.) при авиатранспортировании.

При расчете надежности изделия ШС10-Е рассматриваются два варианта:

для проведения предварительного расчета принимаем за рабочую температуру окружающей среды ЭРИ предельные значения температуры, равные +65 °С;

для проведения уточненного расчета используются данные из АСОНИКА-ТМ, предназначенной для теплового расчета электронных ячеек блока.

Временные графики работы.

В соответствии с ТЗ при определении надежности ШС10-Е предполагается непрерывный график работы с возможными прерываниями на проведение технического обслуживания и ремонта.

Расчет надежности электронных ячеек.

Показателем безотказности ЭЯ является ее средняя наработка до отказа без восстановления в процессе работы. Безотказность ЭЯ характеризуется совокупностью интенсивностей отказов ее составных частей (узлов, классов ЭРИ).

В процессе расчета интенсивностей отказов (ИО) составных частей блока ШС10-Е учтен полный набор элементов (узлы, ЭРИ), комплектующих ячейки блока.

Все ячейки, из которых состоит блок ШС10-Е, комплектуются из ЭРИ и функциональных узлов как отечественного производства (ОП), так и иностранного производства (ИП).

Оценка ИО проведена с учетом того, что во всех ЭЯ ШС10-Е применяются СЧ ИП и ОП, имеющие уровень качества класса

«индустриальный уровень», что соответствует приемке 5 (военная приемка).

ИО паек, проводов, жгутов ЭЯ учтены путем увеличения расчетных ИО в режиме работы на 10 %.

Поправочный коэффициент $К_а$ принят равным 1. В расчете учитывается жесткость условий эксплуатации – поправочных коэффициент $К_э$.

Поправочные коэффициенты $К_а$ и $К_э$ при расчетах ИО ЭРИ учитывается в следующем виде:

$$\lambda_{pi} = K_a \lambda_{экспл.,i} K_э,$$

где $\lambda_{экспл.,i}$ – эксплуатационная интенсивность отказов, 1/ч;
K_a – коэффициент качества разработки и изготовления аппаратуры;
$K_э$ – коэффициент, учитывающий жесткость условий эксплуатации аппаратуры.

Результаты расчетов надежности для двух вариантов приведены в табл. 7.1.12.3.3. Кроме того, значение ИО СЧ А8 и А9 не были рассчитаны из-за отсутствия данных, поэтому при расчете надежности ШС10-Е были использованы требуемые значения.

Таблица 7.1.12.3.3

Расчетные значения ИО в режиме эксплуатации

№ п/п	Обозначение	Наименование	ИО в режиме эксплуатации, $\times 10^6$, 1/ч (I вариант)	ИО в режиме эксплуатации, $\times 10^6$, 1/ч (II вариант)
1.	А1	Ячейка ШС10-71Е	35,832541	89,86319278
2.	А2	Ячейка ШС10-30Е	44,9552767	44,37911
3.	А3	Ячейка ШС10-10Е	46,8056	50,49835
4.	А4-А6	Ячейка ШС10-01Е	87,162171	55,5833791
5.	А7	Ячейка ШС10-02Е	11,1558	11,1558*
6.	А8	Аппаратура передачи данных	6,667	6,667
7.	А9	Устройство ШС10-103Е	6,667	6,667
8.	А10	Общая часть блока ШС10-Е	24,964237	24,964237*

* – уточненный расчет ЭЯ и общей части блока (с учетом теплового расчета) не был проведен из-за отсутствия данных.

Расчет надежности общей части блока ШС10-Е.

Условия эксплуатации общей части блока ШС10-Е аналогичны всем ранее рассмотренным.

Показателем безотказности общей части блока ШС10-Е является его средняя наработка до отказа без восстановления в процессе работы. Безотказность общей части блока характеризуется совокупностью

интенсивностей отказов его составных частей (классов ЭРИ). Схема расчета надежности (СРН) общей части блока, соответствующая заданному критерию отказа, представляет собой последовательное соединение 2 СЧ (см. рис. 7.1.12.3.2).

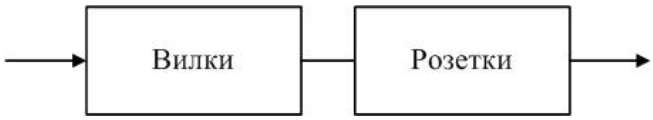


Рис. 7.1.12.3.2. Схема расчета надежности общей части блока

На рис. 7.1.12.3.3 показано окно АСОНИКА-К с результатами расчетов общей части блока ШС10-Е (предварительный расчет).

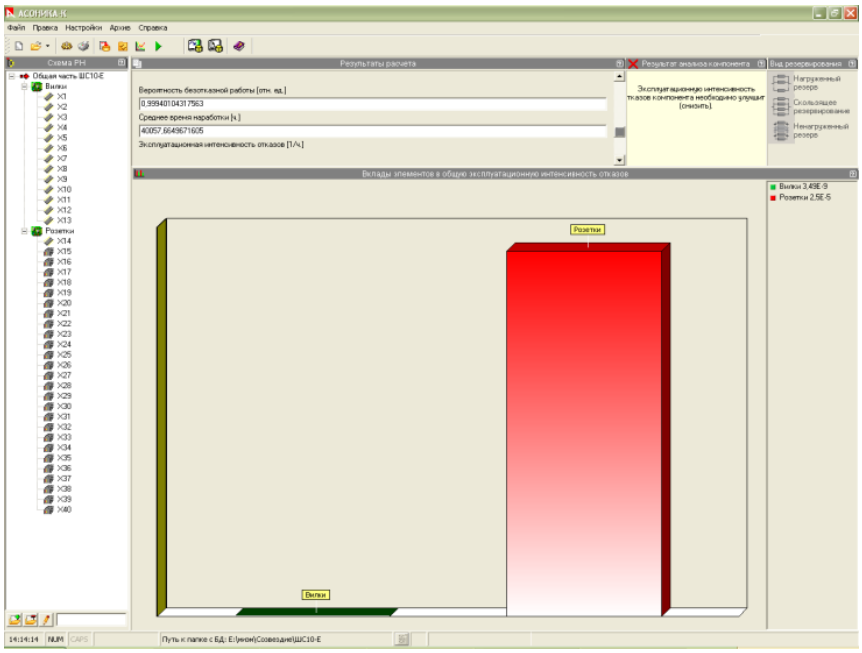


Рис. 7.1.12.3.3. ПК АСОНИКА-К: результаты расчетов общей части блока ШС10-Е (предварительный расчет)

Как видно из рис. 7.1.12.3.3, полученное в результате расчета значение средней наработки общей части блока ШС10-Е составляет ≈ 40,057 тыс. ч (для коэффициентов электрической нагрузки, изменяющейся в зависимости от типа ЭРИ от 0,1 до 0,7 при температурах ЭРИ для вилок 50 °С и для розеток 65 °С, полученных из карт режимов), что не удовлетворяет требованиям ТУ (T_0 = 150 тыс. ч).

Оценка влияния температуры окружающей среды общей части блока ШС10-Е.

Для оценки влияния температуры окружающей среды была построена температурная зависимость эксплуатационной интенсивности отказов общей части блока ШС10-Е в диапазоне температур + 25…+ 85 °С (см. рис. 7.1.12.3.4).



Рис. 7.1.12.3.4. Зависимость эксплуатационной интенсивности отказов общей части блока ШС10-Е от температуры

Как видно из рис. 7.1.12.3.4, одновременное изменение температуры всех ЭРИ в диапазоне +25…+85 °С приводит к изменению интенсивности отказов общей части блока ШС10-Е более чем в 2,3796 раза.

Анализ результатов расчета общей части блока ШС10-Е.

Анализ влияния характеристик надежности конкретных ЭРИ на эксплуатационную интенсивность отказов общей части блока ШС10-Е проводилась непосредственно в ходе проведения расчета.

На рис. 7.1.12.3.5 показан вклад каждой СЧ (класса ЭРИ) в суммарную интенсивность отказов общей части блока. Как следует из рис. 7.1.12.3.5, наиболее ненадежной технологической группой класса ЭРИ является группа «Розетки».

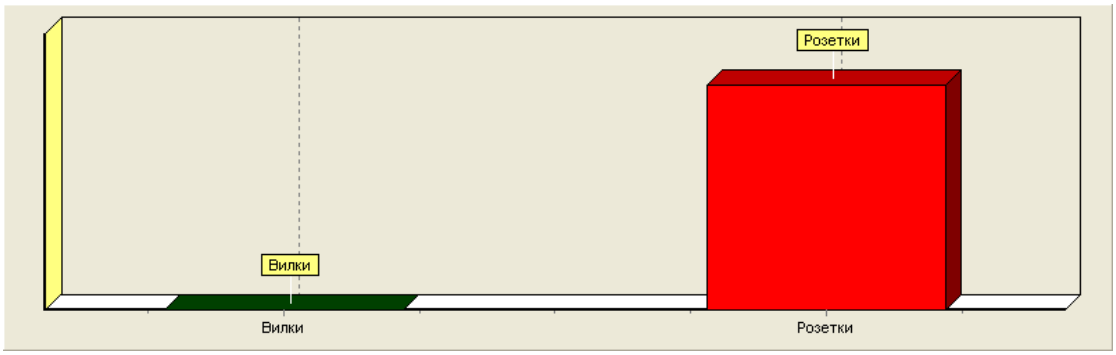


Рис. 7.1.12.3.5. Вклады классов ЭРИ в суммарную интенсивность отказов общей части блока ШС10-Е

На рис. 7.1.12.3.6 показан вклад ЭРИ в суммарную интенсивность отказов группы «Розетки». Как следует из рис. 7.1.12.3.6, ненадежными розетками являются розетки X15-X40 типа С 09 03 296 6825.

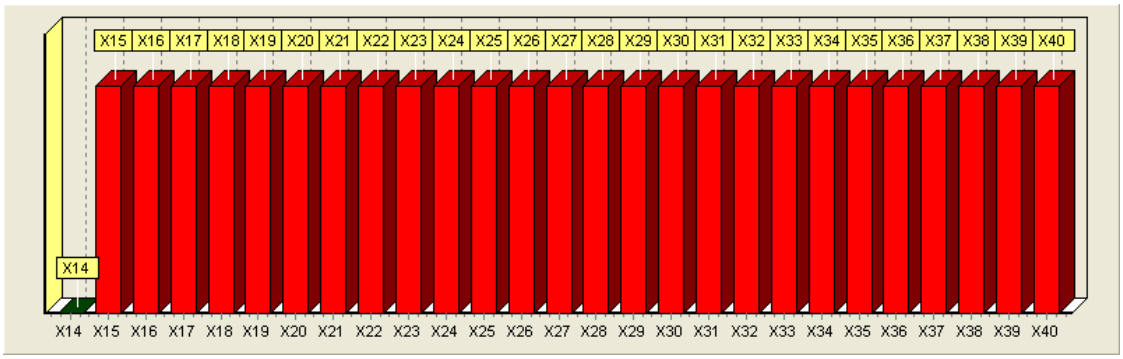


Рис. 7.1.12.3.6. Вклад ЭРИ в суммарную интенсивность отказов группы «Розетки»

Выводы и рекомендации по общей части блока ШС10-Е.

Проведенный расчет надежности общей части блока ШС10-Е показал, что при температуре 65 и 50 °С в зависимости от типа ЭРИ средняя наработка до отказа будет не ниже, чем 40,057 тыс. ч, для коэффициента электрической нагрузки в зависимости от типа ЭРИ, изменяющейся в диапазоне от 0,1 до 0,7. Общая часть блока ШС10-Е требованиям по надежности не удовлетворяет (средняя наработка до отказа должна быть не менее 150000 ч).

Наиболее ненадежной в общей части блока ШС10-Е является группа ЭРИ «Розетки» класса «Соединители». Для повышения надежности можно рекомендовать следующие мероприятия:

изменить тип ЭРИ (использовать ЭРИ с меньшей $\lambda_б$);

облегчить режим работы ЭРИ (снизить рабочую тепловую и электрическую нагрузки) или снизить температуру окружающей среды за счет ввода эффективной системы охлаждения;

применить ЭРИ с более высоким уровнем качества (для отечественных ЭРИ применить элементы с 9 приемкой (ОС), а для зарубежных ЭРИ элементы с уровнем качества S или B).

Расчет надежности блока ШС10-Е.

Средние времена восстановлений СЧ блока ШС10-Е.

Расчет средних времен восстановления электронных ячеек блока ШС10-Е в целом проведен по данным табл. 7.1.12.3.3, с использованием экспертных оценок на некоторые СЧ, а также при следующих предположениях:

по данным сменной эксплуатации, а также расчетного оценивания интенсивностей восстановления (ИВ) изделий, подобных рассматриваемому, ИВ при замене ячейками обычно не ниже 2 1/ч. Так, при наличии приборного ЗИП, достаточного по составу и его доступности (в пределах 10-30 минут), среднее время восстановления (величина, обратная ИВ) оказывается не более 0,5 ч;

задание среднего времени восстановления не более 0,5 ч обусловлено тем, что ЗИП предполагается комплектовать как ЭРИ, так

и ячейками (в основном), а также разным временем восстановления электронных ячеек блока ШС10-Е при работе в дневное и ночное время (в первом случае – до 0,3 ч, во втором – до 0,7 ч; это связано с разной возможностью доступа к ремонтной службе в дневное и ночное время суток). Поэтому усредненное за сутки среднее время восстановления изделия после проведения экспертной оценки не будет превышать (0,3 + 0,7) / 2 = 0,5 ч.

Кроме того, учтен фактор расположения электронных ячеек в базовом корпусе ШС10-Е.

Таким образом, среднее время восстановления блока будет определяться с учетом схемы обслуживания ШС10-Е:

$$\tau_В = \tau_а + \tau_{ОД} + \tau_П ,$$

где $\tau_а$ – среднее время активного ремонта (замены);

$\tau_{ОД}$ – среднее время вынужденного простоя при проведении ремонтных работ, связанное с административными задержками;

$\tau_П$ – среднее время простоя, связанное со временем, затраченным на снабжение (доставку), в нашем случае предполагаем равным нулю.

