

НТЦ «АПМ» — 30 лет работы на благо прочности России!

Сергей Розинский, Руслан Ределин

В статье кратко представлена история создания и развития компании НТЦ «АПМ», а также ее программных продуктов. Освещены основные разделы применения программных продуктов АРМ. Перечислены типы расчетов, которые могут быть наиболее востребованы как в машиностроении, так и в строительном проектировании. Рассказано о взаимосвязи продуктов НТЦ «АПМ» с продуктами партнеров по консорциуму «РазВИтие».

Исполнилось 30 лет со дня основания (2 октября 1992 года) компании Научно-технический центр «АПМ» (НТЦ «АПМ»), специализирующейся на создании программного обеспечения для проведения инженерного анализа (САЕ), выпускаемого под общей торговой маркой «АРМ».

Линейка программных продуктов АРМ представляет собой комплекс программ, предназначенных для решения широкого спектра инженерных и научных задач. За три десятилетия проведена большая работа по созданию и совершенствованию программного обеспечения, а также его внедрению в

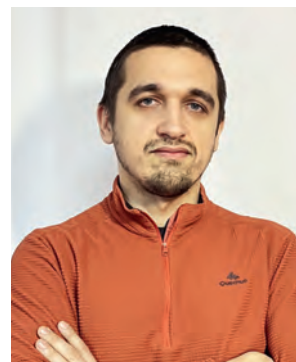
промышленность и вузы России.

Программные продукты АРМ позволяют выполнять расчеты динамики и прочности деталей машин и механизмов, конструкций и сооружений, проводить мультифизический анализ, связанный с теплообменом, течением жидкостей и газов, а также решать задачи из области электромагнетизма. При этом продукты ориентированы на широкую аудиторию инженеров, научных работников, преподавателей, аспирантов, студентов.

Поскольку разработка компьютерных программ в области САЕ-анализа требует знаний и опыта не



Сергей Розинский,
директор по развитию
НТЦ «АПМ»



Руслан Ределин,
к.т.н., главный
специалист отдела
обучения НТЦ «АПМ»

только в области программирования, но и в области прикладной математики, физики, инженерного проектирования, технологии и других смежных дисциплинах, штат компании представляет собой высококвалифицированный коллектив программистов, математиков, тестировщиков, расчетчиков и т.д. — общей численностью пятьдесят человек! А в период основания компании количество сотрудников можно было пересчитать по пальцам одной руки (рис. 1). Сотрудники компании территориально располагаются в двух офисах, находящихся в городе Королеве Московской области и городе Орле.

История создания и развития НТЦ «АПМ» не-

разрывно связана с Московским государственным техническим университетом имени Н.Э. Баумана (МГТУ им. Н.Э. Баумана). Здесь на основе научной деятельности в области автоматизированного проектирования велись работы по созданию программ для автоматизации расчетов. Многие ведущие специалисты НТЦ «АПМ» окончили именно этот вуз.

МГТУ им. Н.Э. Баумана (ранее — Московское высшее техническое училище имени Н.Э. Баумана) окончил и основатель, и генеральный директор НТЦ «АПМ» Владимир Васильевич Шелофаст (1946–2022), доктор технических наук, профессор кафедры «Основы



Рис. 1. Офис компании НТЦ «АПМ» и ее сотрудники (1992 год)

конструирования машин» (РКЗ), блестящий ученый и педагог, воспитавший тысячи квалифицированных инженеров (рис. 2). Здесь же он обучался в аспирантуре, защитил кандидатскую и докторскую диссертации. Наука была неотъемлемой частью его жизни. Он занимался вопросами, связанными с прогнозированием долговечности машин и станков, разработкой численных методов анализа точности и прочности контактного взаимодействия, им велись работы в области автоматизации инженерных расчетов механических систем.

Работы по автоматизации инженерных расчетов изначально выполнялись от имени инновационного центра факультета РК-3. Для ускорения этих работ, создания специализированного программного обеспечения, а также более эффективного продвижения результатов этих работ в 1992 году и была создана компания Научно-технический центр «АПМ», которая занялась созданием универсальной программной среды в области САЕ-анализа. Первыми разработками были программы для автоматизированного расче-

та и проектирования деталей машин и механизмов (рис. 3), позже появились разработки в области



Рис. 2. Владимир Васильевич Шелофаст, основатель компании НТЦ «АПМ»

конечно-элементного анализа прочности (рис. 4). С момента образования компании по настоящее время тематика научных исследо-

