Конкурсная работа

Автор: Шалумов А.С. (ООО «АСКМ «Прогресс» - резидент Сколково в Кластере «Космос», г. Москва).

Название работы: Создание нормативной базы комплексного моделирования влияния внешних воздействующих факторов на авиационную радиоэлектронную аппаратуру.

Цель: Прогнозирование надёжности с учетом тепловых, механических, электромагнитных воздействий до изготовления авиационной радиоэлектронной аппаратуры.

Описание работы: Актуальность работы обусловлена жесткими условиями эксплуатации и высокими требованиями к надежности современной авиационной радиоэлектронной аппаратуре (АРЭА), жесткими требованиями по срокам и стоимости выполнения проектных работ, а также отсутствием на российских предприятиях методик и программного обеспечения, необходимых для осуществления в заданные сроки комплексного компьютерного моделирования тепловых, механических, электромагнитных и других физических процессов в АРЭА, обусловленных как процессами функционирования аппаратуры и воздействием внешних факторов, так и процессами их износа и старения, и обеспечения высоких показателей надёжности и качества аппаратуры.

АРЭА подвергается интенсивным тепловым, механическим, электромагнитным и другим воздействиям. Из-за этого резко снижается её надёжность и возникает опасность отказа объекта (самолета, вертолёта, беспилотного летательного аппарата), который управляется с помощью электронных схем. Нужно прогнозировать надёжность с учетом тепловых, механических, электромагнитных и других воздействий до изготовления АРЭА.

В настоящее время для обеспечения высокой надёжности АРЭА во время проектирования её макетируют и подвергают длительным разнородным дорогостоящим испытаниям. При испытаниях трудно точно воспроизвести комплексность (одновременность) физически разнородных воздействий и почти невозможно - критические режимы. Наземные и летные испытания и сертификация составляют существенную часть затрат на создание аппаратуры. Также существенно влияет на стоимость разработки время, которое зависит от количества итераций необходимых разработчику для доведения прототипа до опытного образца и опытного образца до серийного изделия.

Решение задач проекта обеспечивает выполнение одного из важнейших пунктов **Указа Президента РФ В.В.Путина** от 7 мая 2012 г. N 603 "О реализации планов (программ) строительства и развития Вооруженных Сил Российской Федерации, других войск, воинских формирований и органов и модернизации оборонно-промышленного комплекса": «…1. Правительству Российской Федерации обеспечить:… создание системы **управления полным индустриальным циклом** производства вооружения, военной и специальной техники – **от моделирования и проектирования** до серийного выпуска изделий, обеспечения их эксплуатации и дальнейшей утилизации…».

Преимущества нормативной базы.

Разработанная нормативная база – единственная в России, позволяющая осуществить сквозное проектирование высоконадёжной АРЭА с учетом внешних тепловых, механических, электромагнитных воздействий от технического задания и до изготовления опытного образца. Созданная электронная модель впервые позволит реализовать ИПИ-технологии в электронике на всех 11 стадиях жизненного цикла от маркетинговых исследований и до утилизации. Автоматизированная система комплексного моделирования влияния внешних воздействующих факторов на космическую и авиационную радиоэлектронную аппаратуру АСКМ «Прогресс» не имеет аналогов или сопоставимых прототипов в области моделирования высоконадёжной электроники как в России, так и за рубежом.

1. Созданы простые и интуитивно понятные интеллектуальные графические интерфейсы, состыкованные с базой данных материалов и электронных компонентов, содержащей геометрические, физико-механические, теплофизические и другие параметры, а также допустимые значения характеристик, необходимые для принятия решения. При этом печатные узлы автоматически конвертируются из известных САПР: Mentor Graphics, Altium Designere, OrCAD и других - в формате IDF. Исключаются ошибки человеческого фактора при задании исходных данных. В отличие от систем ANSYS, NASTRAN, COSMOS, COMSOL и др., которые ничего этого не имеют, система АСКМ «Прогресс» специализирована в области космической и авиационной электроники и является инструментом разработчика электроники. При этом осуществляется прогнозирование усталостных разрушений и надёжности с учетом всего комплекса физических воздействий среды.

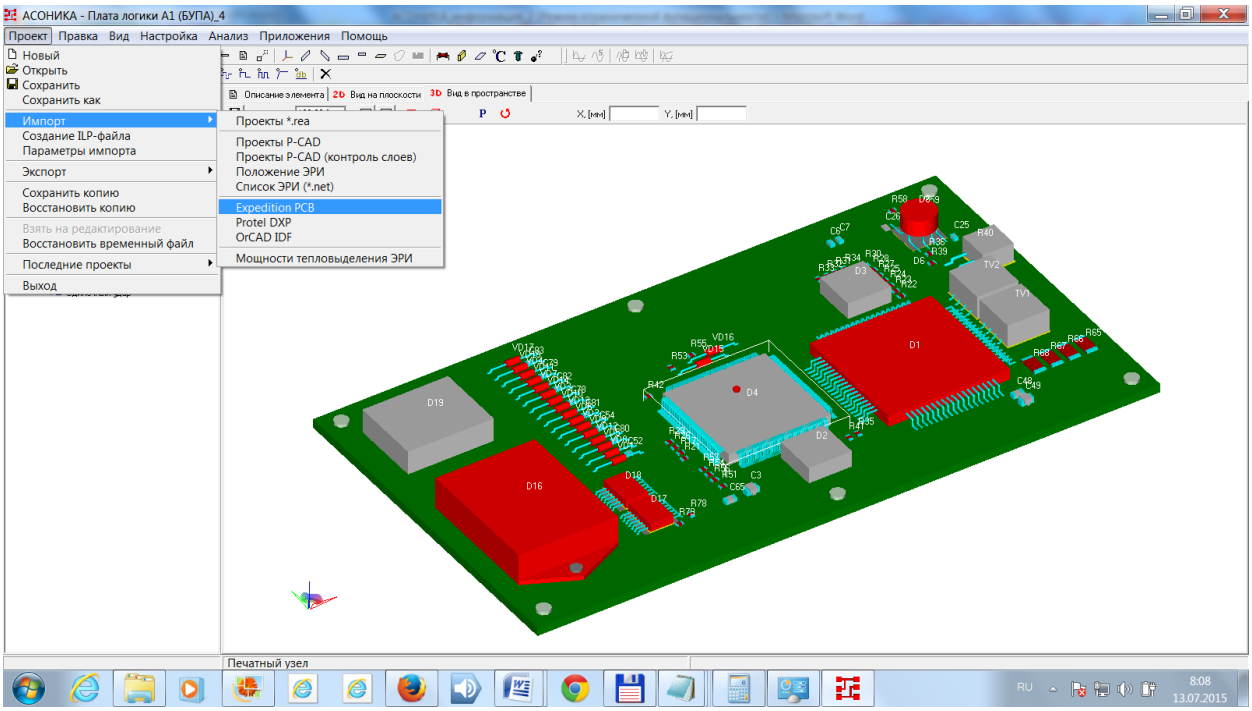


Рис.1. Конвертирование печатных узлов из известных САПР: Mentor Graphics, Altium Designere, OrCAD и в других - в формате IDF (АСКМ-ТМ)

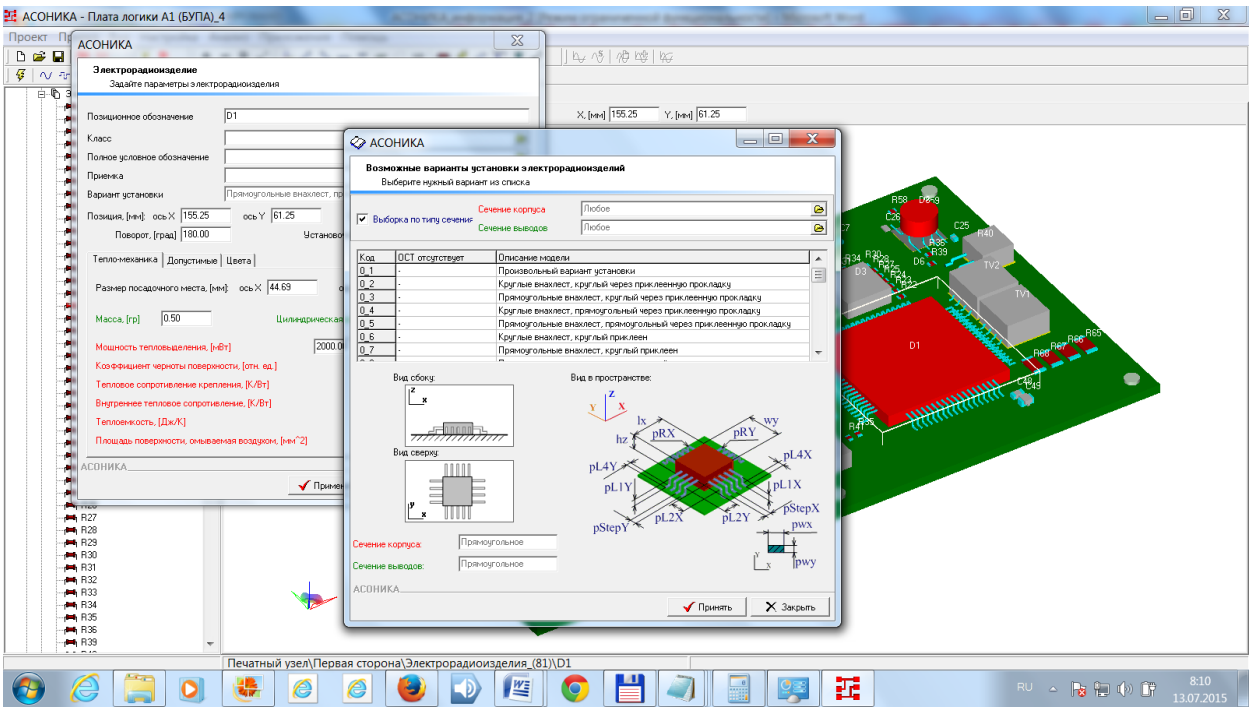


Рис.2. База данных материалов и электронных компонентов (АСКМ-БД)