Ниже приведены экспертные оценки средних времен восстановления электронных ячеек и общей части модуля ШС10-Е (см. табл. 7.1.12.3.4).

Таблица 7.1.12.3.4

Значения средних времен восстановления СЧ блока ШС10-Е

№ п/п	Наименование элементов СРН	$\tau_В$, ч	Примечание
А1	Ячейка ШС10-71Е	0,5	
А2	Ячейка ШС10-30Е	0,5	
А3	Ячейка ШС10-10Е	0,5	
А4-А6	Ячейка ШС10-01Е	0,5	на 1 шт.
А7	Ячейка ШС10-02Е	0,5	
А8	Аппаратура передачи данных	0,5	
А9	Устройство ШС10-103Е	0,4	
А10	Общая часть блока ШС10-Е	0,4	

Полученная в результате расчета средняя наработка на отказ блока ШС10-Е (T_0) составляет (по двум вариантам):

- 3785 ч – I вариант;
- 3451 ч – II вариант.

Среднее время восстановления изделия равно:

- 0,49278888 ч (I вариант);
- 0,492112549577191 ч (II вариант).

Для справки был получен коэффициент готовности блока ШС10-Е (для двух вариантов):

- 0,99987055836 (I вариант);
- 0,999858032328 (II вариант).

Результаты расчета приведены в табл. 7.1.12.3.5.

Таблица 7.1.12.3.5

Расчетные значение средней наработки на отказ и коэффициента готовности СЧ и блока ШС10-Е в целом для двух вариантов

№ п/п	Наименование элементов расчета СРН	T_0, ч		$K_Г$, отн. ед.		Примечание
		I вариант	II вариант	I вариант	II вариант	
1	2	3	4	5	6	7
А1	Ячейка ШС10-71Е	27907	11128	0,99997491731	0,999937099571	
А2	Ячейка ШС10-30Е	22244	22533	0,99999730265	0,999973373096	
А3	Ячейка ШС10-10Е	21364	19802	0,99997191616	0,99996971	
А4-А6	Ячейка ШС10-01Е	11472	17991	0,99993026985	0,999955535299	на 1 шт.
А7	Ячейка ШС10-02Е	89639	89639*	0,99999330652	0,99999330652	
А8	Аппаратура передачи данных	150000**	150000**	0,99999666667	0,99999666667	
А9	Устройство ШС10-103Е	150000**	150000**	0,99999666667	0,99999666667	
А10	Общая часть блока ШС10-Е	40058	40058*	0,99998502194	0,99998502194	
	Блок ШС10-Е	3785	3451	0,99987055836	0,999858032328	

* – средняя наработка на отказ определялось только для одного варианта из-за отсутствия данных, по тепловому анализу ЭЯ;

** – средняя наработка на отказ ЭЯ определялись на основании требований ТЗ к блоку ШС10-Е.

Сопоставляя полученные значения с требованиями ТУ, заключаем, что изделие ШС10-Е требованию к величине средней наработки на отказ не удовлетворяет (средняя наработка на отказ не менее 15000 ч), а требованию к среднему времени восстановления удовлетворяет (не более 0,5 ч).

Анализ результатов расчета блока ШС10-Е.

Как следует из табл. 7.1.12.3.5, средняя наработка на отказ ШС10-Е не менее 3785 ч (I вариант) и 3451 ч (II вариант).

Сопоставляя эти значения с требуемыми в ТУ (не менее 15000 ч), заключаем, что изделие ШС10-Е требованиям ТУ к средней наработке на отказ не удовлетворяет.

Значение среднего времени восстановления на объекте эксплуатации силами и средствами дежурной смены не превышает 0,49278888 ч (I вариант) и 0,492112549577191 ч (II вариант) – это значение удовлетворяет требованием ТУ (не более 0,5 ч).

Для справки был проведен расчет значения коэффициента готовности. Оказалось, что значения коэффициента готовности по обеспечению выполнения функциональных задач ШС10-Е равно 0,99987055836 (I вариант) и 0,999858032328 (II вариант) (см. табл. 7.1.12.3.5).

При анализе состава блока было установлено, что:

в случае I варианта (предварительный расчет) наиболее ненадежными электронными ячейками являются ШС10-01Е, ШС10-10Е и ШС10-30Е (см. рис. 7.1.12.3.7);

в случае II варианта (уточненный расчет) наиболее ненадежными ЭЯ являются ШС10-71Е, ШС10-01Е и ШС10-10Е (см. рис. 7.1.12.3.8).

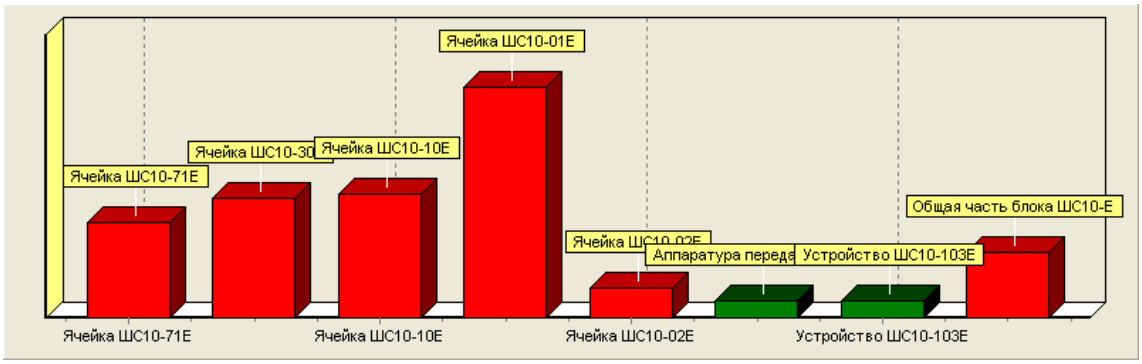


Рис. 7.1.12.3.7. Вклад СЧ в суммарную интенсивность отказов блока ШС10-Е (предварительный I вариант)

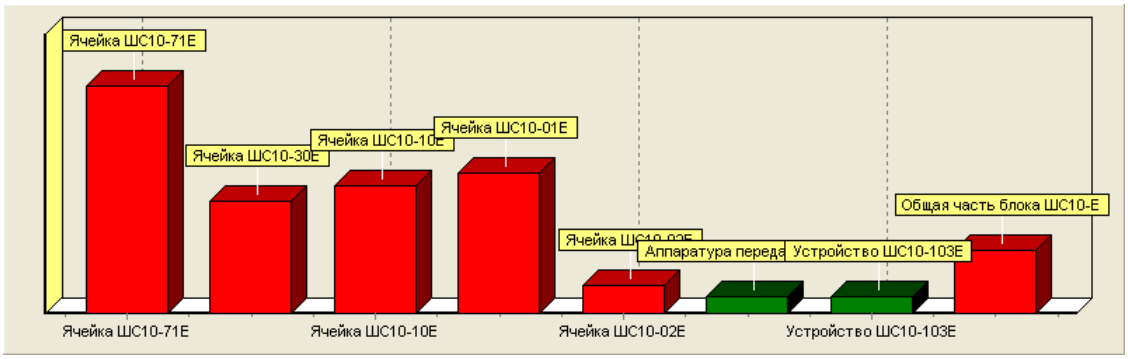


Рис. 7.1.12.3.8. Вклад СЧ в суммарную интенсивность отказов блока ШС10-Е (уточненный вариант - II)

Полученное в результате расчета значение средней наработки на отказ ниже требуемого значения по ТУ. Это позволяет говорить о том, что требуются дополнительные меры, связанные с изменениями блока с целью повышения показателей надежности (например, изменение критериев отказов блока, изменения структуры блока, алгоритма функционирования, условий эксплуатации, уровня качества ЭРИ и др.).

Рассмотрим более подробно наиболее вероятные пути повышения надежности.

1. Изменение критериев отказов блока ШС10-Е.

А. Изменение схемы расчета надежности за счет введения функционального резервирования ЭЯ ШС10-01Е двукратного нагруженного резервирования с восстановлением (как наиболее ненадежной – см. рис. 7.1.12.3.9). Это позволит не изменять конструкцию блока, т.к. таких ЭЯ в блоке 3 шт.

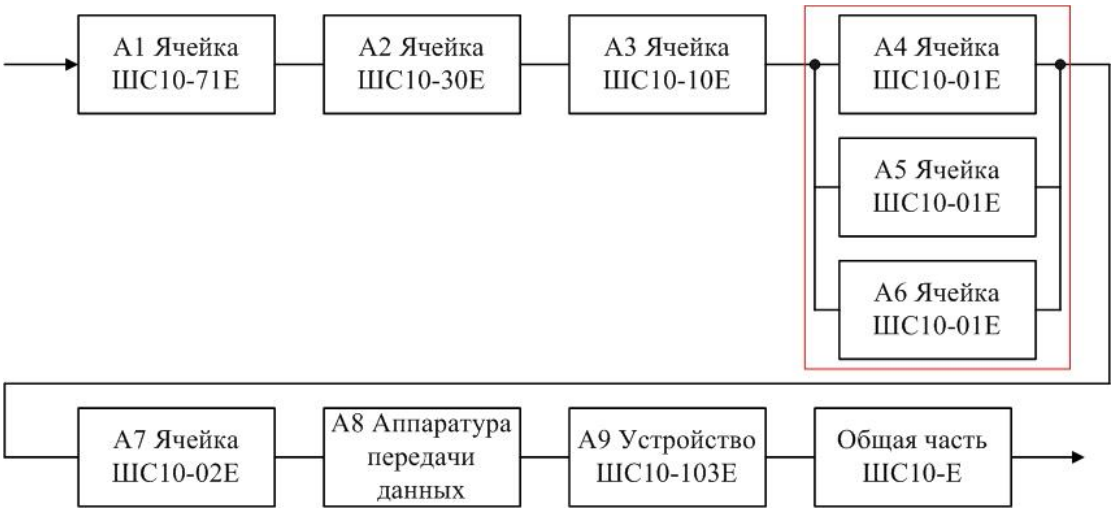


Рис. 7.1.12.3.9. Новый вариант схемы расчета надежности блока ШС10-Е (вариант А)

В этом случае будут достигнуты следующие показатели надежности.

Средняя наработка на отказ ШС10-Е (T_0) составляет по двум вариантам:

- 5449 ч – I вариант;
- 4234 ч – II вариант.

Среднее время восстановления блока равно:

- 0,488 ч (I вариант);
- 0,486 ч (II вариант).

Б. Изменение схемы расчета надежности за счет введения в конструкцию стойки аналогичного блока, реализующего однократное нагруженное резервирование с восстановлением (см. рис. 7.1.12.3.10) блока ШС10-Е. Это позволит очень резко повысить показатели надежности, но внесет существенные изменения в массогабаритные характеристики стойки.

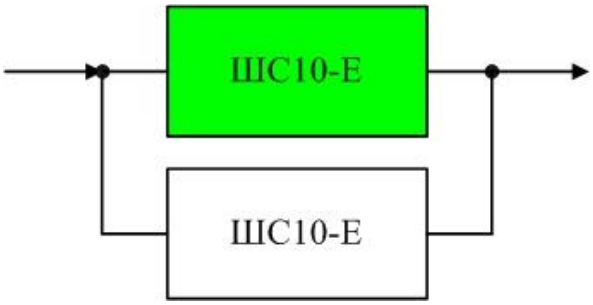


Рис. 7.1.12.3.10. Новый вариант схемы расчета надежности блока ШС10-Е (вариант Б)

В этом случае будут достигнуты следующие показатели надежности.

Средняя наработка на отказ ШС10-Е (То) составляет по двум вариантам:

- 33631 ч – I вариант;
- 28262 ч – II вариант.

Среднее время восстановления изделия равно:

- 0,246 ч (I вариант);
- 0,247 ч (II вариант).

2. Изменения уровней внешних воздействующих факторов, т.е. изменение жесткости условий эксплуатации на более легкие, например, с группы аппаратуры 1.4 на группу аппаратуры 1.1 «Аппаратура стационарная, устанавливаемая в отапливаемых наземных сооружениях».

В этом случае будут достигнуты следующие показатели надежности.

Средняя наработка на отказ ШС10-Е (То) составляет по двум вариантам:

- 23791 ч – I вариант;
- 21692 ч – II вариант.

Среднее время восстановления изделия равно:

- 0,49278888 ч (I вариант);
- 0,492112549577191 ч (II вариант).

3. Изменение уровня качества (приемки) ЭРИ, применяемых в модуле ШС10-Е. Например, введение дополнительного входного контроля для ЭРИ иностранного производства по группе стандартов MIL-M-38510 и MIL-STD-883 позволит существенно повысить значения показателей надежности.

Средняя наработка на отказ ШС10-Е (То) составляет по двум вариантам:

- 18925 ч – I вариант;
- 17255 ч – II вариант.

Среднее время восстановления изделия равно:

- 0,49278888 ч (I вариант);
- 0,492112549577191 ч (II вариант).

С другой стороны, повышению надежности блока будет содействовать его упрощение, облегчение временных и иных условий функционирования в составе изделия.

Выводы.

Проведенные предварительный и уточненный расчеты надежности блока ШС10-Е показали, что средняя наработка на отказ в первом случае не менее 3785 ч, а во втором случае 3451 ч. Расчетные значения среднего времени восстановления - не более 0,49278888 ч и 0,492112549577191 ч.

Таким образом, блок ШС10-Е требованиям ТУ к показателям надежности по T_0 не удовлетворяет, а по τ_B удовлетворяет (среднее

время наработки на отказ блока должно быть не менее 15000 часов, а среднее время восстановления работоспособности – не более 0,5 часа без учета времени доставки из ЗИП).

Исходя из рассмотренных выше путей повышения надежности блока ШС10-Е в целом, можно сделать следующие выводы:

за счет использования общего однократного резервирования блока в целом можно повысить показатели безотказности почти на порядок, при этом внутренняя структура блока не будет изменена;

облегчение жесткости условий применения (ВВФ) позволит повысить показатели безотказности более чем в 5 раз;

изменение уровня качества (приемки) ЭРИ, применяемых в ШС10-Е, позволит повысить показатели безотказности более чем в 3 раза.

7.2. Моделирование изделия МТКУ

7.2.1. Исходные данные и задачи для моделирования изделия МТКУ

Задача расчета.