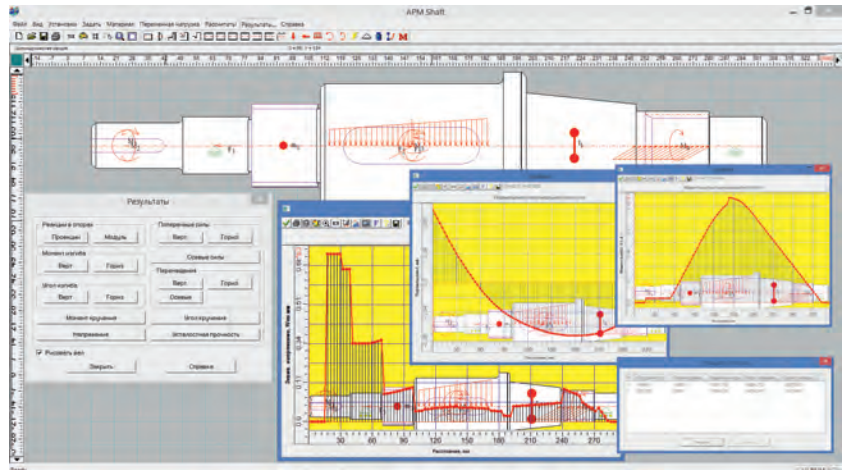


Рис. 3. Пример прочностного расчета вала

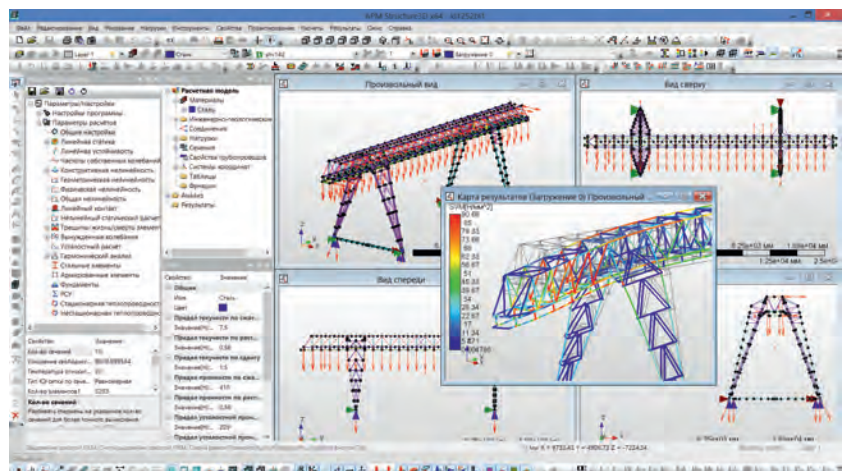


Рис. 4. Пример прочностного расчета козлового крана

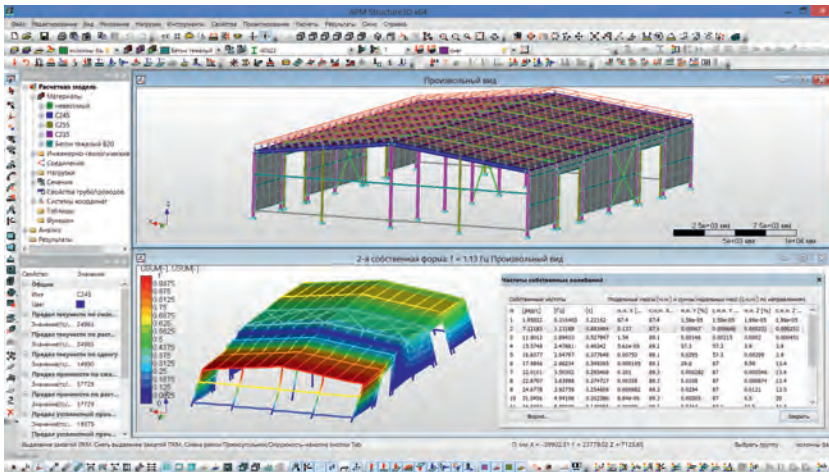


Рис. 5. Пример расчета строительной конструкции



Рис. 6. Пример учебного проекта (выполнил студент А.А Сазанов, руководитель профессор В.С. Шестаков)