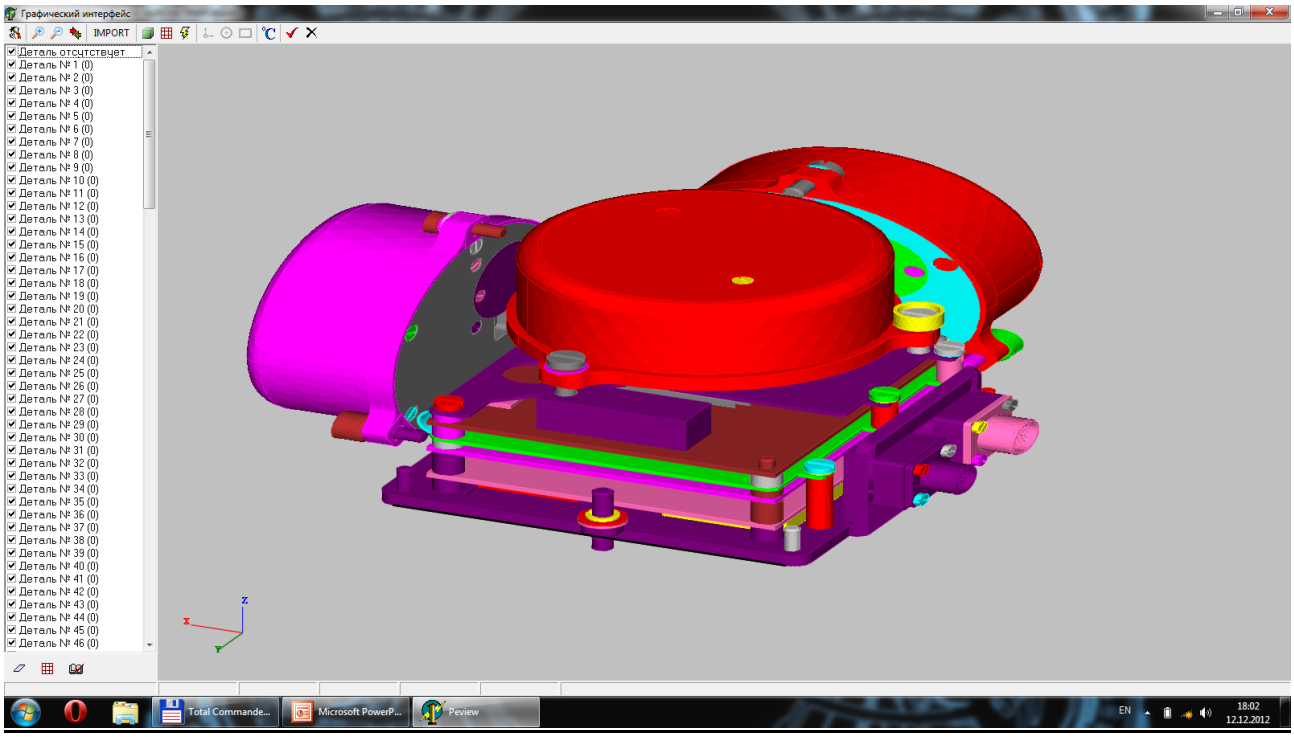


Рис. 3. Автоматическое конвертирование 3D-моделей произвольных конструкций электроники из известных САПР: ProEngineer, SolidWorks, Inventor и других - в форматах IGES и SAT, в том числе автоматические разбиение и построение сетки, а также склеивание моделей в местах стыковки деталей с разными шагами сетки (АСКМ-М-3D)

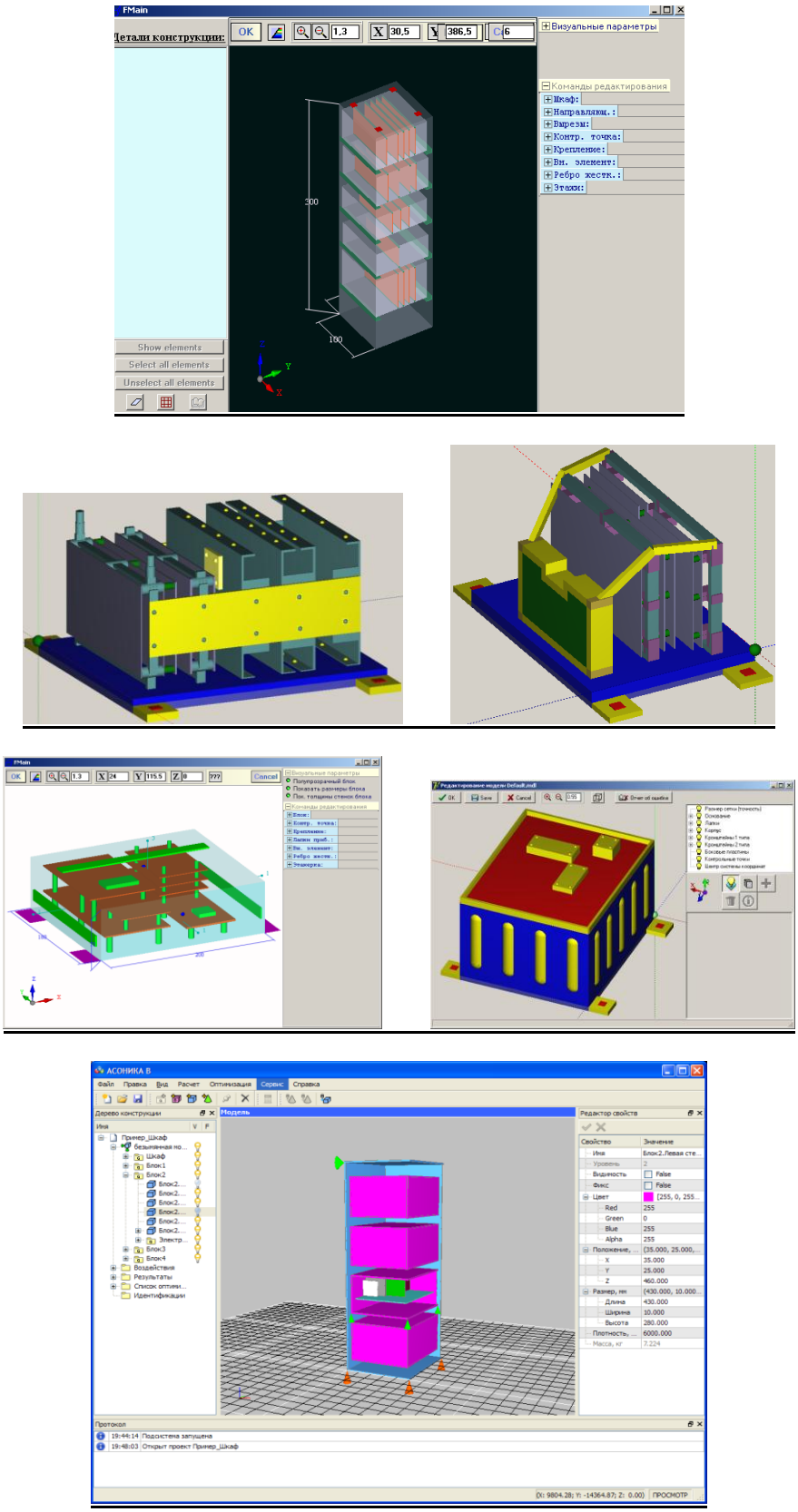


Рис. 4. Графический интерфейс для ввода типовых конструкций шкафов и блоков электроники, в том числе на виброизоляторах, включающий автоматические разбиение и построение сетки, а также склеивание моделей в местах стыковки деталей с разными шагами сетки (АСКМ-М-ШКАФ, АСКМ-М, АСКМ-В)

2. Учтены особенности свойств материалов, применяемых в электронике, например, их нелинейные свойства, не свойственные другим изделиям, например, машиностроительным, для моделирования которых используются широко известные системы ANSYS, NASTRAN, COSMOS, COMSOL и др., не учитывающие специфику КАРЭА, не свойственную другим изделиям, например, машиностроительным. Данная специфика выражается, например, в нелинейности демпфирующих свойств современных материалов, применяемых в КАРЭА. В системе АСКМ «Прогресс» заложена зависимость демпфирования от механических напряжений, чего нет в известных системах. В связи с этим в известных системах невозможно точно определить ускорения электронных компонентов, особенно на резонансах. А для электронных компонентов это особенно важно, так как для них задаются допустимые ускорения при всех механических воздействиях, которые ни в коем случае нельзя превышать.