1. Расчет на механические воздействия.

1.1. Расчет параметров ударостойкости блока, плат и электрорадиоизделий (ЭРИ) с помощью АСОНИКА-М-3D и АСОНИКА-ТМ:

а) механический удар одиночного действия.

Воздействие механических ударов одиночного действия с пиковым ударным ускорением 147 м/с^2 (15g) при длительности действия ударного ускорения от 5 до 10 мс;

б) прочность при воздействии механических ударов многократного действия.

Воздействие механических ударов многократного действия с пиковым ударным ускорением 147 м/с^2 (15g) при длительности действия ударного ускорения от 5 до 10 мс, число ударов 20, с частотой не более 80 ударов в мин;

в) прочность при воздействии механических ударов многократного действия.

Воздействия механических ударов многократного действия с пиковым ударным ускорением 147 м/с^2 (15g) и длительностью действия ударного ускорения от 5 до 10 мс. Число ударов должно быть 3300 при испытаниях изделия в рабочем положении. Частота ударов должна быть не более 120 ударов в минуту;

г) акустический шум.

Воздействие акустического шума в диапазоне частот от 50 до 10000 Гц с уровнем звукового давления 130 дБ, длительность воздействия 5 мин;

д) механические резонансы.

В аппаратуре МТКУ должны отсутствовать механические резонансы (увеличение в два раза и более амплитуды перемещения отдельных частей и конструктивных элементов аппаратуры, по сравнению с амплитудой колебаний точек их крепления) в диапазоне частот от 1 до 40 Гц.

1.2 Расчет параметров вибропрочности блока, плат и ЭРИ с помощью АСОНИКА-М-3D и АСОНИКА-ТМ.

Воздействие синусоидальной вибрации в диапазоне частот от 22 до 500 Гц с ускорением 49,0 м/с^2 (5g), в диапазоне частот от 1 до 22 Гц с амплитудой перемещения 1 мм.

Время воздействия должно быть 10 часов при испытании изделия в рабочем положении. Требования к изделию МТКУ по стойкости к воздействию широкополосной случайной вибрации (ШСВ) представлены в таблицах 7.2.1.1 и 7.2.1.2.

Таблица 7.2.1.1

Перечень № 1 параметров воздействия широкополосной случайной вибрации (ШСВ)

Внешний воздействующий фактор (ВВФ)	Характеристика ВВФ	Максимальное значение ВВФ, предъявляемое требование
Широкополосная случайная вибрация (ШСВ)	Суммарное среднеквадратическое значение виброускорений по осям X, Y, Z σΣср. кв. (x, y, z), g	15
	Значение спектральной плотности (S_i) в диапазоне частот	
	Диапазон частот, Гц	S_i (g^2/Гц)
	от 10 до 180 от 180 до 350 от 350 до 710 от 710 до 1400 от 1400 до 2000	0,0463 0,1928 0,1331 0,1647 0,0375
	Суммарная продолжительность испытаний на устойчивость и прочность по осям X, Y и Z, мин Время одного воздействия, с Перерыв между воздействиями, с	60 2 5

Таблица 7.2.1.2

Перечень №2 параметров воздействия широкополосной случайной вибрации (ШСВ)

Внешний воздействующий фактор (ВВФ)	Характеристика ВВФ	Максимальное значение ВВФ, предъявляемое требование
Широкополосная случайная вибрация (ШСВ)	Суммарное среднеквадратическое значение виброускорений по осям X, Y, Z σΣср. кв. (x, y, z), g	10
	Значение спектральной плотности (S_i) в диапазоне частот	
	Диапазон частот, Гц	S_i (g^2/Гц)
	от 10 до 180 от 180 до 350 от 350 до 710 от 710 до 1400 от 1400 до 2000	0,0176 0,1765 0,1111 0,0246 0,0167
	Суммарная продолжительность испытаний на устойчивость и прочность по осям X, Y и Z, мин Время одного воздействия, с Перерыв между воздействиями, с	60 2 5

2. Расчет влияния тепловых воздействий, включая:

2.1. Расчет стационарного теплового режима блока, плат, ЭРИ с помощью АСОНИКА-Т и АСОНИКА-ТМ:

предельная рабочая температура: +65 °С;

предельная рабочая температура: -40 °С;

контрольные точки рабочей температуры:

-40; -20; +5; +25; +40; +60; +65 °С;

предельная повышенная температура: +70 °С;

предельная пониженная температура: -60 °С.

3. Расчет параметров надежности, включая:

3.1. Расчет показателей безотказности с помощью АСОНИКА-Б:

вероятность безотказной работы в течение 300 часов;

средняя наработка на отказ не менее 20000 часов;

отказом изделия является отказ любого его составного элемента (детали).

3.2. Расчет параметров долговечности с помощью АСОНИКА-Б и АСОНИКА-УСТ:

полный назначенный ресурс до списания не менее 62000 часов;

полный назначенный срок службы – 16 лет, из них в составе изделия не менее 12 лет (хранение на складе (НЕ в составе изделия) максимум 4 года), включая время хранения в составе изделия;

предельным состоянием изделия является достижение полного назначенного ресурса.

4. Создание карт рабочих режимов ЭРИ с помощью АСОНИКА-Р.

Коэффициент нагрузки по мощности активных ЭРИ и датчиковых элементов при воздействии повышенной рабочей температуры должен быть не более 0,8. Коэффициент нагрузки по температуре активных ЭРИ и датчиковых элементов при воздействии повышенной рабочей температуры должен быть не более 0,98. Оценка правильности применения ЭРИ в приборе МТКУ должна соответствовать требованиям ГОСТ.

7.2.2. Моделирование механических процессов в изделии МТКУ (АСОНИКА-М-3D)

Данные для моделирования.

На рис. 7.2.2.1 представлена модель конструкции изделия МТКУ, загруженная в АСОНИКА-М-3D.

Перед импортированием конструкции блока в АСОНИКА-М-3D в нее вносятся некоторые упрощения, такие как скрытие некоторых электронных компонентов, удаление скруглений, фасок и мелких деталей.

На рис. 7.2.2.2 – 7.2.2.3 представлены некоторые графики механических воздействий, созданные в АСОНИКА-М-3D. Аналогично задаются воздействия для гармонической вибрации и многократного удара.

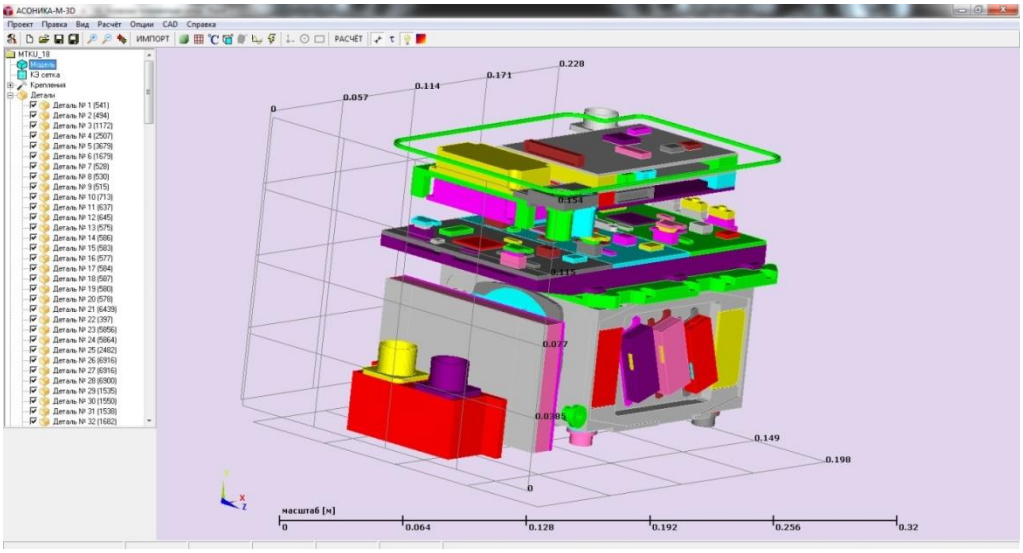


Рис. 7.2.2.1. Вид изделия МТКУ без корпуса и крышки

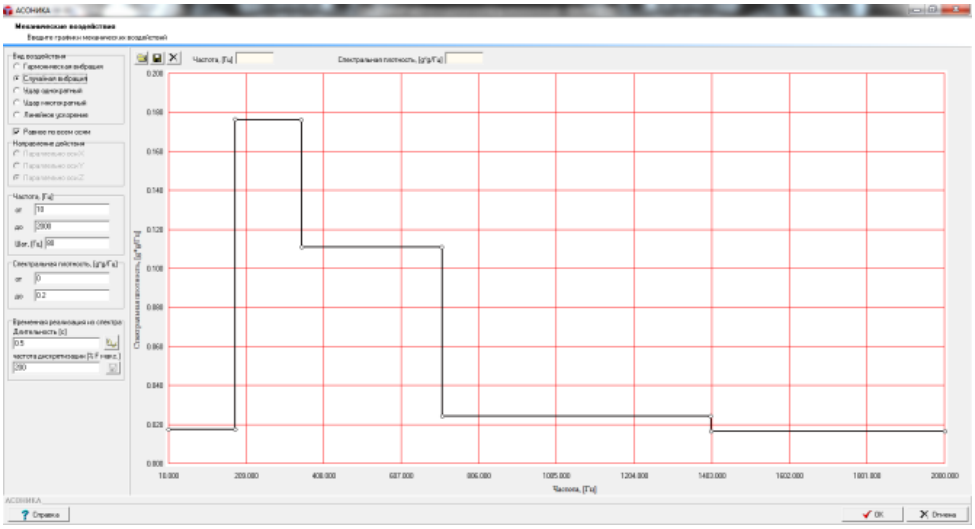


Рис. 7.2.2.2. График входного воздействия для случайной вибрации

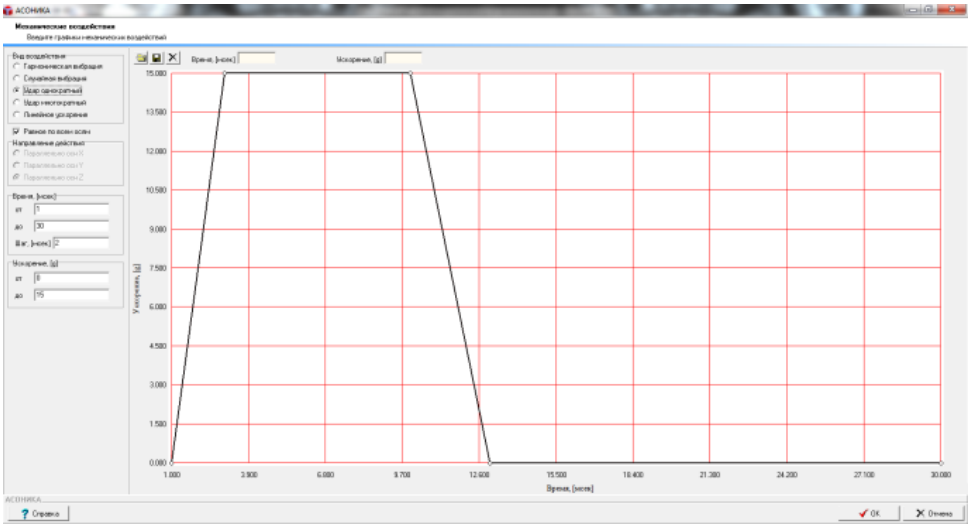


Рис. 7.2.2.3. График входного воздействия для одиночного удара

Результаты моделирования.

Результаты расчета воздействия гармонической вибрации на частоте 422 Гц представлены на рис. 7.2.2.4. Можно также вывести зависимость ускорения от частоты в контрольной точке, зависимость напряжения от частоты в контрольной точке, поле напряжений в конструкции, поле максимальных перемещений на любой частоте при гармонической вибрации.

Значение максимальных напряжений составляет 13,71 МПа. Как видно из результатов моделирования, в аппаратуре МТКУ отсутствуют механические резонансы в диапазоне частот от 1 до 40 Гц.

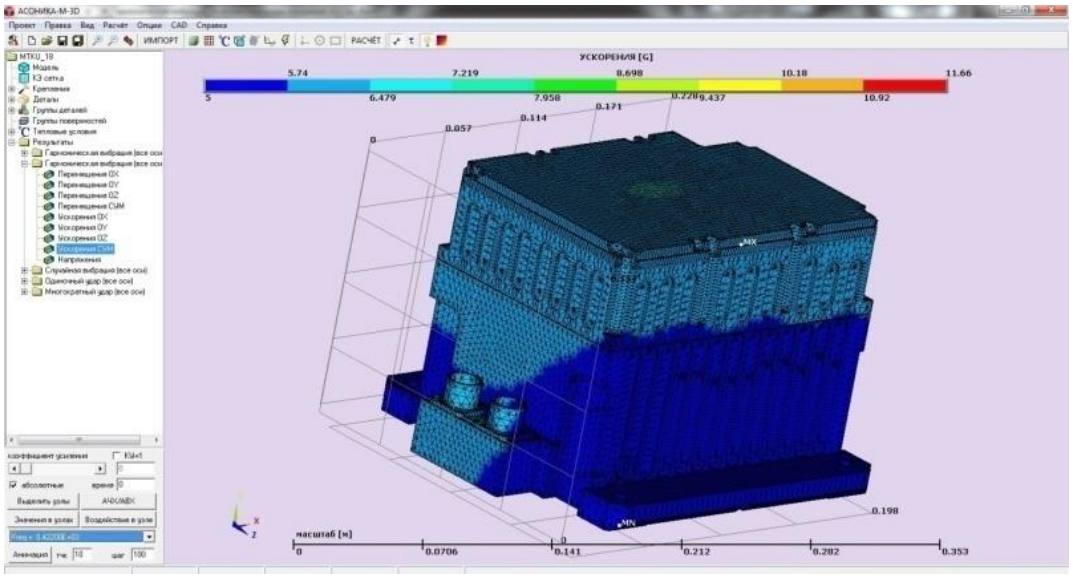


Рис. 7.2.2.4. Поле максимальных ускорений при гармонической вибрации на частоте 422 Гц

Результаты расчета воздействия случайной вибрации: поля среднеквадратических ускорений, перемещений, напряжений, минимальное время до усталостного разрушения (скриншоты экранов не приводятся).