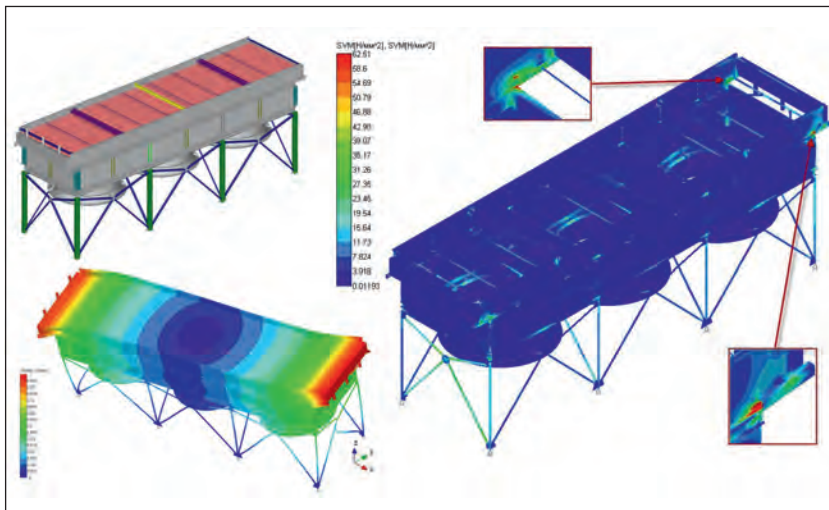


Рис. 7. Пример расчета аппарата воздушного охлаждения (расчет по заказу предприятия)

ваний и направлений разработки программного обеспечения значительно расширилась. Сегодня НТЦ «АПМ» предлагает программные решения не только для расчета деталей машин, моделирования задач механики поведения упругих тел, но и анализа нелинейных и мультифизических задач, а также задач в области строительного проектирования (рис. 5).

Увеличение потенциала разработок, направлений расчетов и расширение области применения программного обеспечения требовало расширения штата сотрудников. В связи с этим в 2008 году был открыт еще один офис в городе Орле. Выбор именно этого города не был случайностью! Здесь, в Орловском государственном техническом университете (ОрелГТУ), существовавшая тогда кафедра прикладной механики (в последующем — динамики и прочности машин) с 1999 года готовила инженеров по специальности «Динамика и прочность машин», которую и окончили многие сотрудники орловского офиса НТЦ «АПМ». Еще в студенческие годы в рамках обучения они использовали программы НТЦ «АПМ» при выполнении расчетно-графических работ, курсовых и дипломных проектов, а также участвовали во всероссийской олимпиаде «Инженерный анализ» (на базе Омского ГТУ) по проектированию инженерных конструкций в среде АРМ, в которой неоднократно становились победителями и призерами.

Взаимодействие с вузами и научными институтами позволяет компании поддерживать тесную связь с наукой и научными исследованиями, которые лежат в осно-

ве новейших разработок программного обеспечения АРМ, идти в ногу со временем, воплощать передовые исследования в жизнь, получать квалифицированные кадры. На сегодняшний день в штате сотрудников насчитывается более десяти кандидатов наук, часть которых окончили докторантуру и в ближайшем будущем планируют защиту докторских диссертаций.

Связь с научными школами является двусторонней: с одной стороны — это внедрение научных разработок при создании программного обеспечения, с другой — использование программ АРМ в научных исследованиях, что подтверждается многочисленными диссертациями. Также НТЦ «АПМ» сотрудничает с учебными заведениями в области образовательной деятельности. Крупнейшие вузы России являются пользователями АРМ, и уже сегодня студенты имеют возможность обучаться на наших программных продуктах, а также участвовать в ежегодных конкурсах на лучшую студенческую работу (рис. 6).

НТЦ «АПМ» не только разрабатывает и продает собственную продукцию — программное обеспечение АРМ, но и выполняет на нем расчеты



Рис. 8. Представители руководства компаний членов консорциума «РазВИТие»

по заказу предприятий. Для ряда компаний покупка расчетного программного обеспечения не всегда оправданна, тем не менее, существует потребность в проведении различных расчетов. Для этого в НТЦ «АПМ» более десяти лет существует расчетный отдел. Его сотрудники — высококвалифицированные специалисты с большим опытом работы, выполнившие не одну сотню различных по сложности проектов для многих предприятий и организаций самых разных отраслей промышленности. Помимо целевых расчетов по заказу предприятий сотрудники компании привлекаются к экспертной деятельности. Самыми крупными проектами в этой сфере

можно назвать техническую экспертизу аварии на Саяно-Шушенской ГЭС и экспертизу разрушения элементов, удерживающих крышу ледового дворца «Крылатское».