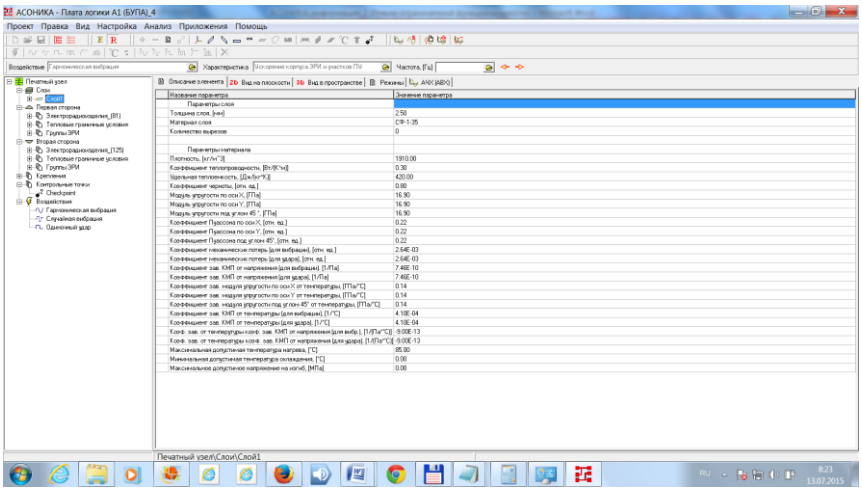


Рис.3. Параметры материалов для учета зависимости демпфирования от механических напряжений (АСКМ-ТМ)

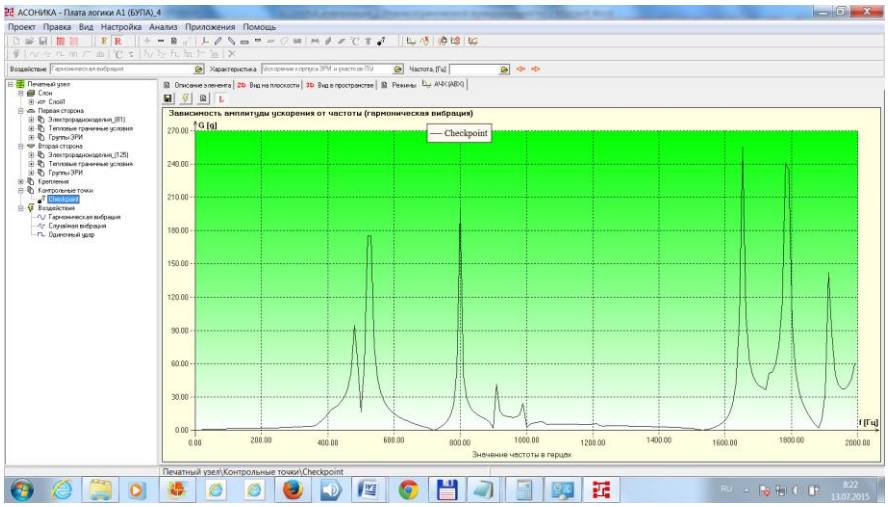
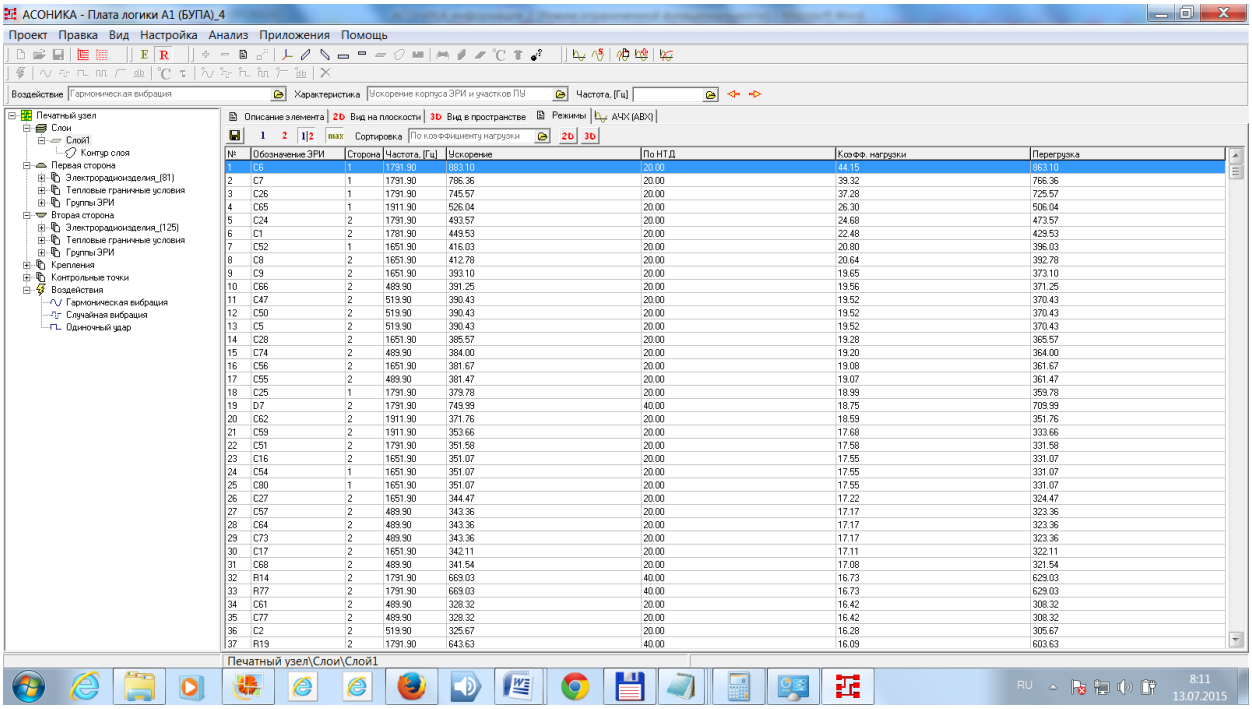


Рис.4. Ускорения электронных компонентов, в том числе на резонансах, рассчитанные с учетом нелинейности демпфирующих свойств современных материалов (АСКМ-ТМ)

3. В системе АСКМ «Прогресс» созданы простые и интуитивно понятные постпроцессоры, позволяющие в отличие от системы ANSYS и др. сразу определять все необходимые выходные тепловые, механические и другие характеристики, необходимые для принятия решения разработчиком электроники при проектировании.



№	Обозначение ЭРИ	Сторона	Частота, [Гц]	Ускорение	По НТД	Коэфф. нагрузки	Перегрузка
1	C6	1	1791.90	883.10	20.00	44.15	883.10
2	C7	1	1791.90	786.36	20.00	39.32	766.36
3	C26	1	1791.90	745.57	20.00	37.28	725.57
4	C65	1	1911.90	526.04	20.00	26.30	506.04
5	C24	2	1791.90	493.57	20.00	24.68	473.57
6	C1	2	1781.90	449.53	20.00	22.48	429.53
7	C52	1	1651.90	416.03	20.00	20.80	396.03
8	C8	2	1651.90	412.78	20.00	20.64	392.78
9	C9	2	1651.90	393.10	20.00	19.65	373.10
10	C66	2	489.90	391.25	20.00	19.56	371.25
11	C47	2	519.90	390.43	20.00	19.52	370.43
12	C50	2	519.90	390.43	20.00	19.52	370.43
13	C5	2	519.90	390.43	20.00	19.52	370.43
14	C28	2	1651.90	385.57	20.00	19.28	365.57
15	C74	2	489.90	384.00	20.00	19.20	364.00
16	C56	2	1651.90	381.67	20.00	19.08	361.67
17	C55	2	489.90	381.47	20.00	19.07	361.47
18	C25	1	1791.90	379.78	20.00	18.99	359.78
19	D7	2	1791.90	749.99	40.00	18.75	709.99
20	C62	2	1911.90	371.76	20.00	18.59	351.76
21	C59	2	1911.90	353.66	20.00	17.68	333.66
22	C51	2	1791.90	351.58	20.00	17.58	331.58
23	C16	2	1651.90	351.07	20.00	17.55	331.07
24	C54	1	1651.90	351.07	20.00	17.55	331.07
25	C80	1	1651.90	351.07	20.00	17.55	331.07
26	C27	2	1651.90	344.47	20.00	17.22	324.47
27	C57	2	489.90	343.36	20.00	17.17	323.36
28	C64	2	489.90	343.36	20.00	17.17	323.36
29	C73	2	489.90	343.36	20.00	17.17	323.36
30	C17	2	1651.90	342.11	20.00	17.11	322.11
31	C68	2	489.90	341.54	20.00	17.08	321.54
32	R14	2	1791.90	669.03	40.00	16.73	629.03
33	R77	2	1791.90	669.03	40.00	16.73	629.03
34	C61	2	489.90	328.32	20.00	16.42	308.32
35	C77	2	489.90	328.32	20.00	16.42	308.32
36	C2	2	519.90	325.67	20.00	16.28	305.67
37	R19	2	1791.90	643.63	40.00	16.09	603.63