Максимальное значение среднеквадратических ускорений составляет 424,1g, но это не в местах креплений печатных узлов. В них выходные ускорения практически равны входным, то есть усиления практически нет. Конструкция достаточно жесткая с точки зрения случайной вибрации.

Максимальное значение среднеквадратических напряжений составляет 33,13 МПа (допустимое – 185 МПа).

Минимальное время до усталостного разрушения составляет 27200 секунд (приблизительно 7,5 часа) при воздействии случайной вибрации.

Результаты расчета воздействия одиночного удара следующие. Выходные ускорения практически равны входным, то есть усиления практически нет. Конструкция достаточно жесткая с точки зрения одиночного удара.

Поле максимальных напряжений при воздействии одиночного удара показывает, что максимальное напряжение составляет 29,74 МПа (допустимое - 185 МПа). Можно также вывести АВХ по ускорению при одиночном ударе, поле максимальных перемещений при одиночном ударе, АВХ по перемещению при одиночном ударе, поле максимальных напряжений при одиночном ударе, АВХ по напряжению при одиночном ударе.

Результаты расчета воздействия многократного удара следующие. Выходные ускорения практически равны входным, то есть

усиления практически нет. Конструкция достаточно жесткая с точки зрения многократного удара.

Поле максимальных напряжений при воздействии многократного показало, что максимальное напряжение в местах крепления составляет 12,04 МПа (допустимое - 185 МПа). Можно также вывести АВХ по ускорению при многократном ударе, поле максимальных перемещений при многократном ударе, АВХ по перемещению при многократном ударе, поле максимальных напряжений при многократном ударе, АВХ по напряжению при многократном ударе.

Выводы.

При моделировании механических воздействий в АСОНИКА-М-3D следует отметить отсутствие превышений допустимых значений параметров, заданных в техническом задании, таких как амплитуда ускорения, предел прочности материала (185 МПа), время до усталостного разрушения конструкции блока. На основании этого можно сделать вывод, что конструкция блока МТКУ удовлетворяет требованиям технического задания, а полученные выходные воздействия в дальнейшем должны быть учтены при проведении моделирования механических факторов в подсистеме АСОНИКА-ТМ.

Выходные воздействия, полученные в результате расчета в АСОНИКА-М-3D, передаются в АСОНИКА-ТМ для последующих расчетов печатных плат.

7.2.3. Моделирование тепловых процессов в изделии МТКУ (АСОНИКА-Т)

В конструкции блока применяются материалы, характеристики которых представлены в таблице 7.2.3.1.

Таблица 7.2.3.1

Характеристики материалов конструкции

Материал	Плотность, кг/м^3	Теплоемкость Дж/кг·К	Теплопроводность Вт/м·К
Д16 ГОСТ 21631-76	2780	921	164
ФС-2-35-1,5 ТУ16-503.271-86	1850	420	0,3

На рис. 7.2.3.1, 7.2.3.2 представлена конструкция блока с обозначением узлов, используемых при построении модели в АСОНИКА-Т.

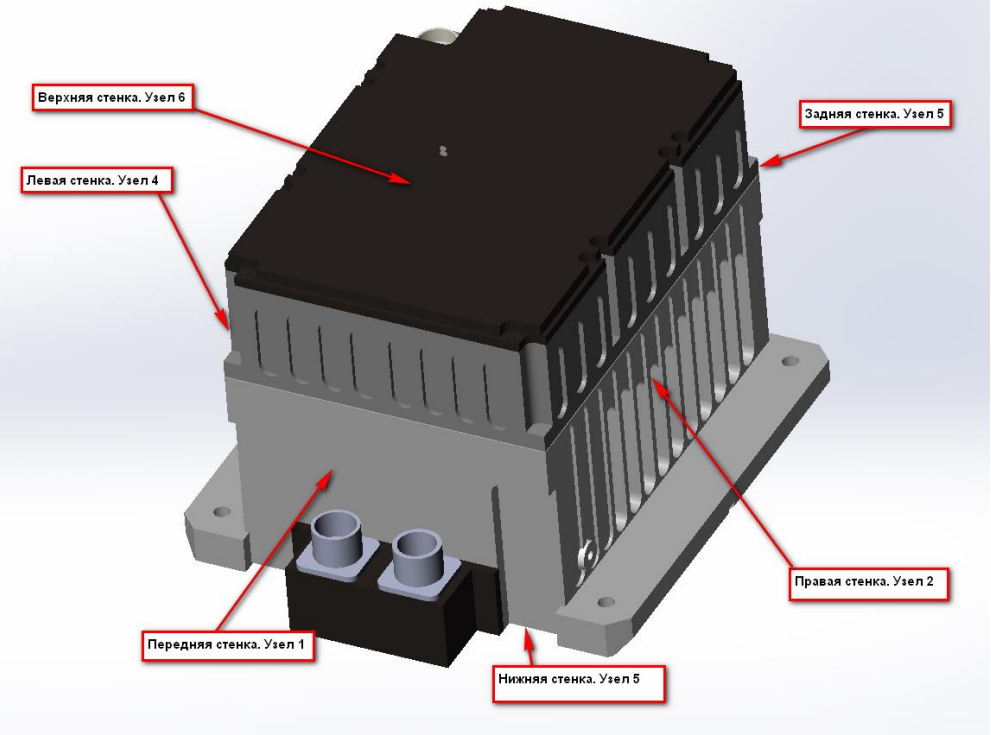


Рис. 7.2.3.1. Конструкция блока с обозначением узлов, используемых при построении модели в АСОНИКА-Т

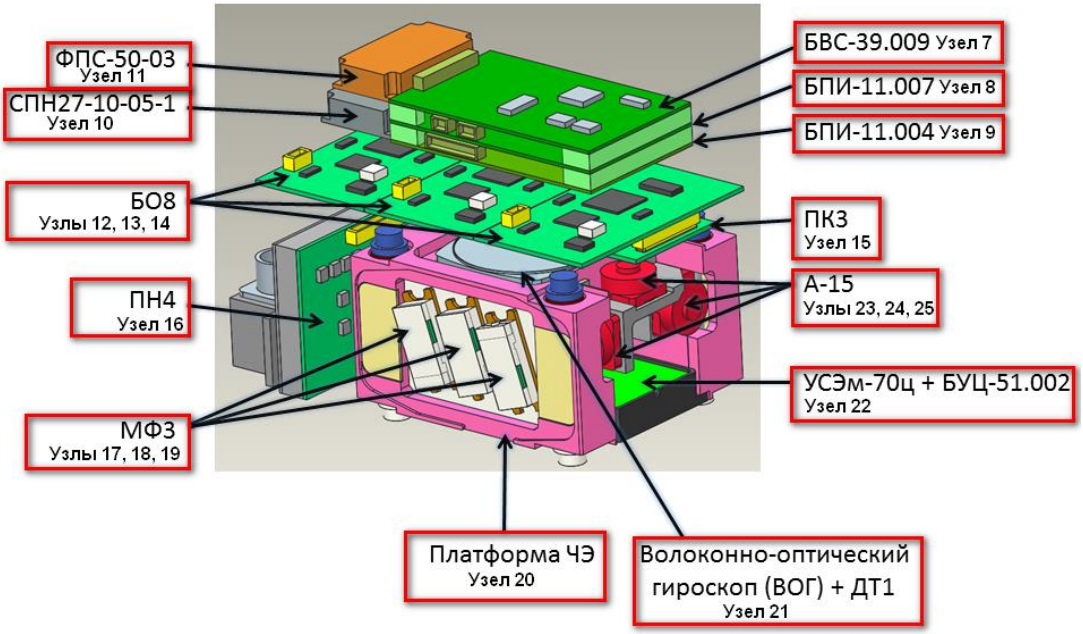


Рис. 7.2.3.2. Составляющие блока МТКУ с указанием узлов для АСОНИКА-Т

Фрагменты математической модели теплового процесса, представленной в виде графа в АСОНИКА-Т, приведены на рис. 7.2.3.3 – 7.2.3.9.

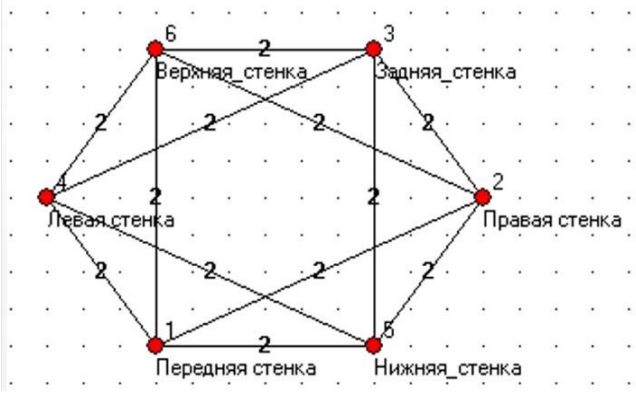


Рис. 7.2.3.3. Модель корпуса блока

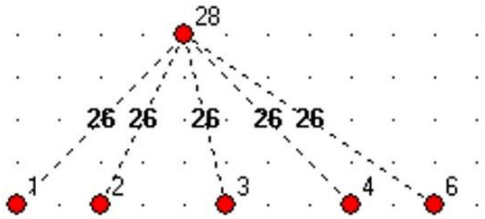


Рис. 7.2.3.4. Взаимосвязи стенок корпуса блока с окружающей средой

При описании модели корпуса блока учитываются такие виды теплопередачи как кондукция, естественная конвекция и излучение. Взаимосвязи корпуса блока (узлы 1, 2, 3, 6) и окружающей среды (узел 28). Используется такой вид теплопередачи как естественная конвекция с поверхности, имеющей ребра на стенках, а также излучение.

Разобьем пространство внутри корпуса блока МТКУ на два объема.

Первый объем (верхняя часть) включает в себя платы БВС-39.009, БПИ-11.007, БПИ-11.004, СНП27-10-05-1, ФПС50-03 и основание (узел 31).

Второй объем (нижняя часть) включает в себя платы БО8, ПКЗ, платформу с чувствительными элементами и установленными на нее модулями: А15, МФЗ, УСЭм-70ц, БУЦ-51.002, ВОГ, ПН4.

Внутри корпуса блока МТКУ взаимосвязи между платами БВС-39.009, БПИ-11.007, БПИ-11.004, СНП27-10-05-1, ФПС50-03 с основанием (узел 31) внутри блока (верхняя часть) представлены путем контактного теплообмена. Основание связано с передней, задней, левой и правой стенками кондуктивно.

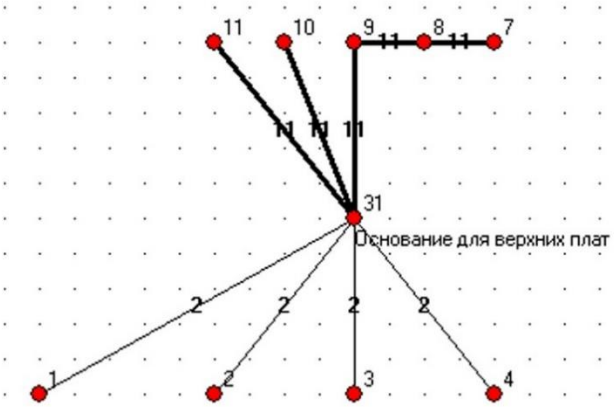


Рис. 7.2.3.5. Взаимосвязи плат внутри блока (верхняя часть)

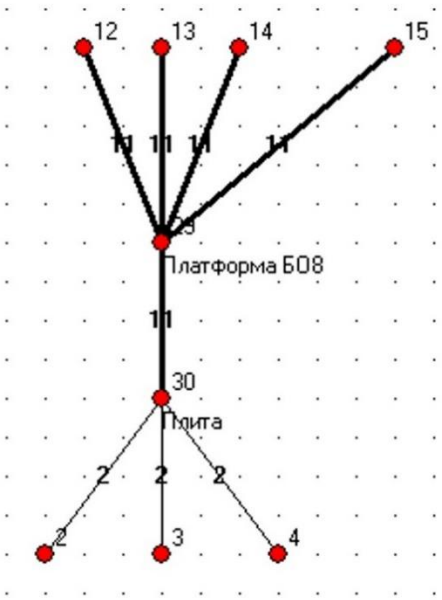


Рис. 7.2.3.6. Взаимосвязи плат в нижней части блока

Внутри корпуса блока МТКУ задаются взаимосвязи (контактный теплообмен) между платами БО8, ПКЗ с платформой для БО8, которая в свою очередь связана с плитой, расположенной над платформой ЧЭ с установленными на ней модулями А15, МФЗ, УСЭм-70ц, БУЦ-51.002, ВОГ, ПН4. Плита связана с левой, правой, задней, стенками кондуктивно.

Внутри блока присутствуют такие виды теплопередачи как естественная конвекция и излучение от элементов, выделяющих мощность. Ветви, описывающие излучение и естественную конвекцию внутри блока МТКУ, представлены на рис. 7.2.3.7.

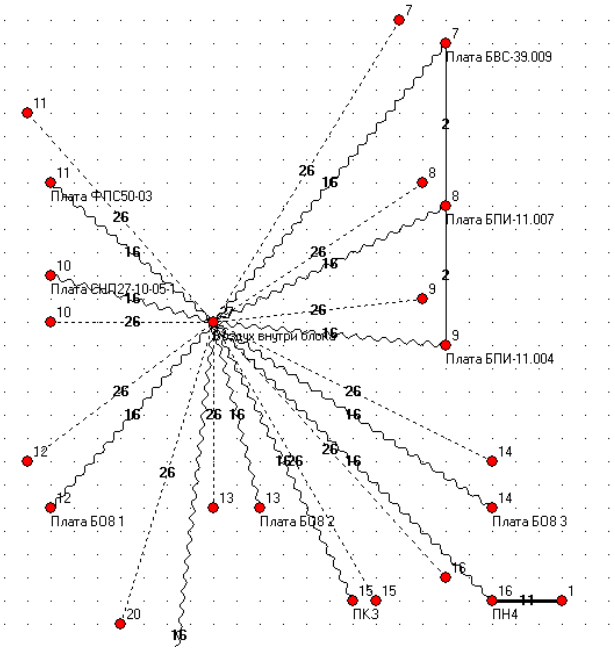


Рис. 7.2.3.7. Ветви излучения и естественной конвекции

Элементы, выделяющие мощность, представлены на рис. 7.2.3.8. Для каждого элемента задается источник мощности.