Расчеты по заказу предприятий и непосредственное взаимодействие с заказчиками позволяют на реальных проектах дополнительно тестировать разрабатываемое программное обеспечение, оценивать актуальность того или иного функционала, повышать удобство и эффективность работы, а также составить дорожную карту развития на краткосрочную и долгосрочную перспективы (рис. 7).

С 2015 года НТЦ «АПМ» является полноправным членом консорциума

«РазВИТие», что также позволяет значительно расширять возможности своей деятельности и вносить дополнительный вклад в отечественную промышленность и обеспечение импортонезависимости предприятий России (рис. 8). Совместно с партнерами по консорциуму (АСКОН, ADEM, TECIS, EREMEX, «Сигма Технологии») развивается отечественная PLM-система для цифровой поддержки всех этапов жизненного цикла изделия, в которой программное обеспечение АРМ является ядром прочностных расчетов. Интеграция программных продуктов компаний-партнеров осуществляется на разных технических уровнях. На нижнем

уровне — совместное использование программных компонентов. Так, например, модуль геометрического моделирования с инструментами конечно-элементного анализа APM Studio использует, как и КОМПАС-3D, отечественное геометрическое ядро C3D (разработка компании C3D Labs). Верхний уровень — взаимодействие моделей. Здесь можно

отметить конструирование и прочностные расчеты совместно с АСКОН (КОМПАС-3D + APM FEM), двусторонний FSI (прочностной анализ и анализ течения жидкостей и газов) совместно с компанией ТЕСИС (APM WinMachine + FlowVision), решение глобальных оптимизационных задач и повышение эффективности технических систем на основе моделирования

и инструментария оптимизации и аппроксимации совместно с АСКОН, ТЕСИС, «Сигма Технологии» (КОМПАС-3D + APM FEM + KompasFlow + Оптимизация IOSO-K). Совместная интеграция ПО начата задолго до создания консорциума и продолжает активно развиваться.

Сегодня программные продукты APM представлены несколькими на-

правлениями, которые позволяют вести расчеты в области машиностроения, строительной отрасли, в том числе выполняя междисциплинарные (мультифизические) расчеты.

Машиностроительное направление представлено такими программными продуктами, как APM Mechanic, APM StructFEM, APM WinMachine, APM FEM для КОМПАС-3D.

APM Mechanic предназначен для проектировочных и проверочных расчетов деталей машин и механизмов с применением инженерных методик, создания документации в соответствии с ЕСКД с использованием баз данных стандартных изделий и материалов. С разработки расчетных модулей данного программного продукта началась деятельность компании (рис. 9). И в настоящее время они постоянно используются расчетчиками и столь же актуальны, хотя и требуют модернизации интерфейса в соответствии с современными трендами.

APM StructFEM предназначен для анализа напряженно-деформированного состояния трехмерных объектов любой сложности на основе конечно-элементного анализа (рис. 10). Зародился он более 25 лет назад, когда были выпущены