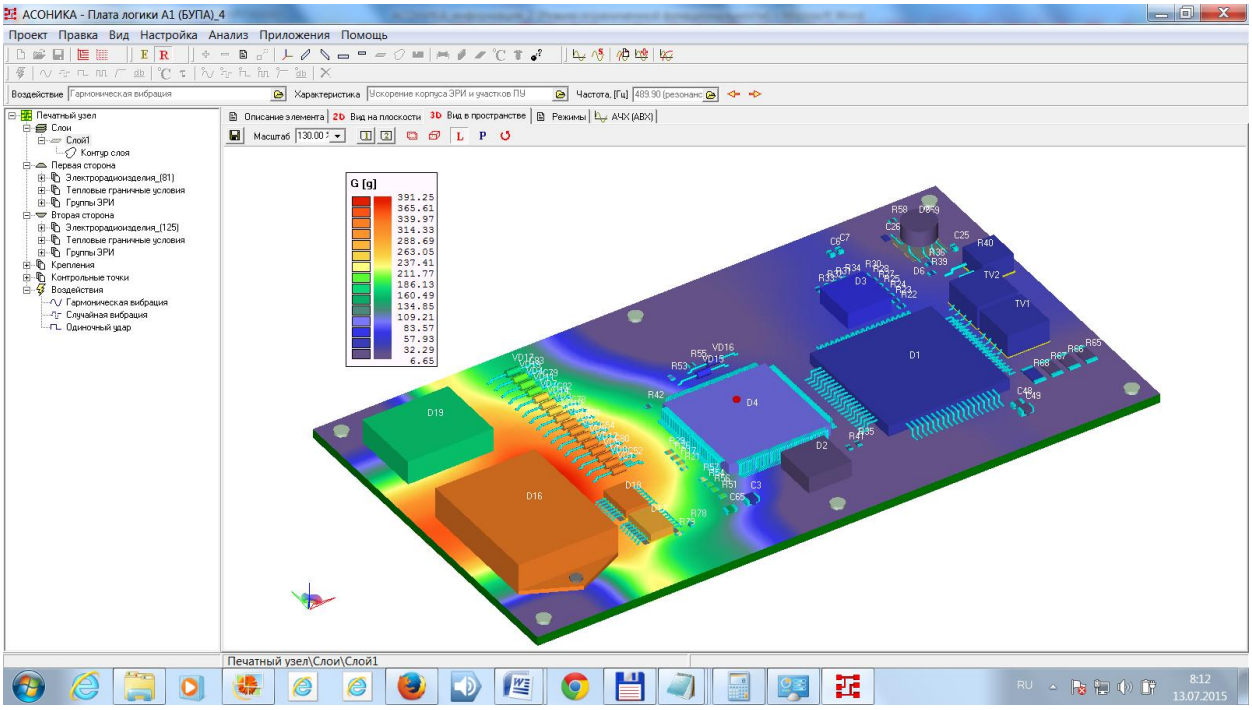
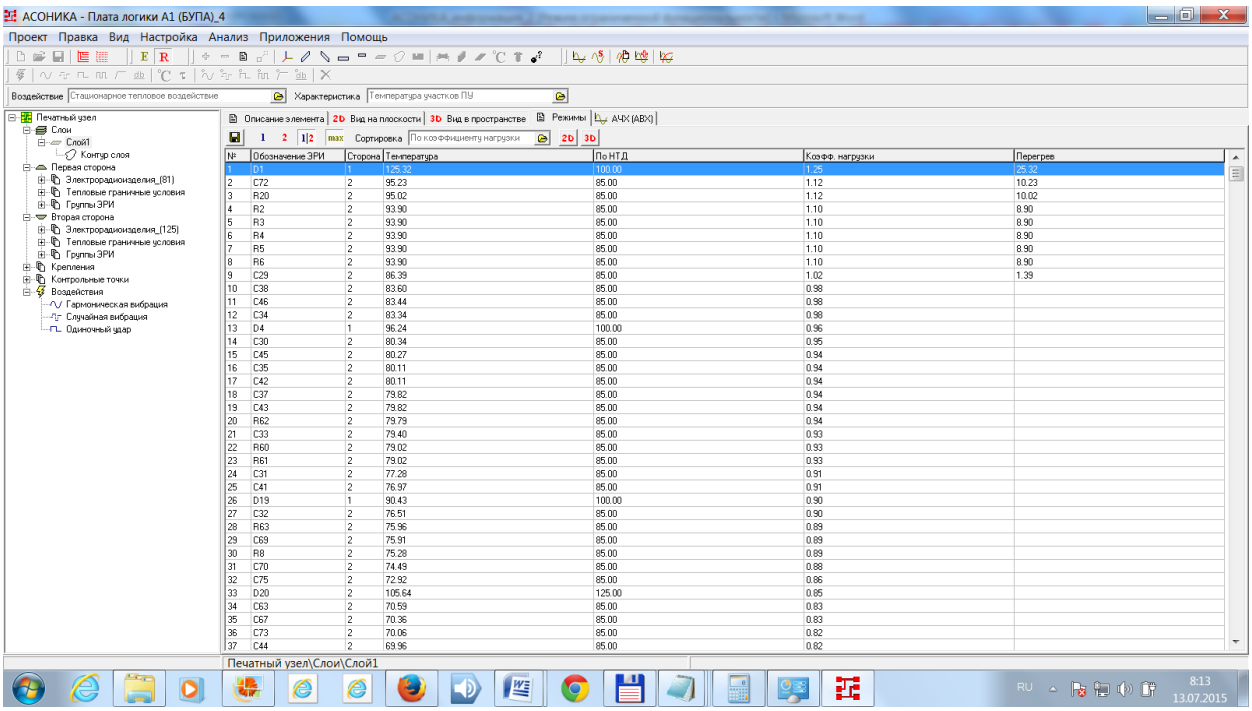


Рис.5. Ускорения электронных компонентов в сравнении с допустимыми значениями, автоматически взятыми из базы данных (АСКМ-ТМ)



№	Обозначение ЭРИ	Сторона	Температура	По НТД	Коэфф. нагрузки	Перегрев
1	D1	1	125.32	100.00	1.25	25.32
2	C72	2	95.23	85.00	1.12	10.23
3	R20	2	95.02	85.00	1.12	10.02
4	R2	2	93.90	85.00	1.10	8.90
5	R3	2	93.90	85.00	1.10	8.90
6	R4	2	93.90	85.00	1.10	8.90
7	R5	2	93.90	85.00	1.10	8.90
8	R6	2	93.90	85.00	1.10	8.90
9	C29	2	86.39	85.00	1.02	1.39
10	C38	2	83.60	85.00	0.98	
11	C46	2	83.44	85.00	0.98	
12	C34	2	83.34	85.00	0.98	
13	D4	1	96.24	100.00	0.96	
14	C30	2	80.34	85.00	0.95	
15	C45	2	80.27	85.00	0.94	
16	C35	2	80.11	85.00	0.94	
17	C42	2	80.11	85.00	0.94	
18	C37	2	79.82	85.00	0.94	
19	C43	2	79.82	85.00	0.94	
20	R62	2	79.79	85.00	0.94	
21	C33	2	79.40	85.00	0.93	
22	R60	2	79.02	85.00	0.93	
23	R61	2	79.02	85.00	0.93	
24	C31	2	77.28	85.00	0.91	
25	C41	2	76.97	85.00	0.91	
26	D19	1	90.43	100.00	0.90	
27	C32	2	76.51	85.00	0.90	
28	R63	2	75.96	85.00	0.89	
29	C69	2	75.91	85.00	0.89	
30	R8	2	75.28	85.00	0.89	
31	C70	2	74.49	85.00	0.88	
32	C75	2	72.92	85.00	0.86	
33	D20	2	105.64	125.00	0.85	
34	C63	2	70.59	85.00	0.83	
35	C67	2	70.36	85.00	0.83	
36	C73	2	70.06	85.00	0.82	
37	C44	2	69.96	85.00	0.82	

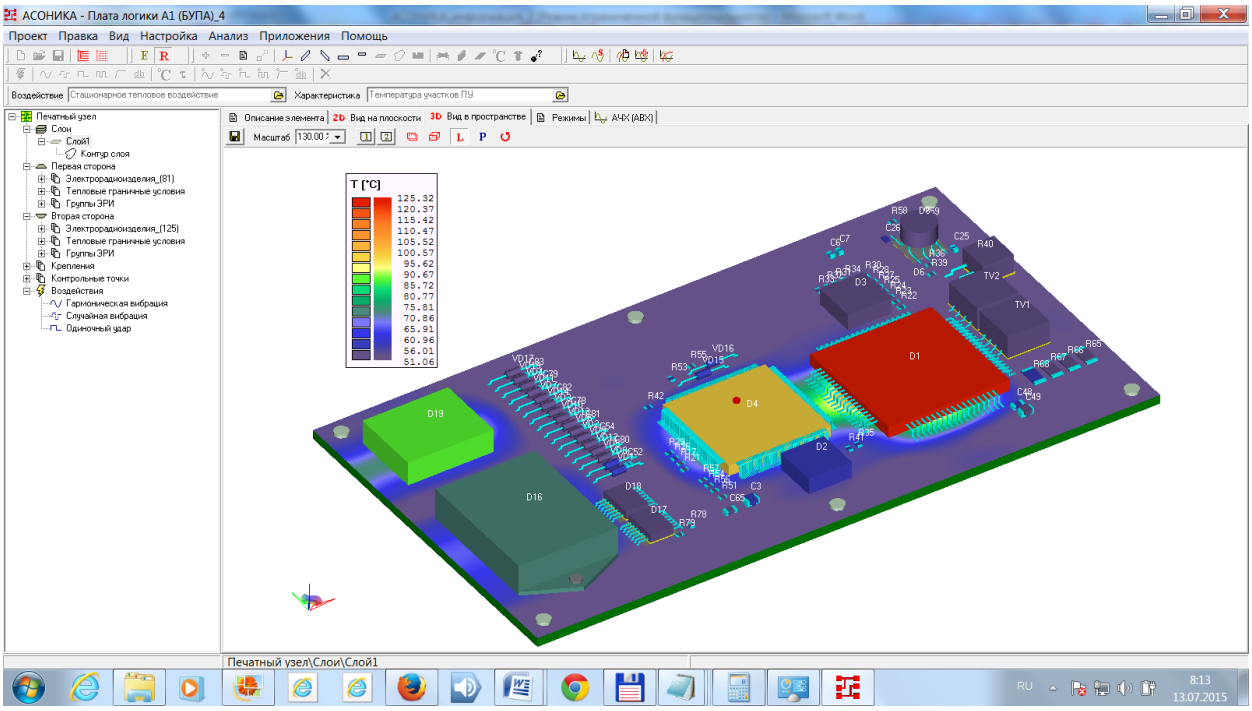


Рис.6. Температуры электронных компонентов в сравнении с допустимыми значениями, автоматически взятыми из базы данных (АСКМ-ТМ)