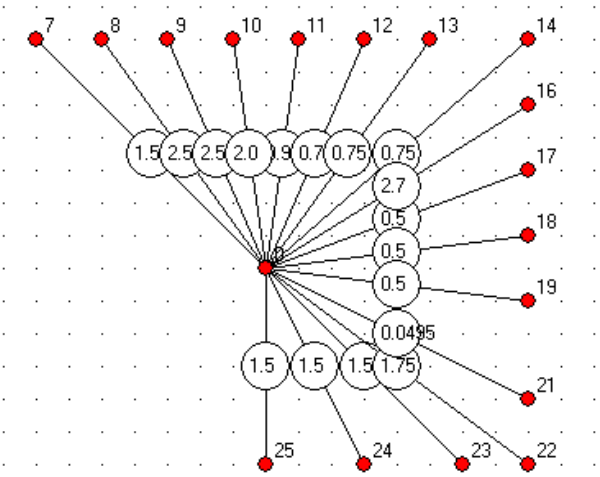


Рис. 7.2.3.8. Элементы, выделяющие мощность

Платформа чувствительных элементов отображена на рис. 7.2.3.9. Отражены взаимосвязи между элементами, устанавливаемыми на данную платформу (контактный теплообмен), а также учтено излучение от элементов в воздух внутри блока МТКУ.

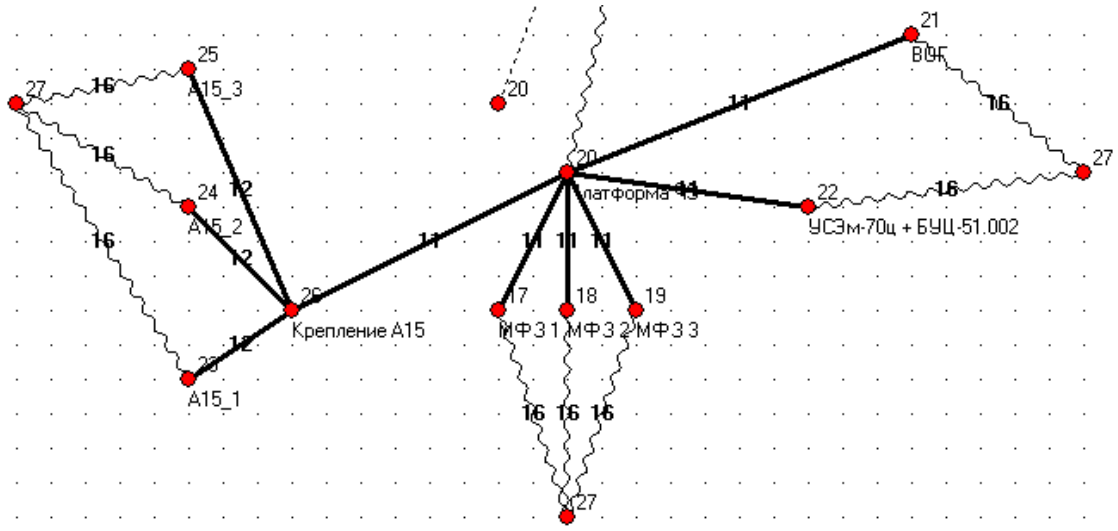


Рис. 7.2.3.9. Фрагмент модели блока МТКУ, описывающий платформу ЧЭ

Результаты моделирования.

Результаты расчета стационарного теплового режима блока, плат, ЭРИ при предельной рабочей температуре +65 °С представлены в табл. 7.2.3.2.

Таблица 7.2.3.2

Результаты расчета стационарного теплового режима блока, плат, ЭРИ при предельной рабочей температуре +65 °С

№ узла	Имя узла	Температура, °С
1	Передняя стенка	69
2	Правая стенка	66,9
3	Задняя стенка	68,1
4	Левая стенка	66,9
5	Нижняя стенка	67,6
6	Верхняя стенка	67,4
7	Плата БВС-39.009	79,4
8	Плата БПИ-11.007	79,4
9	Плата БПИ-11.004	79,2
10	Плата СНП27-10-05-1	74,9
11	Плата ФПС50-03	74,6
12	Плата БО8 1	71,6
13	Плата БО8 2	71,6
14	Плата БО8 3	71,6
15	ПКЗ	71,6
16	ПН4	69,3
17	МФЗ 1	93,6
18	МФЗ 2	93,6
19	МФЗ 3	93,6
20	Платформа ЧЭ	93,4
21	ВОГ	93,4
22	УСЭм-70ц + БУЦ-51.002	93,5
23	А15_1	96,4
24	А15_2	96,4
25	А15_3	96,4
26	Крепление А15	94,9
27	Воздух внутри блока	86,4
28	Окружающая среда	65
29	Платформа БО8	70,9
30	Плита	70,3
31	Основание для верхних плат	74,3

Можно вывести аналогичную таблицу с результатами моделирования при предельной рабочей температуре -40 °С, -20 °С, +5 °С, +25 °С, +40 °С и др.

Для дальнейших расчетов в АСОНИКА-ТМ передаются значения температур воздуха между печатными платами. Полученные значения будут служить граничными условиями при моделировании тепловых воздействий в АСОНИКА-ТМ.

Выводы.

Получена тепловая модель блока МТКУ, отражающая результаты работы данного блока при повышенной и пониженной температуре окружающей среды в стационарном режиме работы;

по результатам расчетов получены граничные условия (температура) для дальнейшего моделирования печатных узлов, входящих в блок МТКУ, и расчета температур каждого ЭРИ на предмет сравнения с допустимыми по ТУ значениями.

7.2.4. Моделирование механических и тепловых процессов в плате БО8 (АСОНИКА-ТМ)

Исходные данные.

Фотография платы БО8 представлена на рис. 7.2.4.1. Также имеются перечень ЭРИ, файл платы, созданный в системе PCAD (импортируется в АСОНИКА-ТМ с помощью специального конвертора).

АСОНИКА-ТМ по перечню ЭРИ автоматически считывает все необходимые геометрические, физико-механические и теплофизические параметры ЭРИ из базы данных подсистемы АСОНИКА-БД.

АСОНИКА-ТМ по марке материала автоматически считывает все необходимые физико-механические и теплофизические параметры материалов из базы данных подсистемы АСОНИКА-БД.

Изображение платы БО8 в графическом интерфейсе АСОНИКА-ТМ представлено на рис. 7.2.4.2.

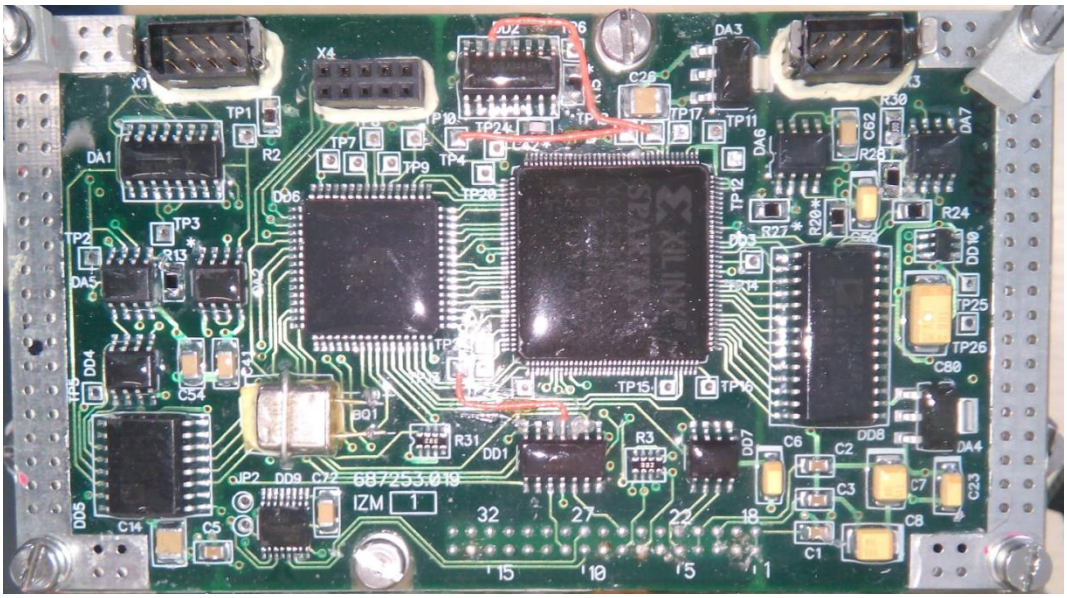


Рис. 7.2.4.1. Фотография платы БО8

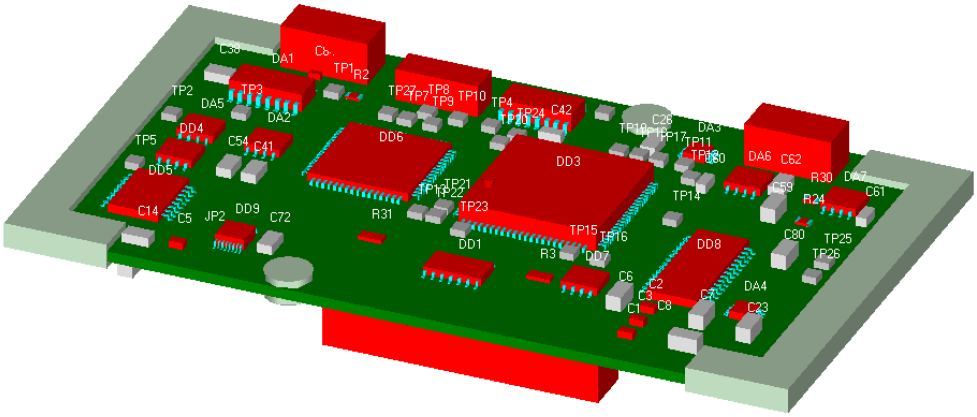


Рис. 7.2.4.2. Изображение платы БО8 в графическом интерфейсе АСОНИКА-ТМ

Входные механические и тепловые воздействия.

На рис. 7.2.4.3 – 7.2.4.8 представлены входные механические воздействия.

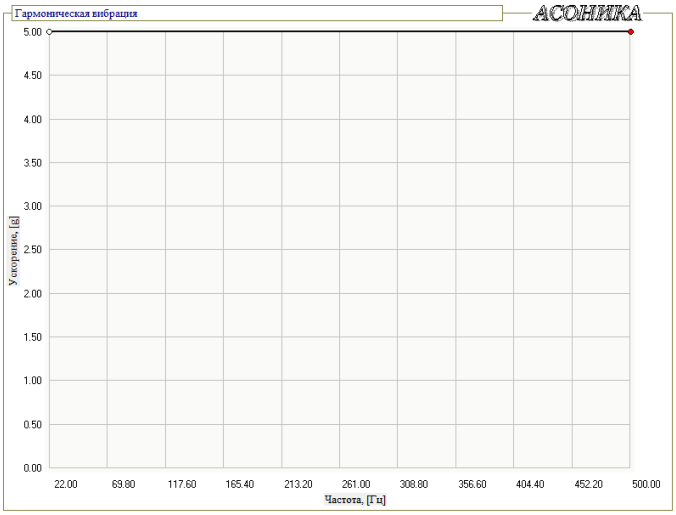


Рис. 7.2.4.3. Зависимость ускорения гармонической вибрации от частоты

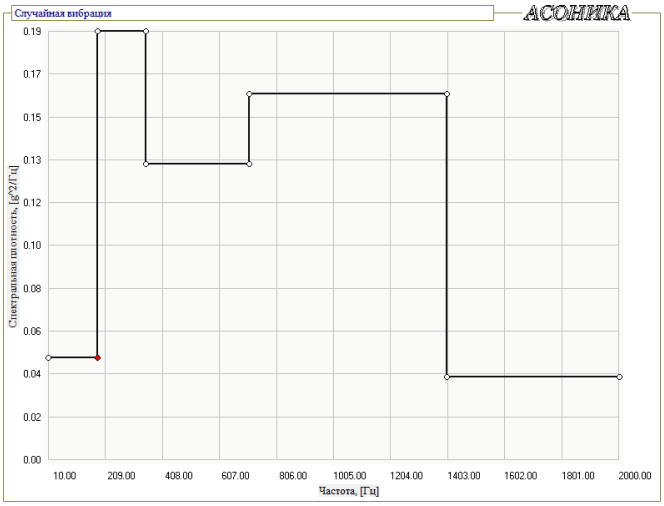


Рис. 7.2.4.4. Зависимость спектральной плотности случайной вибрации от частоты (вариант 1)

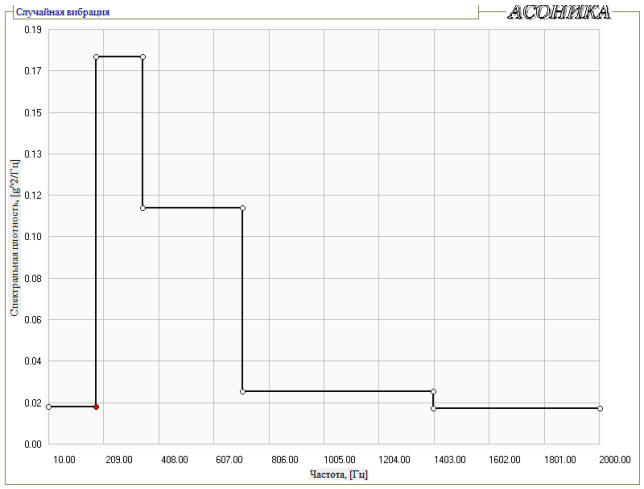


Рис. 7.2.4.5. Зависимость спектральной плотности случайной вибрации от частоты (вариант 2)