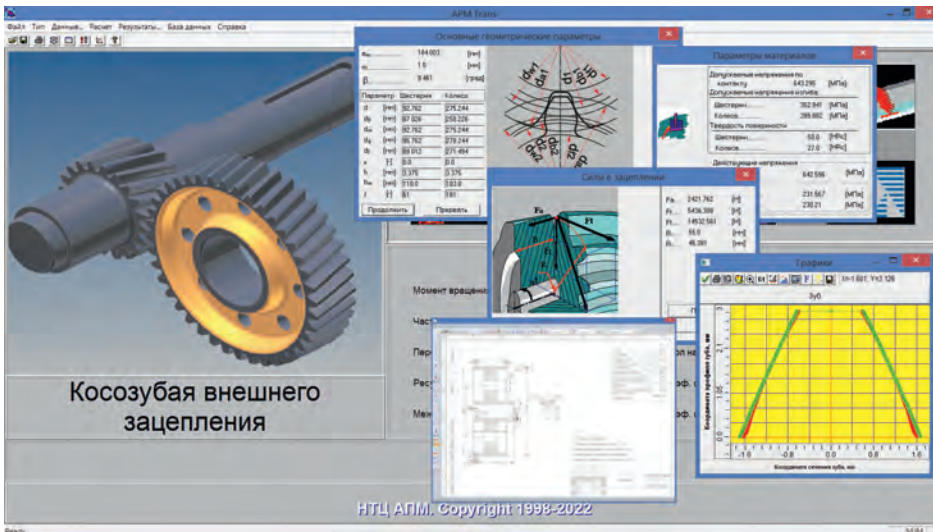


Рис. 9. Пример расчета зубчатой передачи

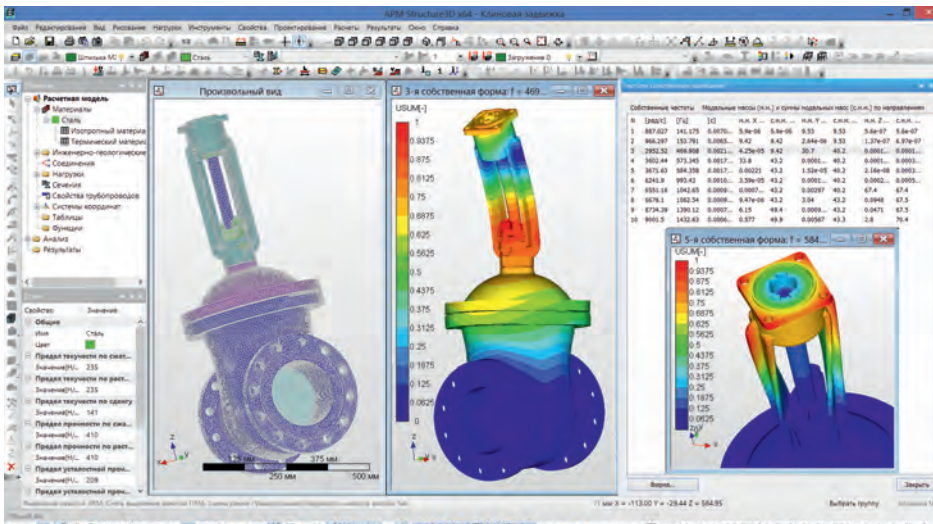


Рис. 10. Пример применения конечно-элементного анализа в APM StructFEM

первые версии программ для конечно-элементного анализа конструкций. При этом возможности применения продуктов компании существенно расширились, что позволило помимо расчетов деталей машин предлагать клиентам задачи анализа прочности произвольных пространственных конструкций.

APM WinMachine — продукт для прочностного расчета и проектирования конструкций, деталей машин и механизмов. Включает все возможности APM Mechanic и APM StructFEM. Сегодня это наиболее востребованный продукт для машиностроительной отрасли (рис. 11).

APM FEM для КОМПАС-3D — система прочностного анализа, предназначенная для выполнения экспресс-расчетов напряженно-деформированного состояния твердотельных и поверхностных объектов непосредственно в КОМПАС-3D. APM FEM не является автономным продуктом — это прикладная библиотека для системы КОМПАС-3D компании АСКОН. Продукт был реализован для повышения удобства работы в первую очередь инженеров-конструкторов, которые могут после создания конструкции провести

ее прочностной анализ, приложив необходимый набор граничных условий (нагрузок и закреплений) — рис. 12. Наше сотрудничество с компанией АСКОН продолжается много лет, а история развития APM FEM насчитывает уже больше десяти лет.

Строительное направление представлено программным продуктом APM Civil Engineering,

предназначенным для расчета и проектирования конструкций для промышленного и гражданского строительства. Он позволяет выполнять расчеты металлоконструкций, железобетонных, армокаменных, деревянных конструкций, соединений в конструкциях, оснований и фундаментов, а также проводить комплексный инженерный анализ строительных объектов.

При выполнении всего комплекса вычислений учитываются требования государственных стандартов и других нормативных документов, относящихся к строительному проектированию (рис. 13). Данное направление начало развиваться с 2000 года и уже в 2004-м был получен первый сертификат ГОССТРОЯ России, необходимый для применения программно-