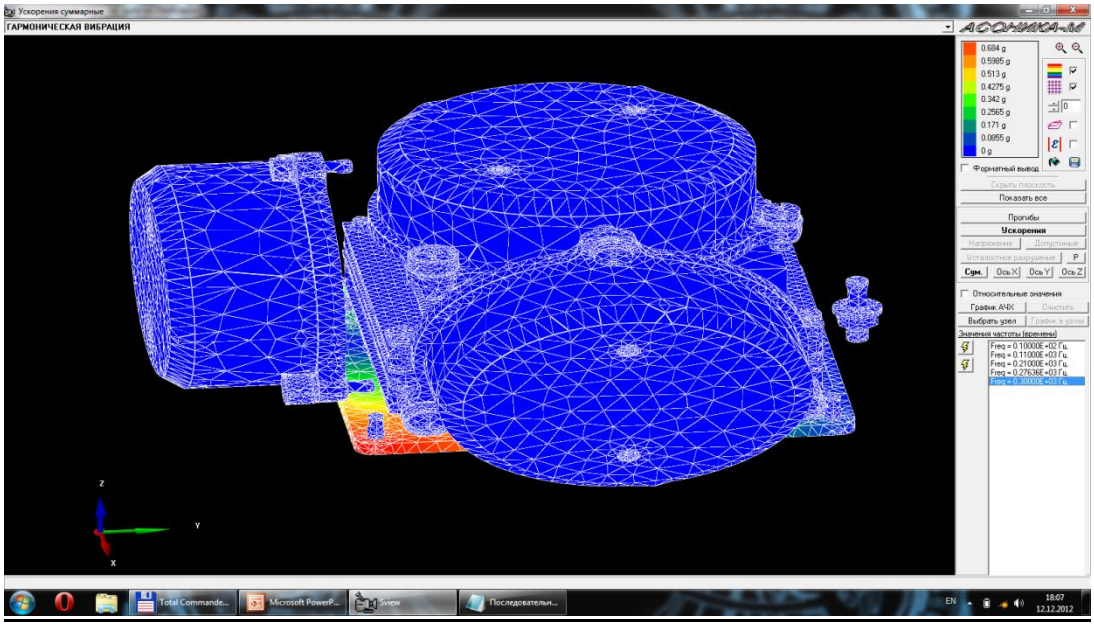


Рис.7. Ускорения и механические напряжения в блоках (АСКМ-М-3D)

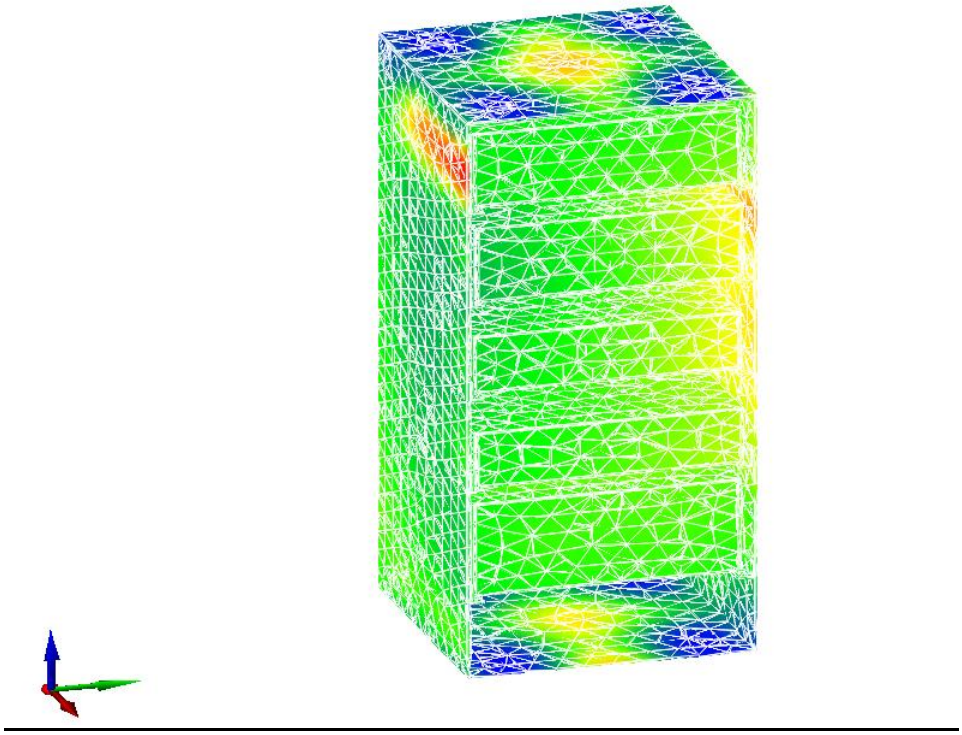


Рис.8. Ускорения и механические напряжения в шкафах (АСКМ-М-ШКАФ)

4. **Моделирование** тепловых и механических, в том числе усталостных, процессов в **интегральных микросхемах**, в том числе на наноуровне.