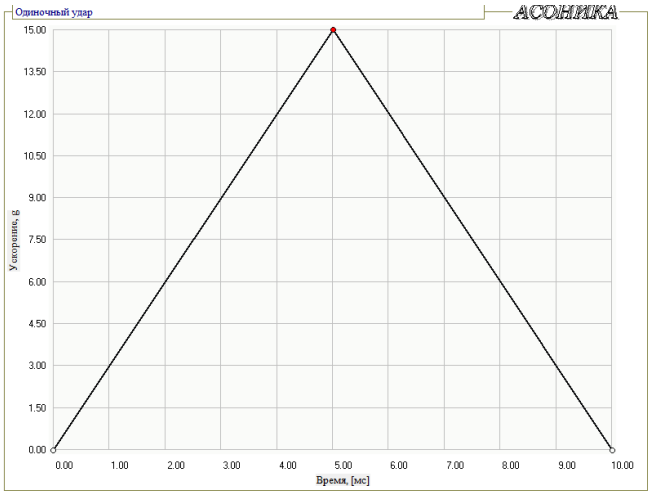


Рис. 7.2.4.6. Зависимость ускорения одиночного удара от времени



Рис. 7.2.4.7. Зависимость ускорения многократного удара от времени

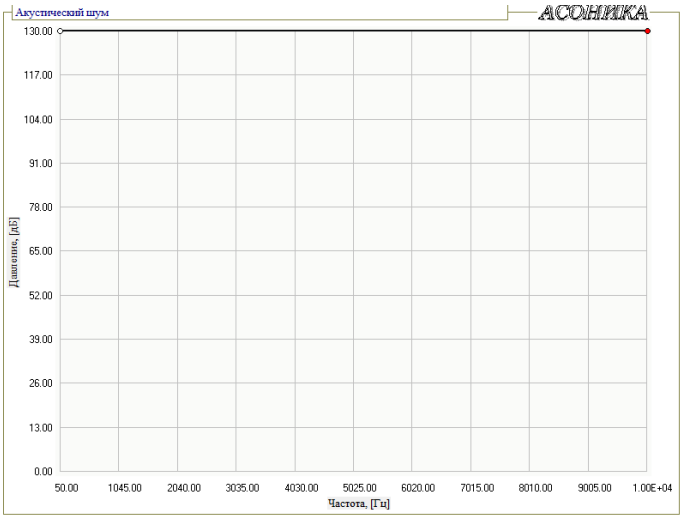


Рис. 7.2.4.8. Зависимость акустического давления от частоты

Максимальная температура внутри блока составляет 65 °С.

Результаты моделирования в АСОНИКА-ТМ.

Контрольная точка (имитатор датчика) находится в центре платы. Некоторые результаты моделирования представлены на рис. 7.2.4.9 – 7.2.4.14.

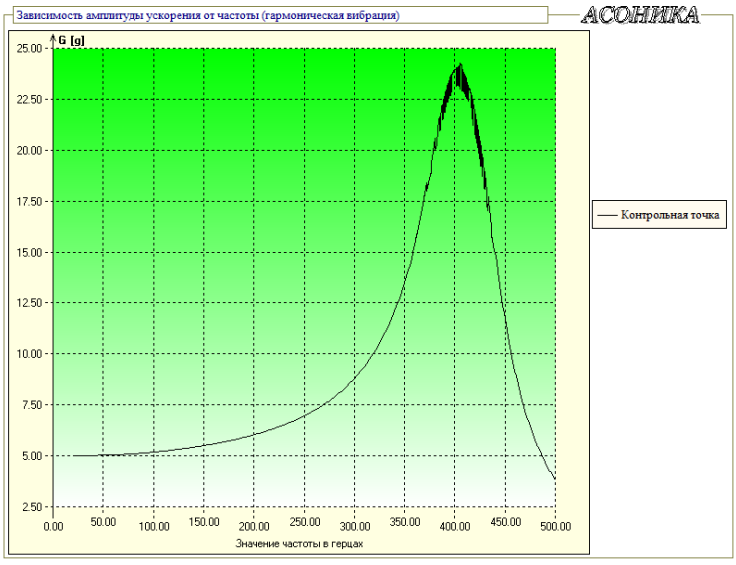


Рис. 7.2.4.9. Зависимость амплитуды ускорения в контрольной точке печатного узла от частоты для гармонической вибрации

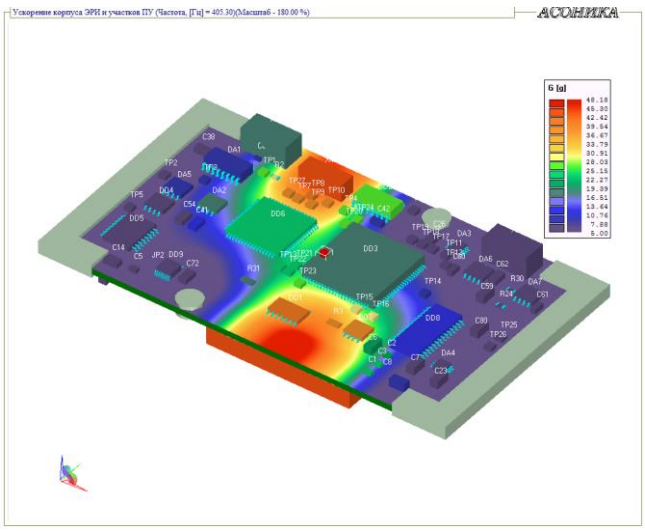


Рис. 7.2.4.10. Поля максимальных ускорений корпусов ЭРИ и участков ПУ для гармонической вибрации

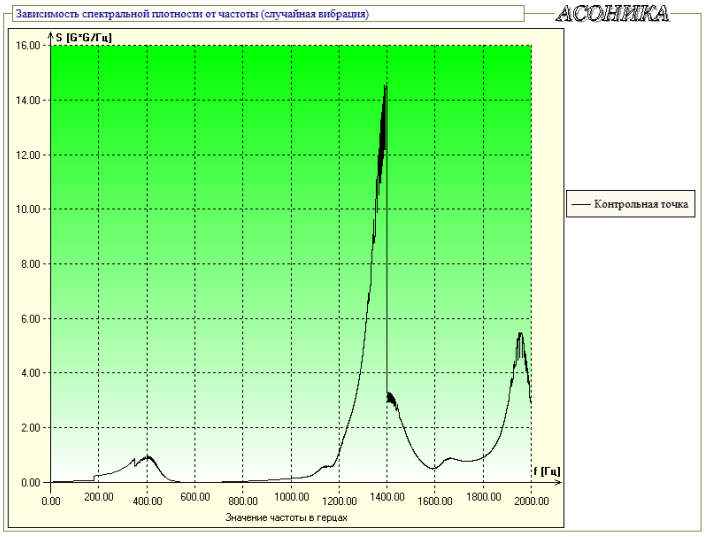


Рис. 7.2.4.11. Зависимость спектральной плотности в контрольной точке печатного узла от частоты для случайной вибрации (вариант 1)

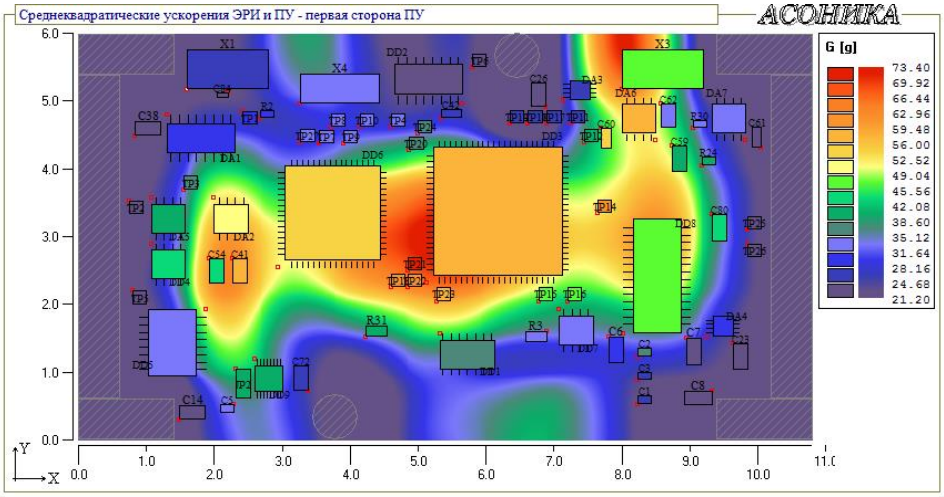


Рис. 7.2.4.12. Поля среднеквадратических ускорений в печатном узле для случайной вибрации (вариант 1)

Можно вывести аналогичные поля максимальных напряжений участков ПУ для гармонической вибрации, поля среднеквадратических напряжений в печатном узле для случайной вибрации (вариант 1), зависимость спектральной плотности в контрольной точке печатного узла от частоты для случайной вибрации (вариант 2), поля среднеквадратических ускорений в печатном узле для случайной вибрации (вариант 2), поля среднеквадратических напряжений в печатном узле для случайной вибрации (вариант 2), зависимость ускорения в контрольной точке печатного узла от времени для одиночного удара, поля максимальных ускорений в печатном узле для одиночного удара, поля максимальных напряжений в печатном узле для одиночного удара, зависимость ускорения в контрольной точке печатного узла от времени для многократного удара, поля максимальных ускорений в печатном узле для многократного удара, поля максимальных напряжений в печатном узле для многократного удара, зависимость амплитуды ускорения в контрольной точке печатного узла от частоты для акустического шума, поля максимальных напряжений в печатном узле для акустического шума, поля максимальных температур в печатном узле. Эти данные можно посмотреть как с первой стороны платы, так и со второй стороны.

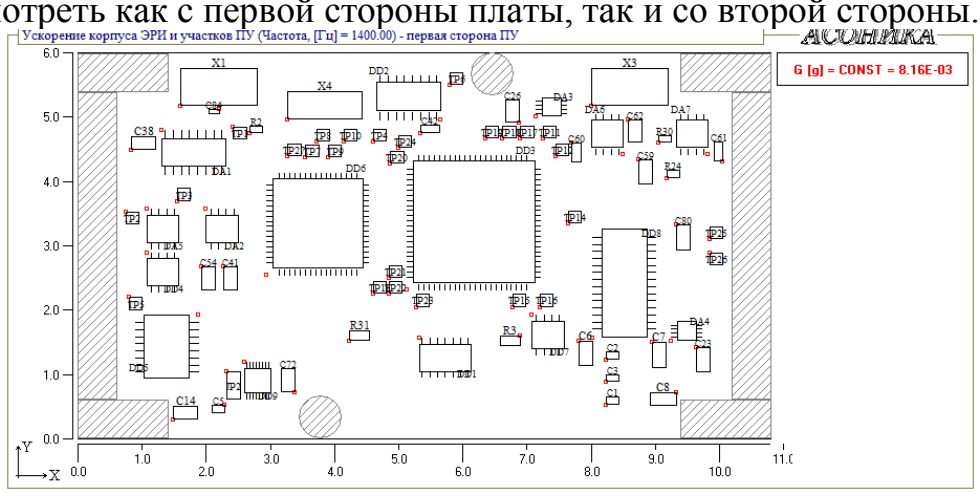


Рис. 7.2.4.13. Поля максимальных ускорений в печатном узле для акустического шума

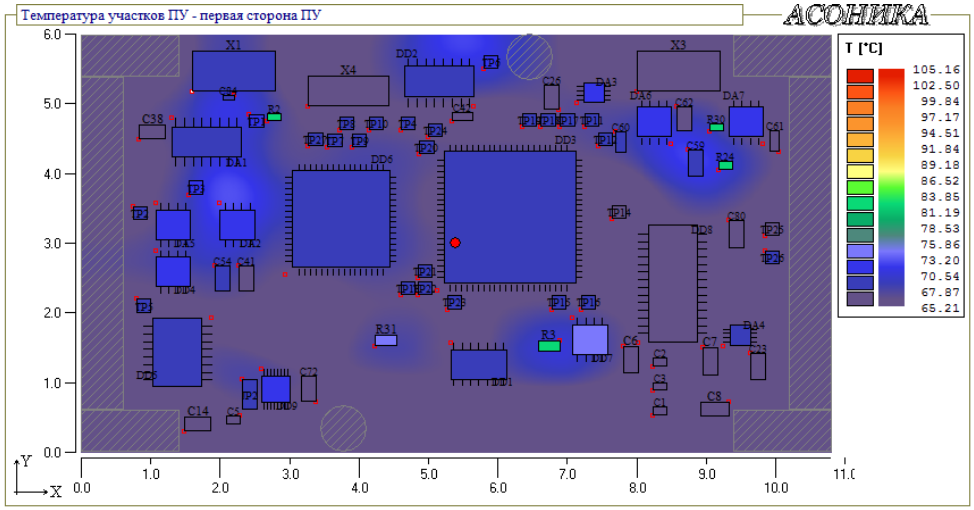


Рис. 7.2.4.14. Поля максимальных температур в печатном узле

Фрагменты карт механических и тепловых режимов ЭРИ приведены в табл. 7.2.4.1 и 7.2.4.2. Можно получить аналогичные карты механических режимов работы при случайной вибрации – 1-й и 2-й варианты, при одиночном и многократном ударном воздействии, при акустическом шуме.