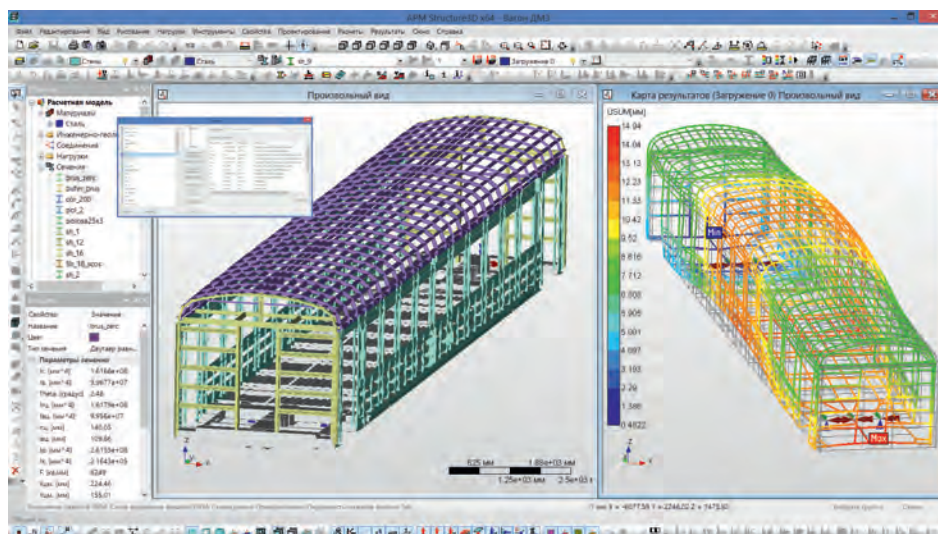


Рис. 11. Пример использования APM WinMachine

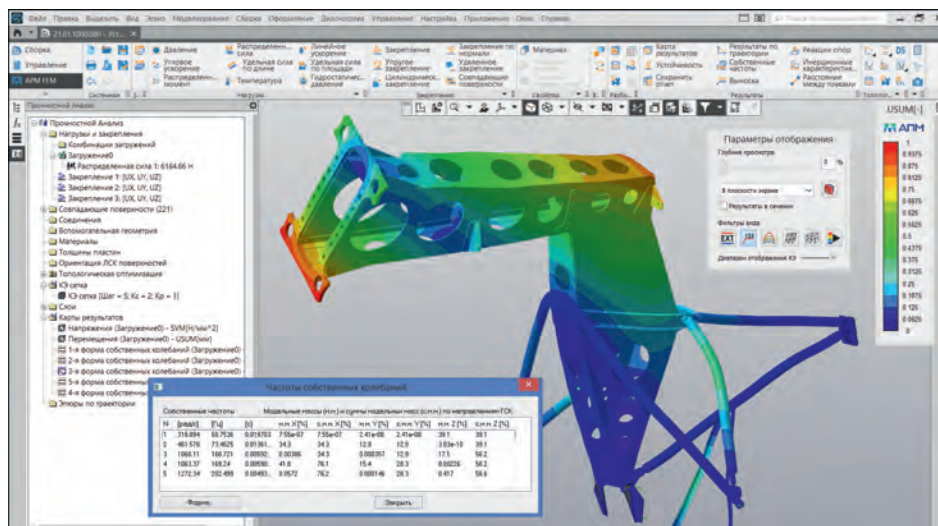


Рис. 12. Пример расчета конструкции с использованием APM FEM для КОМПАС-3D

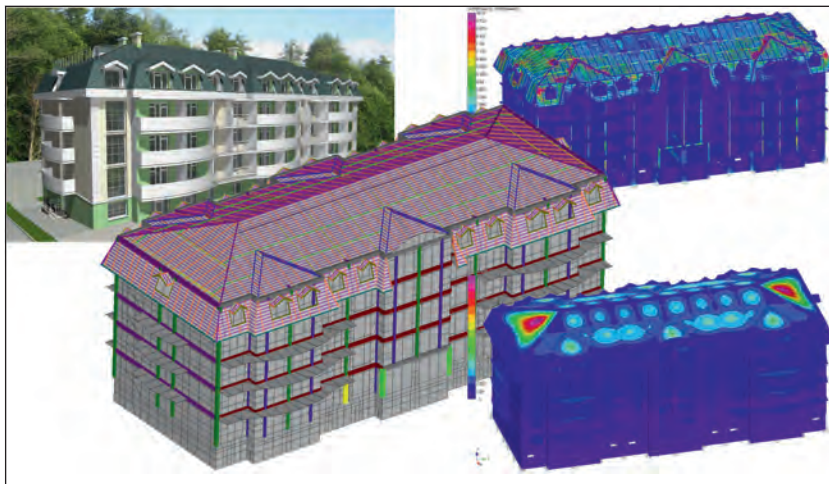


Рис. 13. Пример использования APM Civil Engineering

го продукта в строительных компаниях. В связи с развитием программы требуется поддерживать сертификат в актуальном состоянии, поэтому процедура сертификации проводится постоянно.