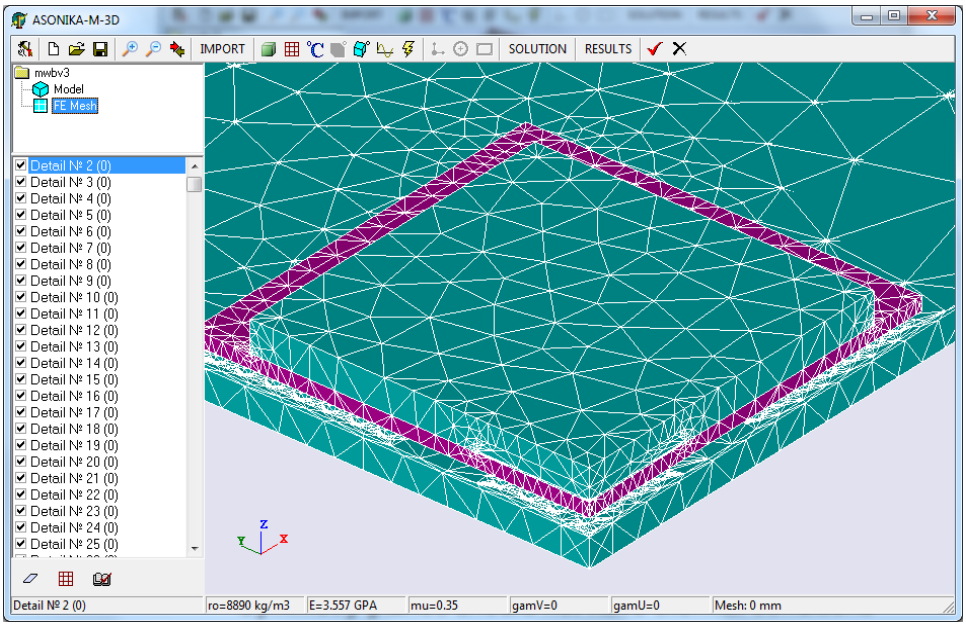


Рис.9. Конечно-элементная сетка для интегральных микросхем

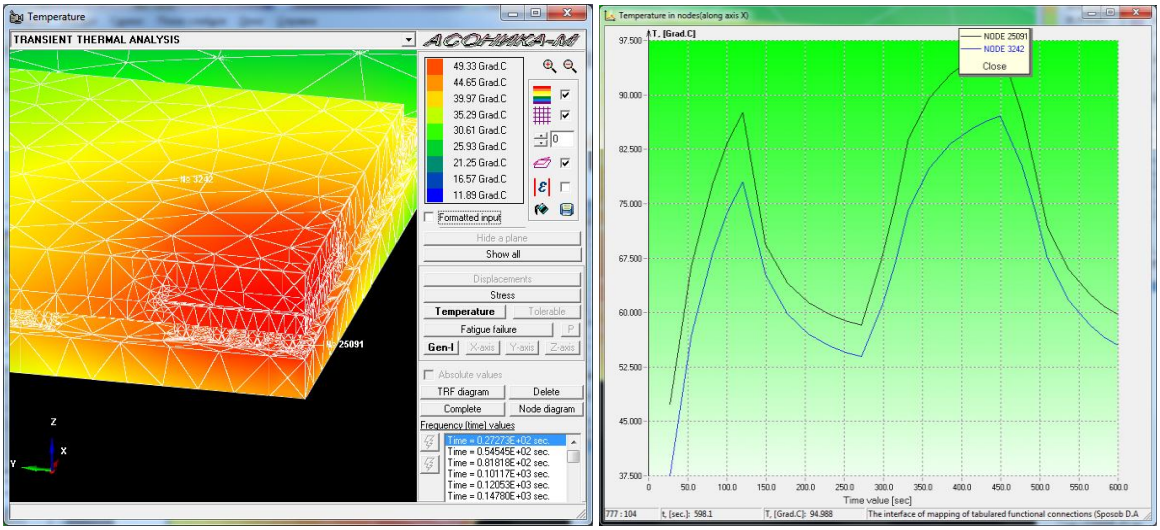


Рис.10. Температурные зависимости для интегральных микросхем

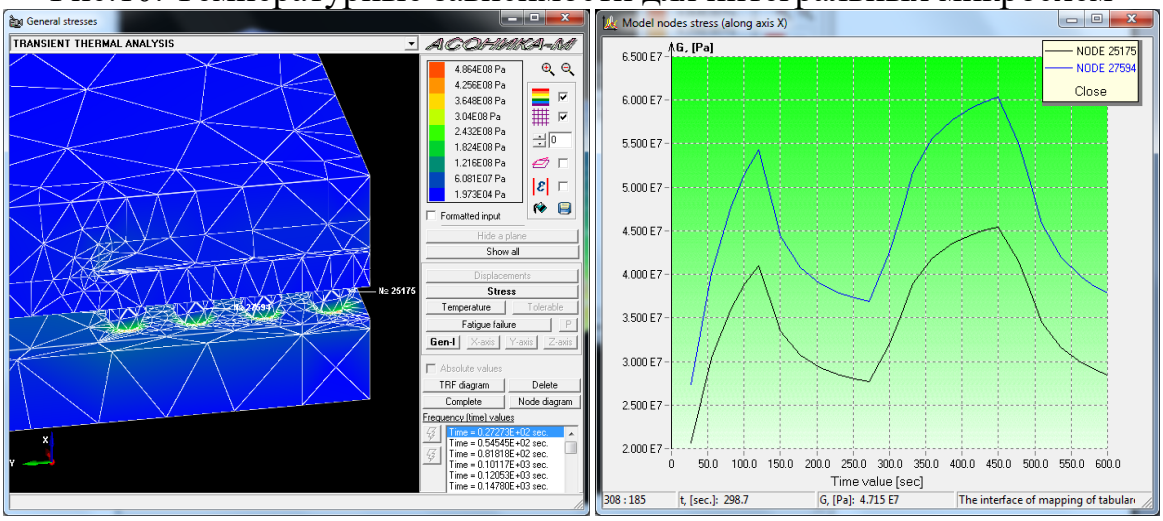


Рис.11. Механические напряжения в интегральных микросхемах

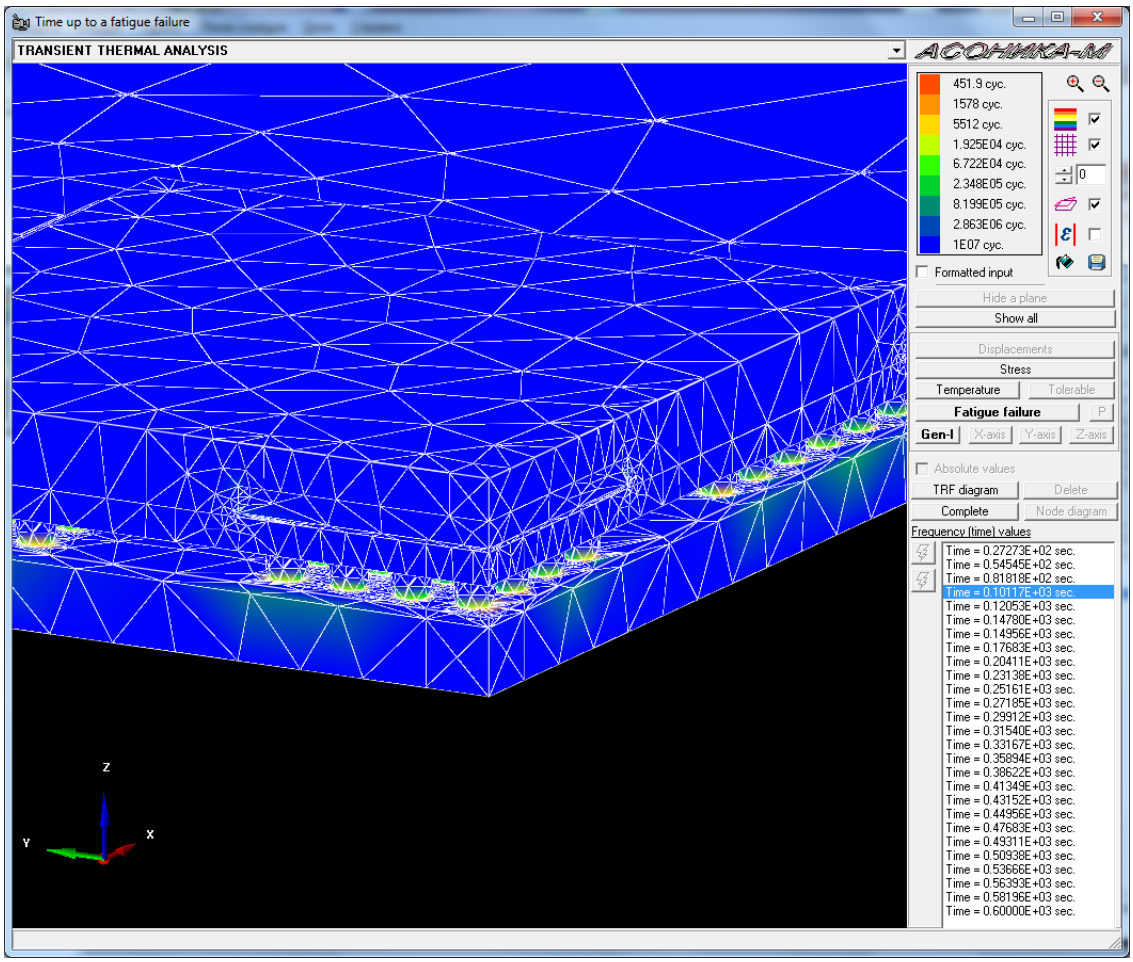


Рис.12. Усталостные разрушения в интегральных микросхемах

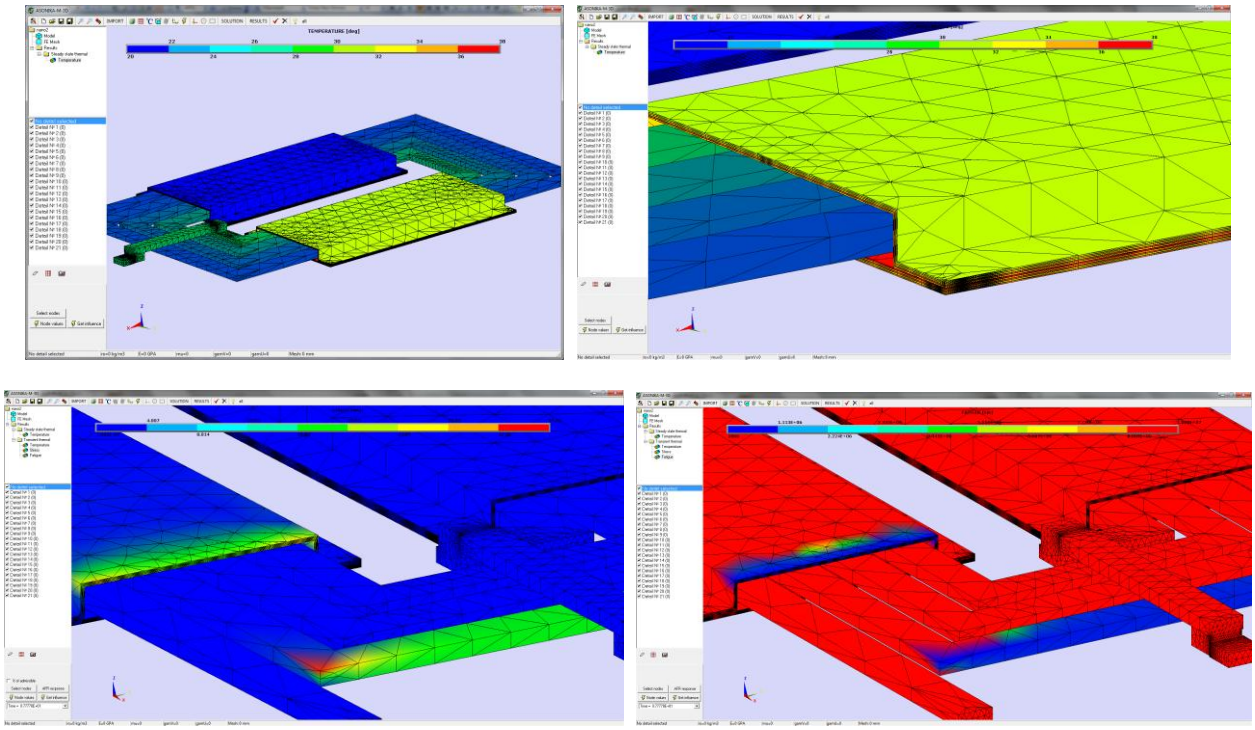


Рис.13. Моделирование интегральных микросхем на наноуровне (25 нм)

5. В системе АСКМ «Прогресс» в отличие от системы ANSYS и др. есть **возможность идентификации** физико-механических, теплофизических и других **параметров**, что крайне необходимо для обеспечения точности моделирования, так как многие параметры отсутствуют в справочниках.