Таблица 7.2.4.1

Карта механических режимов работы ЭРИ (при гармонической вибрации) – фрагмент

Обозначение ЭРИ	Сторона	Ускорение ЭРИ			Коэффициент механической нагрузки, относит. единиц	Перегрузка, g
		Частота, Гц	Максимальное расчетное, g	Максимальное допустимое по ТУ, g		
X4	1	419,10	48,34	10,00	4,83	38,34
X2	2	403,00	44,68	10,00	4,47	34,68
C17	2	403,00	41,35	20,00	2,07	21,35
X1	1	416,80	20,62	10,00	2,06	10,62
C71	2	401,70	37,17	20,00	1,86	17,17
C16	2	401,70	37,17	20,00	1,86	17,17
C20	2	416,80	36,49	20,00	1,82	16,49
C19	2	416,80	34,63	20,00	1,73	14,63
TP8	1	419,10	43,82	40,00	1,10	3,82
TP27	1	419,10	42,95	40,00	1,07	2,95
TP7	1	419,10	42,95	40,00	1,07	2,95
TP9	1	419,10	42,95	40,00	1,07	2,95
TP10	1	416,80	41,37	40,00	1,03	1,37
DD1	1	403,00	41,12	40,00	1,03	1,12
C48	2	396,80	20,31	20,00	1,02	0,31
C68	2	408,90	19,79	20,00	0,99	-
R4	2	401,70	38,25	40,00	0,96	-
R3	1	401,70	37,17	40,00	0,93	-
DD7	1	401,70	37,17	40,00	0,93	-
C83	2	394,00	16,65	20,00	0,83	-

Таблица 7.2.4.2

Карта тепловых режимов работы ЭРИ (при стационарном тепловом воздействии) – фрагмент

Обозначение ЭРИ	Сторона	Температура ЭРИ		Коэффициент тепловой нагрузки, относит. единиц	Перегрев, °С
		Расчетная, °С	Максимальная допустимая по ТУ, °С		
DD7	1	73,27	85,00	0,86	-
DA2	1	72,79	85,00	0,86	-
DA5	1	72,73	85,00	0,86	-
DD9	1	72,38	85,00	0,85	-
DA6	1	72,22	85,00	0,85	-
DD4	1	72,14	85,00	0,85	-
DA7	1	71,96	85,00	0,85	-
DA3	1	70,80	85,00	0,83	-
DA4	1	70,44	85,00	0,83	-
DA1	1	70,43	85,00	0,83	-
DD2	1	69,96	85,00	0,82	-
DD1	1	69,54	85,00	0,82	-
X1	1	68,08	85,00	0,80	-
X3	1	66,72	85,00	0,78	-
X4	1	66,69	85,00	0,78	-
X2	2	65,89	85,00	0,78	-
TP6	1	73,02	100,00	0,73	-

Выводы.

Ускорения ЭРИ при воздействии одиночного удара, многократного удара и акустического шума не превышают допустимые значения по ТУ.

Ускорения некоторых ЭРИ при воздействии гармонической вибрации превышают допустимые значения по ТУ. Есть резонанс на частоте 400 Гц.

Ускорения большинства ЭРИ при воздействии случайной вибрации превышают допустимые значения по ТУ. Более опасным

является 1-й вариант случайной вибрации (выходная спектральная плотность примерно в 5 раз больше по сравнению со 2-м вариантом).

Напряжения в плате при всех механических воздействиях не превышают предел прочности (250 МПа).

Температуры ЭРИ при тепловом воздействии не превышают допустимые значения по ТУ.

Для снижения ускорений ЭРИ при воздействии гармонической и случайной вибрации могут быть предложены следующие рекомендации:

- дополнительное крепление платы;
- использование виброизоляторов для блока (для случайной вибрации более эффективно, так как диапазон частот случайной вибрации достаточно широкий, а спектральная плотность достаточно высокая).

7.2.5. Создание карт рабочих режимов платы регулятора БО8 (АСОНИКА-Р)

Исходными данные:

перечень ЭРИ;

параметры ЭРИ по НД (берутся из базы данных АСОНИКА-БД автоматически по перечню ЭРИ);

электрические параметры ЭРИ, полученные в результате моделирования электрических процессов в схеме или макетирования;

температуры ЭРИ, полученные в АСОНИКА-ТМ;

ускорения ЭРИ при вибрации и ударах.

Для каждого ЭРИ создается своя карта рабочих режимов в зависимости от его типа. В состав комплекта карт рабочих режимов входят следующие формы:

форма 1 (Титульный лист к комплекту карт для оценки правильности применения ЭРИ платы БО8);

форма 2а (Пример записи для сборочной единицы низшей ступени);

форма 4 (Карта номенклатуры ЭРИ и сведений о соответствии условий их эксплуатации и показателей надежности требованиям НД);

форма 5 (Карта ЭРИ, примененных при механических воздействиях, не соответствующих требованиям НТД);

форма 55 (Карта рабочих режимов диодов (выпрямительных, импульсных, универсальных), варикапов и диодных сборок);

форма 63 (Карта рабочих режимов операционных усилителей и компараторов напряжения);

форма 65 (Карта рабочих режимов цифровых функциональных узлов (модулей, микромодулей, микросхем));

форма 67 (Карты рабочих режимов конденсаторов, конденсаторных сборок, помехоподавляющих фильтров и ионисторов);

форма 68 (Карта рабочих режимов резисторов, резисторных сборок, терморезисторов, поглотителей и потенциометров);

форма 69 (Карта рабочих режимов кварцевых резонаторов, кварцевых микрогенераторов, пьезоэлектрических и электромеханических фильтров и линий задержки на поверхностных акустических волнах);

форма 75 (Карта рабочих режимов электрических соединителей).

На рис. 7.2.5.1 – 7.2.5.3 приведены примеры некоторых форм рабочих режимов для некоторых ЭРИ.

Форма 4

Карта оценки номенклатуры ЭРИ и сведений о соответствии условий их эксплуатации и показателей надежности требованиям НТД

Наименование ЭРИ							74LVX14M	CD74HC4046AM	XC2S30-5 TQ144I	AD7495BR
Позиционное обозначение							DD1	DD2	DD3	DD4
Количество шт.							1	1	1	1
Наличие в перечнях	при утверждении ТТЗ									
	последних редакций									
Условия эксплуатации и аппаратуре	50-10000	Требования на изделие	акустический шум	диапазон частот, Гц		1	50-10000	50-10000	50-10000	50-10000
	130			звуковое давление, дБ		2	170	170	170	170
	5		линейное ускорение, м/с²			3	500	500	500	500
	20000		давление окруж. среды, мм.рт.ст	пониженное		4	0.000001	0.000001	0.000001	0.000001
	200000			повышенное		5	297298	297298	297298	297298
	-59		предельная температура, °С	пониженное		6	-60	-60	-60	-60
	70			повышенное		7	+85	+85	+85	+85
			Относительная влажность	%		8	98	98	98	98
				°С		9	35	35	35	35
Роса, иней						10	–	–	–	–
Примечание						11				

Рис. 7.2.5.1. Форма 4

Форма 5

Карта ЭРИ, примененных при механических воздействиях, не соответствующих требованиям НТД

Наименование ЭРИ				Резонатор РК466МИ1-5ДР-7372,8 К		0805-0.47 F-2A-16V	
Позиционное обозначение				BQ1		C1	
Условия эксплуатации				в аппаратуре	по НТД	в аппаратуре	по НТД
Вибрация	ускорение, М.С.Е.-2(G)		1	21.27	40	**23.26**	20
	диапазон частот, Гц		2		1-5000		1-3000
Механический удар	единичный	ускорение, м/с²	3	15.21	1500	15.18	150
		длительность, мс	4		0.1-2		0.1-2
	многократный	ускорение, м/с²	5	15.47	150	15.39	1500
		длительность, мс	6		1-5		1-5
Отметка о согласовании			7				
Примечание			8			**Не соотв. ТУ**	

Рис. 7.2.5.2. Форма 5

Форма 65

Карта рабочих режимов цифровых функциональных узлов (модулей, микромодулей, микросхем)

Позиционное обозначение			DD1			DD2		
Наименование изделия			74LVX14M			CD74HC4046AM		
Режим работы			Номера выводов	по НТД	в схеме	Номера выводов	по НТД	в схеме
Цепи питания	напряжение питания, В	1		5	5		5	5
	порядок подачи напряжения питания и входных сигналов	2						
Входные цепи	напряжение низкого уровня, В	3		0.8	0.8		0.8	0.8
	напряжение высокого уровня, В	4		2	2		2	2
	длительность импульса, нс	5						
	время перехода при включении, нс	6		20	15		20	15
	время перехода при выключении, нс	7		20	15		20	15
	частота, МГц	8		25	20		25	20
	время t1, нс	9		150	130		150	130
	время t2, нс	10		150	130		150	130
Выходные цепи	выходной ток низкого уровня, мА	11		8	6		8	6
	выходной ток высокого уровня, мА	12		0.4	0.3		0.4	0.3
	емкость нагрузки, пФ	13		15	11		15	11
Мощность рассеивания, мВт		14		11.55	8		11.55	8
Температура окружающей среды (корпуса), °С		15		70	69.54		70	69.96
Коэффициент нагрузки		16		0.8	6.93E-01(14)		0.8	6.93E-01(14)
Примечание		17						

Рис. 7.2.5.3. Форма 65

АСОНИКА-Р осуществляет экспорт данных из карт рабочих режимов для АСОНИКА-Б (температуры, токи, напряжения, коэффициенты электрической нагрузки).

Выводы. Все ЭРИ в картах рабочих режимов, кроме формы 5, соответствуют ТУ.

7.2.6. Анализ показателей надежности платы БО8 (АСОНИКА-Б)

Исходные данные:

перечень ЭРИ; модели и параметры моделей надежности ЭРИ (берутся из базы данных АСОНИКА-БД автоматически по перечню ЭРИ); электрические параметры и температуры ЭРИ (импортируются из АСОНИКА-Р).

Результаты работы.

Созданный автоматически в АСОНИКА-Б отчет с результатами анализа надежности (фрагмент) приведен на рис. 7.2.6.1.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1	РЭС		01_БО8											
2		Интенсивность отказов, [1/ч]		2.45E-06										
3		Среднее время безотказной работы, [ч]		407649.8965										
4		Вероятность безотказной работы		0.999264345		за время работы		300		ч				
5														
6	Поз. обозн.	Тип по ТУ	Номинал	Кол.	Кн	Лб.с.г, Л'б 10^{-6}	Кр	Кэ	Кпр	КR, Кк.к., Кст, Кф	Ккс, Кv, Км, $К_т$, Кs1	Ккорп, Кстаб, $К_с$, Кf	Лр 10^{-6}	Лэ 10^{-6}
7	C1	К53-65-"D"-10В-68мкФ±20% АЖЯР.673546.004ТУ	-	1	0	0.064		1	1	0.42079			0.05386	0.05386
8	C2	К53-65-"D"-10В-68мкФ±20% АЖЯР.673546.004ТУ	-	1	0	0.064		1	1	0.42971			0.055	0.055
9	C3	К53-65-"D"-10В-68мкФ±20% АЖЯР.673546.004ТУ	-	1	0	0.064		1	1	0.42216			0.05404	0.05404
10	C4	К53-65-"D"-10В-68мкФ±20% АЖЯР.673546.004ТУ	-	1	0	0.064		1	1	0.42493			0.05439	0.05439
11	C5	К10-79-10В-1мкФ±20%-Н30 АЖЯР.673511.004 ТУ	-	1		0.0207		1	1	0.12014			0.00522	0.00522
12	C6	К10-79-10В-1мкФ±20%-Н30 АЖЯР.673511.004 ТУ	-	1		0.0207		1	1	0.11413			0.00496	0.00496
13	C7	К10-79-10В-1мкФ±20%-Н30 АЖЯР.673511.004 ТУ	-	1		0.0207		1	1	0.11409			0.00496	0.00496
14	C8	К10-79-10В-1мкФ±20%-Н30 АЖЯР.673511.004 ТУ	-	1		0.0207		1	1	0.11294			0.00491	0.00491
15	C9	К52-1Б-100В-33мкФ-±20%-В ОЖ0.464.039ТУ	-	1		0.09		1	1	0.18003			0.0823	0.0823
16	C10	NFM-2220-1.5 uf-6A-50 V	-	1		0.00099		1	3		5.2785107	1.037165861	0.04208	0.04208
17	C11	NFM-2220-1.5 uf-6A-50 V	-	1		0.00099		1	3		5.2525116	1.037165861	0.04187	0.04187
18	C12	NFM-2220-1.5 uf-6A-50 V	-	1		0.00099		1	3		5.4846217	1.037165861	0.04372	0.04372
19	C13	NFM-2220-1.5 uf-6A-50 V	-	1		0.00099		1	3		5.2395521	1.037165861	0.04177	0.04177
20	C14	К10-79-100В-0.33мкФ±20%-Н30 АЖЯР.673511.004 ТУ	-	1		0.0207		1	1	0.11549			0.00439	0.00439
21	C15	К53-65-"D"-10В-68мкФ±20% АЖЯР.673546.004ТУ	-	1	0	0.064		1	1	0.4232			0.05417	0.05417

Рис. 7.2.6.1. Отчет с результатами анализа надежности (фрагмент)

Выводы.

Среднее время безотказной работы – 407 649 ч (согласно ТЗ не менее 20 000 ч). Вероятность безотказной работы – 0,9662 за время работы изделия 300 ч (согласно ТЗ). Полный назначенный ресурс до списания 407 649 ч (согласно ТЗ не менее 62 000 часов). Полученные характеристики надежности соответствуют требованиям ТЗ.

7.2.7. Анализ показателей долговечности платы БО8 (АСОНИКА-УСТ)

Исходные данные:

проект, созданный в АСОНИКА-ТМ; параметры моделей усталостной долговечности ЭРИ и материалов (берутся из базы данных АСОНИКА-БД автоматически по перечню ЭРИ и материалов).

При гармонической вибрации можно вывести зависимость суммарного напряжения от частоты в контрольной точке, зависимость

суммарного перемещения от частоты в контрольной точке, зависимость логарифма времени до усталостного разрушения от частоты в контрольной точке. Один из графиков приведен на рис. 7.2.7.1.

Можно также вывести поля максимальных суммарных перемещений и напряжений. Один из графиков приведен на рис. 7.2.7.2.