На данный момент в программных продуктах APM реализовано большое количество различных типов расчетов, необходимых инженеру для оценки прочности и несущей способности деталей машин и конструкций, основными из которых являются: линейный

и нелинейный статические расчеты, расчет на усталость (выносливость), расчет устойчивости, определение собственных форм и частот, тепловой анализ в стационарной и нестационарной постановках (рис. 14). Также пользователям доступны возможности динамического анализа: расчет вынужденных колебаний, гармонический анализ и расчет ШСВ. В качестве дополнительных опций можно выделить анализ течений жидкостей и газов, анализ элек-

ромагнитных полей и ряд других. Наиболее полно все поддерживаемые типы расчетов представлены в технической документации, а также на сайте компании в соответствующем подразделе <https://apm.ru/engineering-calculations>.

Помимо названных типов расчетов хочется особо отметить топологическую оптимизацию, в которую компания вкладывает значительные ресурсы, что на сегодняшний день в условиях минимизации затрат с одновременным уменьшением металлоемкости и повышения эффективности работы конструкций является актуальной технической задачей. В APM для этого есть все необходимые инструменты, которые в тесной связке с продуктами компании АСКОН (КОМАС-3D + приложение «Свободная форма») позволяют получить законченную, выглаженную геометрию силового каркаса изделия, который впоследствии можно будет изготовить как традиционными методами, так и с помощью аддитивного производства (рис. 15).

Программные продукты APM поддерживают любую удобную для пользователя идеологию работы. Речь идет о том, что мы можем строить расчетные модели в собственном специализированном модуле непосредственно из любых необходимых типов конечных элементов (таких как стержни, пластины, объемные элементы, специальные элементы и др.), а можем и работать с импортированной 3D-геометрией. Для нанесения КЭ-сетки на 3D-модели (твердотельные или поверхностные) в программу встроены автоматические генераторы, которые смогут, учитывая особенности гео-

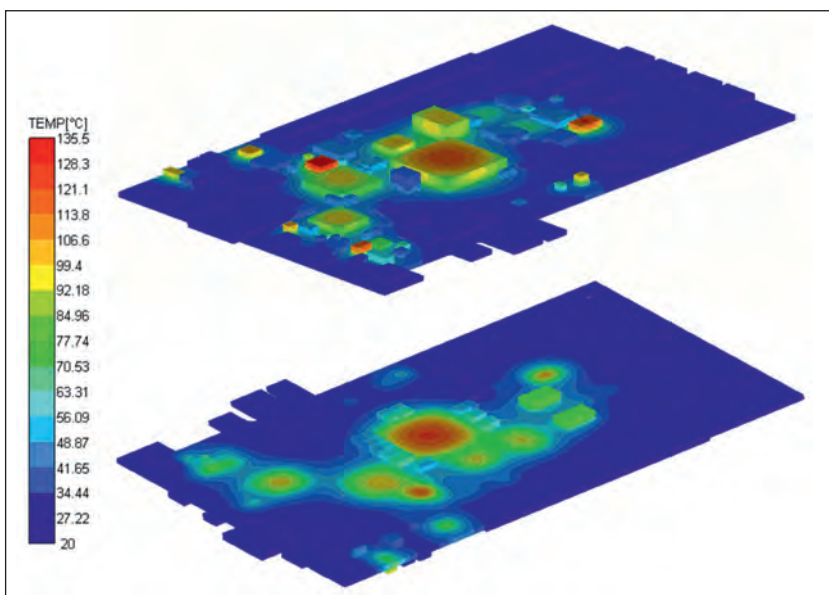


Рис. 14. Пример результатов теплового анализа платы прибора

Топологическая оптимизация конструкций

(+ использование КОМПАС-3D с приложением «Свободная форма»)



- ✓ Синтез формы новых конструкций;
- ✓ Оптимизация существующих конструкций;
- ✓ Формирования оптимизационной задачи;
- ✓ Учет технологических ограничений;
- ✓ Экспорт результатов расчета в STL.

Выдающиеся результаты работ дают

- 30-40% снижения массы несущих конструкций без снижения прочности и жесткости;
- От 2 до 5 раз повышение жесткости и прочности без увеличения массы;
- Изменение низших собственных частот в разы (эффективная отстройка от резонанса).

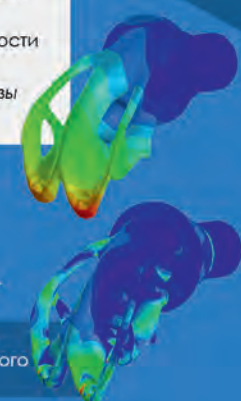


Рис. 15. Пример применения топологической оптимизации

метрии, адаптировать шаг разбиения для получения качественной картины разбиения (рис. 16). Существуют и инструменты контроля качества полученной КЭ-сетки и в целом расчетной модели, что позволяет инженеру-расчетчику избежать лишней траты времени из-за случайных ошибок.