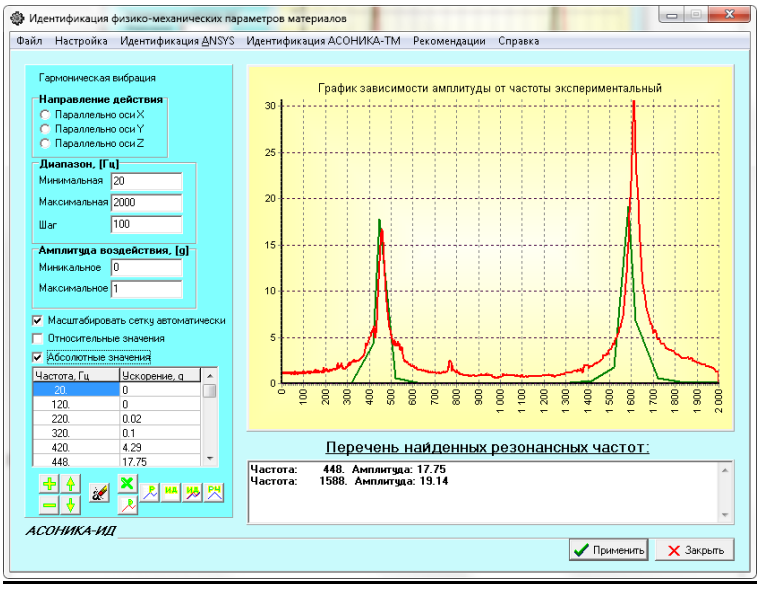
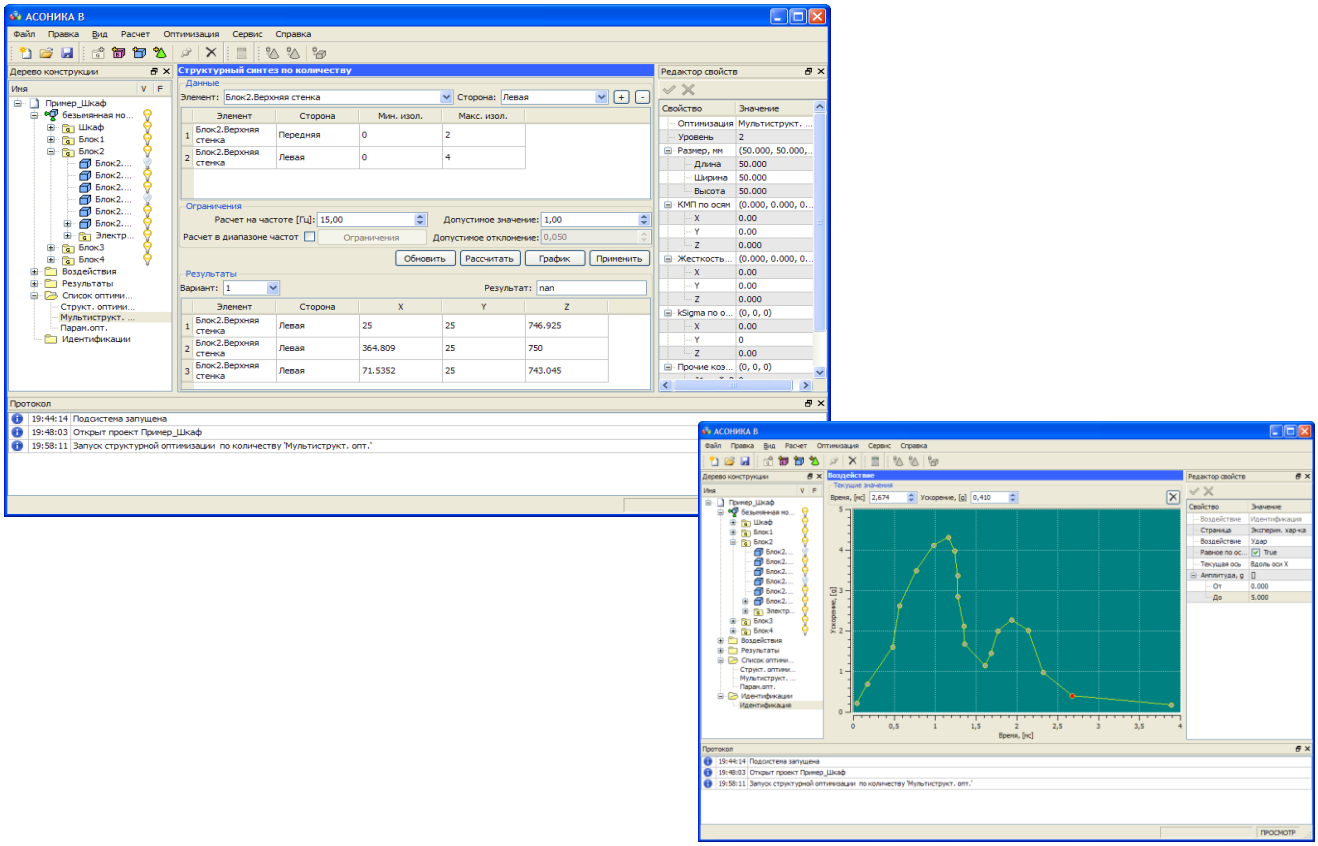
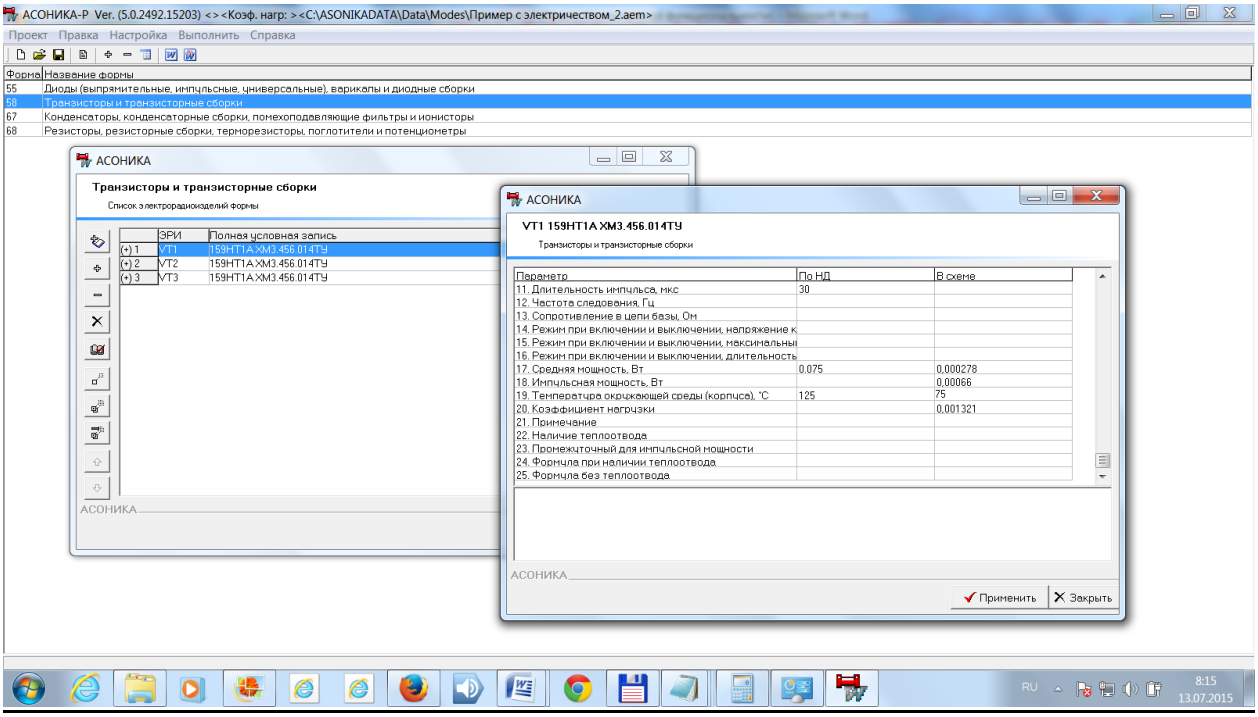


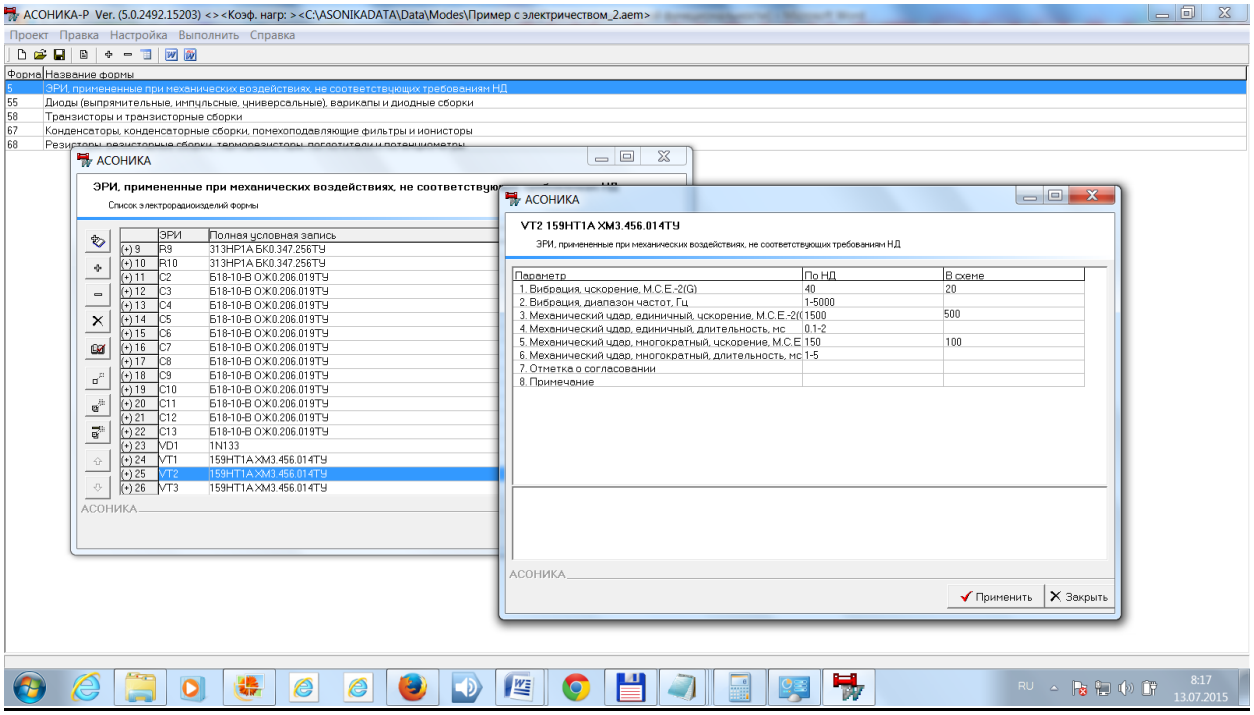
Рис.14. Идентификация физико-механических параметров в подсистеме АСКМ-ИД