Для каждого ЭРИ вычисляются численные значения максимальных напряжений и перемещений на ЭРИ, фрагмент этих значений приведен ниже.

```
     УЗЕЛ        SEQV(AMP)          DSUM(AMP)
Радиоэлемент: R2
максимум SEQV(AMP):       0.3095     узел:      1047
 максимум DSUM(AMP):   0.00074709     узел:      1052
Радиоэлемент: DD1
максимум SEQV(AMP):       2.4157     узел:     36357
 максимум DSUM(AMP):    0.0016207     узел:     34105
```

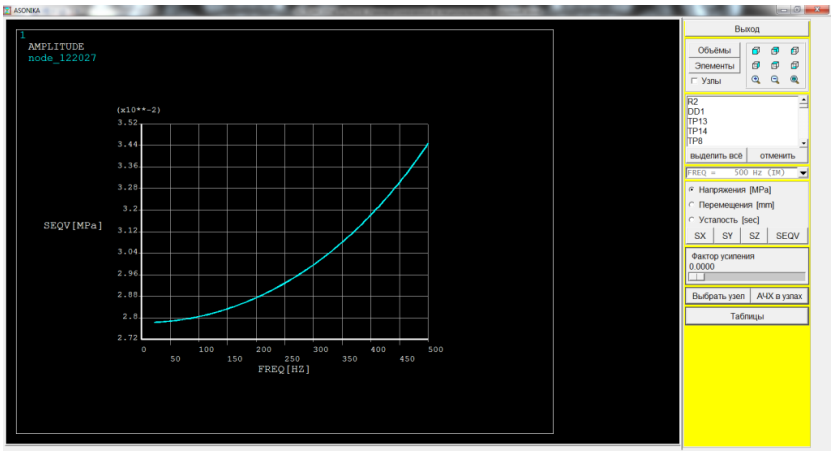


Рис. 7.2.7.1. Зависимость суммарного напряжения от частоты в контрольной точке

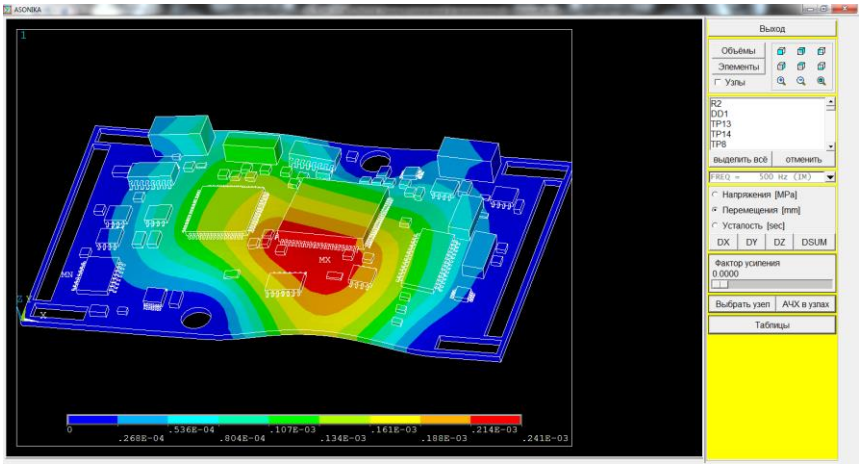


Рис. 7.2.7.2. Поле максимальных суммарных перемещений

Для каждого ЭРИ вычисляются численные значения минимального времени до усталостного разрушения ЭРИ, фрагмент этих значений приведен ниже.

```
Радиоэлемент: R2
 минимум  T:              1E+007    узел:     1047
Радиоэлемент: DD1
 минимум  T:              1E+007    узел:    33205
Радиоэлемент: TP13
 минимум  T:              1E+007    узел:    29156
Радиоэлемент: TP14
 минимум  T:              1E+007    узел:    29314
Радиоэлемент: TP8
 минимум  T:              1E+007    узел:    32483
Радиоэлемент: TP7
 минимум  T:              1E+007    узел:    32325
Радиоэлемент: DD5
 минимум  T:              1E+007    узел:    17636
Радиоэлемент: C80
 минимум  T:              1E+007    узел:   197998
```

Аналогичные данные можно получить для случайной вибрации и при многократном ударе: поля максимальных суммарных перемещений, максимальных суммарных напряжений, минимального времени до усталостного разрушения, а также вывести численные значения максимальных напряжений и перемещений на ЭРИ и численные значения минимального времени до усталостного разрушения ЭРИ.

Выводы.

1. При гармонической вибрации:

максимум по напряжениям у DD3 4,3117 МПа, что не опасно, так как меньше и предела прочности, и предела усталости;

усталостных разрушений нет.

2. При случайной вибрации:

максимум по напряжениям у DD3 37,03 МПа, что меньше предела прочности, но больше предела усталости; к мгновенным поломкам это не приведет, но при длительном непрерывном воздействии случайной вибрации может привести к усталостному разрушению;

минимальное время до усталостного разрушения DD3 162,17 с при непрерывном воздействии случайной вибрации.

Это связано с наличием резонансов в плате (рекомендации по их устранению были даны выше при моделировании в подсистеме АСОНИКА-ТМ).

3. При многократном ударе:

максимум по напряжениям у DD1 0,62489 МПа, что не опасно, так как значительно меньше и предела прочности, и предела усталости;

усталостных разрушений нет.

Аналогичные результаты можно получить для каждой печатной платы вплоть до каждого ЭРИ.

7.3. Другие примеры сквозного моделирования

На рис. 7.3.1 – 7.3.4 приведены примеры конструкций, для которых выполнялось сквозное моделирование электрических, тепловых и механических характеристик, анализ показателей надежности и формирование карт рабочих режимов (АСОНИКА-УСТ, АСОНИКА-Б, АСОНИКА-Р, АСОНИКА-БД, АСОНИКА-УМ и др.).

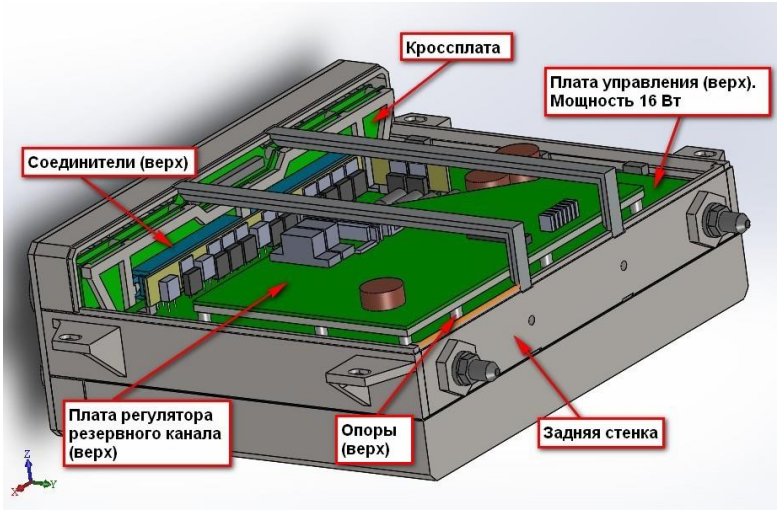


Рис. 7.3.1. Пример конструкции блока регулятора электронного БСС

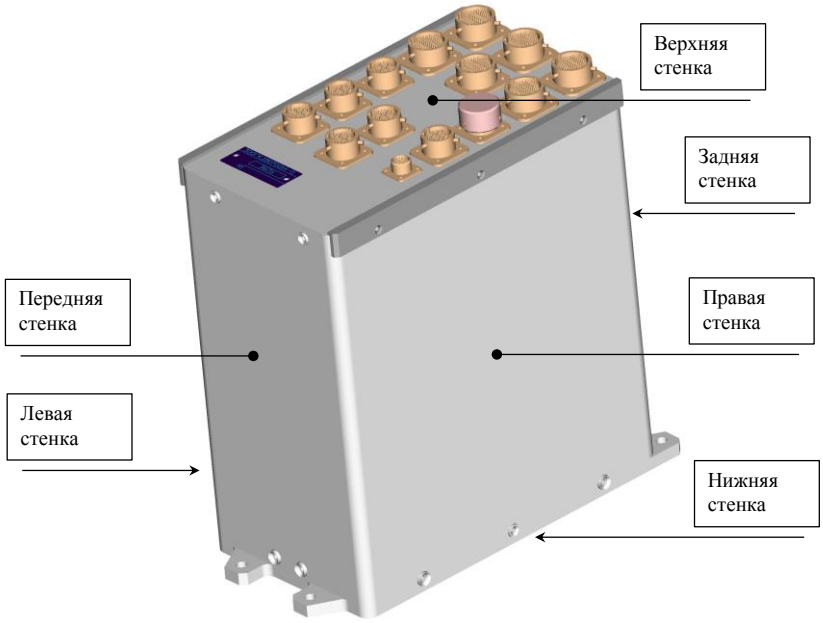


Рис. 7.3.2. Элементы корпуса прибора – Электронный блок преобразования и управления (ЭБПУ)

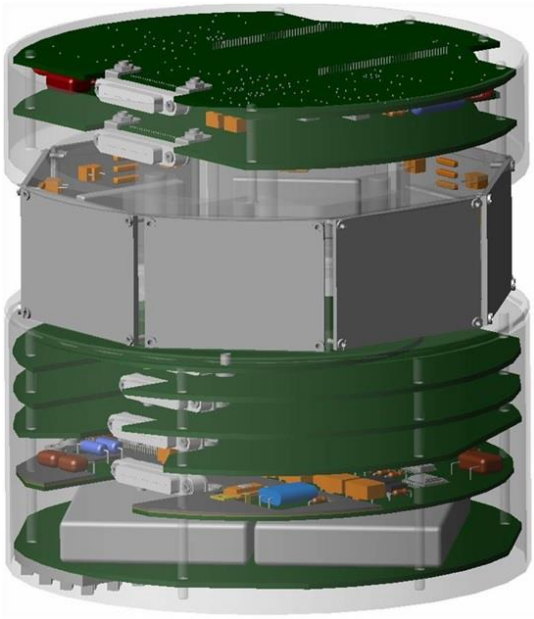
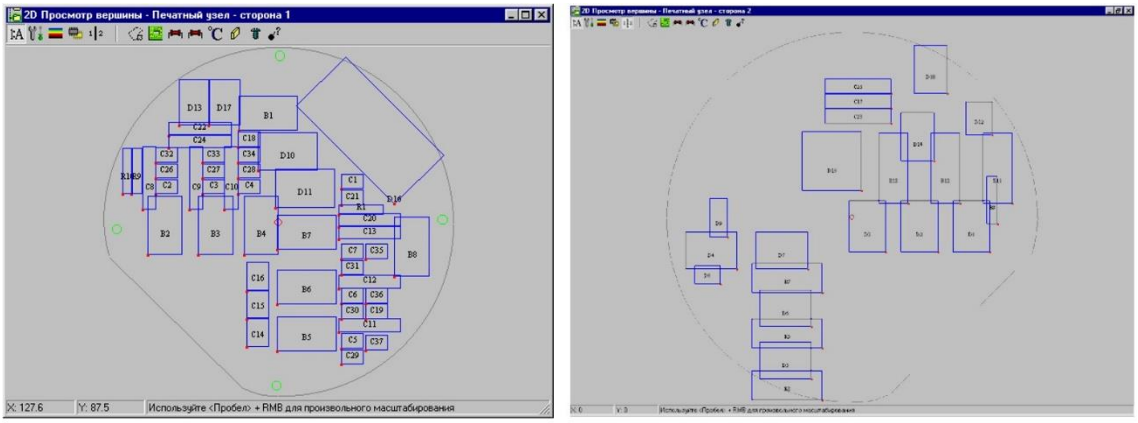


Рис. 7.3.3. Элементы конструкции ГИБ-60



а) *б)*

Рис. 7.3.4. Изображение ПУ блока преобразователей ГИБ-60:
а) – 1-я сторона; б) – 2-я сторона

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящее время предъявляются все большие требования к разрабатываемой технике, возникает необходимость в использовании виртуального проектирования на стадии разработки РЭС. К основным из таких требований можно отнести: эксплуатационные; габаритные размеры; масса; надежность. При проведении натурных испытаний опытного образца устройства трудно учитывать большое число факторов, которые напрямую связаны между собой и влияют друг на друга. Это в конечном итоге приведет либо к завышенным запасам, либо к отказам в реальных условиях эксплуатации.

Виртуальное проектирование в системе АСОНИКА позволяет учитывать взаимосвязь тепловых, механических, электрических факторов при расчете как в стационарном, так и в нестационарном режиме. Появляется возможность ещё до выхода опытного образца избежать возникновения возможных отказов разрабатываемого изделия, выбрав наилучший вариант конструкции. Тем самым повышается надежность разрабатываемой аппаратуры, а также уменьшаются время и денежные затраты на реализацию проекта, что тоже является немаловажным в растущей конкурентной среде.

Практика показала, что виртуальное проектирование на базе системы АСОНИКА позволяет снизить сроки подготовки разрабатываемого РЭС к производству, сократить число изменений, вносимых в РЭС, и повысить их надежность.

Система АСОНИКА широко используется для проведения консалтинга, позволяя давать квалифицированное заключение о соответствии электрических, тепловых, механических, электромагнитных и других характеристик аппаратуры требуемым.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Автоматизированная система АСОНИКА для моделирования физических процессов в радиоэлектронных средствах с учетом внешних воздействий / А. С. Шалумов, Ю. Н. Кофанов, С. У. Увайсов, М. А. Шалумов и др.; под ред. А. С. Шалумова. – М. : Радиотехника, 2013. – 424 с.

2. Автоматизированная система АСОНИКА для проектирования высоконадежных радиоэлектронных средств на принципах CALS-технологий. Т. 1 / А. С. Шалумов, Ю. Н. Кофанов, Н. В. Малютин и др.; под ред. Ю. Н. Кофанова, Н. В. Малютина, А. С. Шалумова. – М. : Энергоатомиздат, 2007. – 368 с.

3. Шалумов М. А., Шалумов А. С. Виртуальная среда проектирования РЭС на основе комплексного моделирования физических процессов: монография. – Владимир : Владимирский филиал РАНХиГС, 2016. – 87 с.

Шалумов Александр Славович
Шалумов Максим Александрович

Опыт применения автоматизированной системы АСОНИКА в промышленности Российской Федерации

МОНОГРАФИЯ

Редактор: А. М. Перегудова
Корректор: Н. М. Орлова
Дизайн и вёрстка: А. Е. Дмитриев

Сдано в набор 26.09.2017.
Подписано в печать 26.10.2017.
Формат 60x84/16. Бумага офсетная.
Гарнитура Times New Roman.
Усл. печ. л. 24,6. Авт. л. 22,72.
Тираж 500 экз. Заказ № 394/17.

Отпечатано во Владимирском филиале федерального
государственного бюджетного образовательного учреждения
высшего образования «Российская академия
народного хозяйства и государственной службы
при Президенте Российской Федерации»

Россия, г. Владимир, ул. Горького, 59а,
контактный телефон (4922) 52-27-89