Расчетное ядро программных продуктов APM — модуль APM Structure3D — проходит постоянную верификацию. С момента начала разработок и по настоящее время проводятся ресурсоемкие работы в этом направлении. Решаются типовые задачи, и их результаты сравниваются в первую очередь с известными теоретическими решениями, а также с другими решениями, выполненными в аналогичных продуктах западных вендоров, признанных лидерами в мировой практике. По результатам верификации составлены многочисленные отчеты, на осно-

ве которых получены документы соответствия, такие как аттестационный паспорт программы для ЭВМ от Ростехнадзора, а также сертификат соответствия для APM Civil Engineering в области строительства (рис. 17).

Программное обеспечение APM является полностью отечественной разработкой, начиная с интерфейса, построения геометрии, генератора конечно-элементной сетки

и заканчивая расчетным ядром и постпроцессором. При необходимости многие расчеты могут проводиться на основе действующей отечественной нормативно-правовой документации и заложенных в них методиках расчета. Базы данных материалов и сечений содержат все основные типоразмеры, применяемые в промышленности.

На данный момент более 2 тыс. предприятий и организаций в Рос-

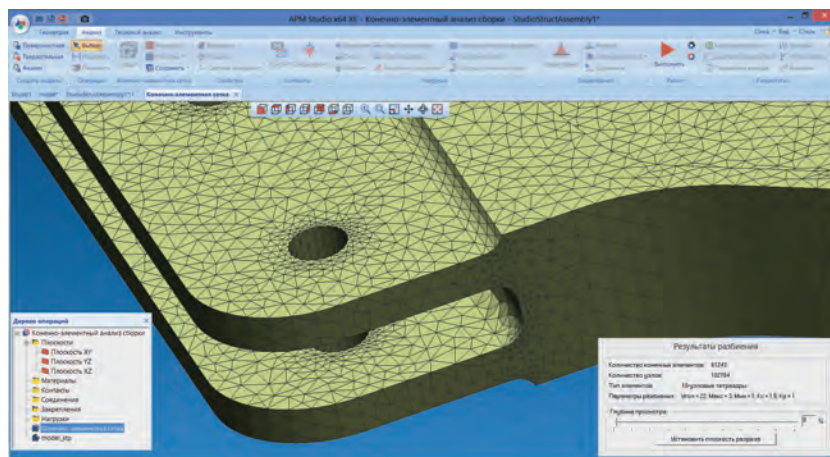


Рис. 16. Пример автоматической адаптации КЭ-сетки



Рис. 17. Сертификаты программных продуктов АРМ



Рис. 18. Выступление директора по разработке программного обеспечения НТЦ «АПМ» В.С. Прокопова, посвященное топологической оптимизации конструкций



Рис. 19. Выступление генерального директора НТЦ «АПМ» Е.Г. Стайновой

сии и за рубежом успешно используют программные продукты АРМ. Их опыт показывает, что мы способны заменить аналогичное импортное программное обеспечение в области прочностных расчетов. Для зарубежных пользователей интерфейс программ переведен на английский язык.

В итоге за 30 лет работы создан мощный комплекс программных продуктов, позволяющий проводить различные типы расчетов и анализ сложнейших конструкций во многих отраслях промышленности. Компания не останавливается на достигнутом. Ежегодно готовятся к выходу новые версии с еще большими возможностями для проведения инженерного анализа конструкций. Очередной релиз новой, 20-й версии запланирован на весну-лето 2023 года. Параллельно с основной разработкой ведутся работы по переводу наших программных продуктов на поддержку операционных систем семейства Linux.

30-летие НТЦ «АПМ» было отмечено на очередном форуме «Развитие. Российский PLM для подготовки кадров», прошедшем в октябре этого года в МГТУ им. Н.Э. Баумана. На отдельной специальной секции форума были представлены доклады сотрудников НТЦ «АПМ», партнеров, а также пользователей программных продуктов АРМ (рис. 18 и 19).

Надеемся, что в столь непростое для России время мы сможем воплощать в жизнь идеи по созданию и развитию современных российских САЕ-систем, которые крайне необходимы сегодня во всех отраслях промышленности России. ➤