6. В системе АСКМ «Прогресс» в отличие от системы ANSYS и др. есть **возможность параметрической и структурной оптимизации конструкций на виброизоляторах** в подсистеме АСКМ-В, что крайне необходимо для обеспечения стойкости аппаратуры к механическим воздействиям:

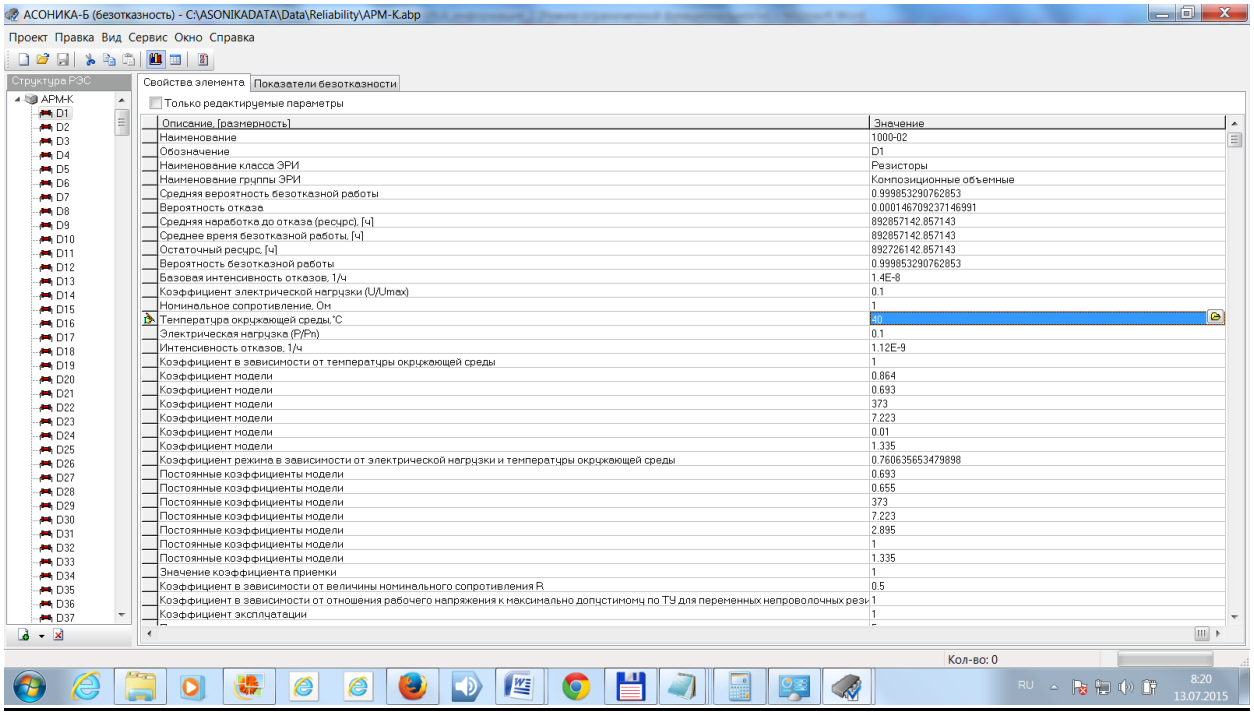


7. В системе АСКМ «Прогресс» в отличие от системы ANSYS и др. есть **возможность создания карт рабочих режимов электронных компонентов** с учетом тепловых и механических характеристик, полученных в результате моделирования и автоматически передаваемых в подсистему АСКМ-Р:

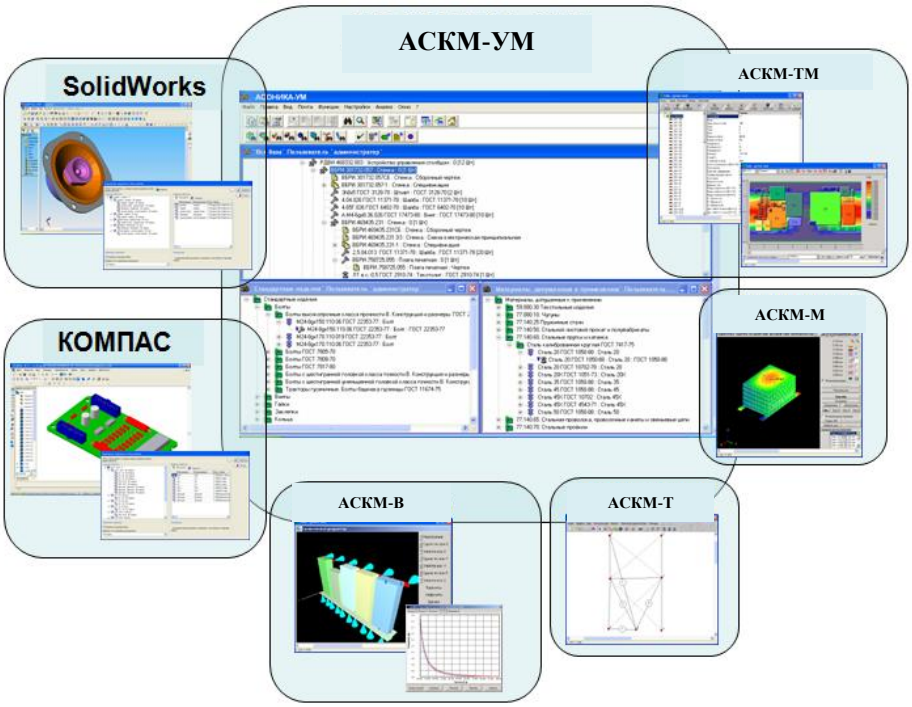




8. В системе АСКМ «Прогресс» в отличие от системы ANSYS и др. есть **возможность анализа показателей надежности электронных компонентов** и аппаратуры в целом с учетом тепловых и механических характеристик, полученных в результате моделирования и автоматически передаваемых в подсистему АСОНИКА-Б.



9. В системе АСКМ «Прогресс» в отличие от системы ANSYS и др. **создается электронная модель изделия**, необходимая для реализации ИПИ-технологий в электронике.



В 2017 году достигнуты следующие научные и практические результаты:

1. Разработаны принципы ускоренного моделирования сложных конструкций АРЭА за счёт автоматического иерархического построения сетки и склеивания сеточных моделей в местах стыковки нано- и микроструктур и за счёт полного использования ресурсов многоядерных процессоров и оперативной памяти.
2. Обеспечена конкурентоспособность разрабатываемой системы на отечественных и зарубежных IT-рынках, для чего реализована совместимость с распространёнными CAD-системами за счёт учёта специфики высоконадёжной АРЭА при создании новых графических интерфейсов и стыковки со специализированной базой данных материалов и электронных компонентов.
3. Создана интегрированная электронная модель АРЭА, учитывающая взаимную связь физически разнородных процессов и позволяющая учесть при анализе надёжности все влияющие факторы.
4. Создана Автоматизированная система комплексного моделирования влияния внешних воздействующих факторов на космическую и авиационную радиоэлектронную аппаратуру АСКМ «Прогресс».

Автоматизированная система АСКМ «Прогресс» применяется в Ракетно-космической корпорации «Энергия» при разработке электронных приборов для Международной космической станции, а также в течение длительного времени прошла успешную апробацию при проектировании и технической экспертизе Автоматизированных систем управления Вооружённых сил России, изделия ЗРС С-300ПМ, системы управления РК "Тополь-М", космических аппаратов "Метеор", "Ямал", "Sesat", самолётов СУ-27, МИГ-29 и других. Применение позволило снизить трудоёмкость проведения проектных исследований (в отдельных случаях до 35-40 %), повысить качество разрабатываемых образцов (прежде всего – их надёжности за счет своевременного выявления и устранения предпосылок к отказам, связанных с нерациональными схемными и конструктивными решениями), сэкономить средства за счёт сокращения объёмов работ по созданию и исследованию макетов, уменьшить объёмы всех видов испытаний (на 10-15%).

Таким образом, в отечественном авиастроении появилась принципиально новая нормативная база комплексного моделирования влияния внешних воздействующих факторов на авиационную радиоэлектронную аппаратуру для прогнозирования и обеспечения надёжности с учетом тепловых, механических, электромагнитных воздействий до изготовления авиационной радиоэлектронной аппаратуры.

Её применение на практике позволит существенно снизить инженерные риски разработки и количество необходимых итераций, а также получить высокое качество и надежность АРЭА с оптимальными массо-габаритными характеристиками при одновременном снижении материальных затрат (обеспечение конкурентоспособной цены) и сроков проектирования.