Эффективная платформа прикладных исследований и всестороннего численного моделирования на основе решений *ANSYS*

А.Л. Павлевич, Н.Н. Староверов, к.т.н., Д.П. Хитрых, к.т.н. (ЗАО "КАДФЕМ Си-Ай-Эс")

В последнее время всё чаще возникают вопросы эффективного применения средств численного моделирования на различных стадиях жизненного цикла изделий, особенно с учетом значительного роста их возможностей и доступности. Тот факт, что численное моделирование способствует существенному снижению затрат на прикладные исследования, проектирование и производство изделий, а также непосредственно влияет на повышение качества и степени инновационности продукции, уже воспринимается как данность. Тем не менее, за счет правильного, своевременного и всестороннего применения средств численного моделирования возможно и далее повышать эффективность всех процессов, связанных с разработками и прикладными исследованиями в различных отраслях промышленности.

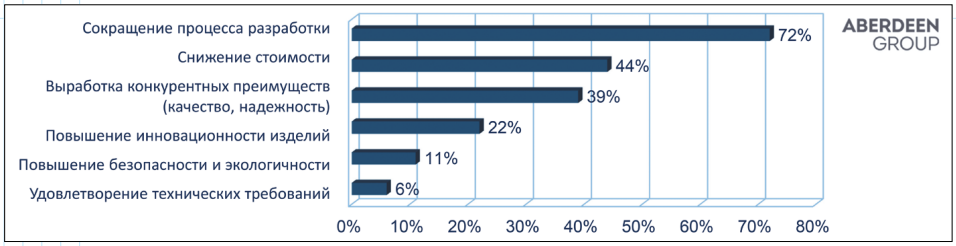

Рис. 1. Требования к проектам в отраслях ОПК и авиастроении

Успех в достижении поставленных целей сегодня во многом определяется возможностями компании эффективно соблюсти баланс между инновационностью разработок, их стоимостью, а также качеством готового изделия. С учетом требований к постоянному сокращению продолжительности научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ и увеличения сложности изделий, соблюдение подобного баланса порой становится трудновыполнимой задачей. Многие производители уже приняли решение о применении средств численного моделирования, чтобы помочь конструкторам проводить более глубокий и тщательный анализ поведения разрабатываемых изделий и принимать оптимальные решения на основе результатов моделирования. Однако, как показывает практика, **традиционный подход в применении средств численного моделирования имеет односторонний характер, позволяющий лишь закрыть пробелы в оценке технических характеристик изделий и выявлении серьезных ошибок**. Поэтому передовые компании целенаправленно консолидируют средства численного моделирования в единые эффективные платформы, предоставляющие инженерам полный набор инструментов для разработки и оптимизации поистине инновационных изделий.

На основании опроса более 550 респондентов – представителей компаний-разработчиков с мировым именем из различных отраслей промышленности – специалистами аналитического агентства *Aberdeen Group* был получен ряд статистических данных (рис. 1). Статистика показывает, что для отраслей оборонно-промышленного комплекса (ОПК) и авиастроения существуют требования к проектам, напрямую влияющие на характер и результативность процессов разработки и прикладных исследований. Наиболее важными факторами респонденты назвали:

- необходимость сокращения периода времени, отводимого на разработку;
- необходимость снижения стоимости исследований;
- необходимость обеспечения конкурентных преимуществ.

Основными проблемами данных отраслей промышленности на пути успешной разработки инновационной продукции названы ограниченные ресурсы разработчиков, необходимость сокращения затрат в течение жизненного цикла и увеличение сложности изделий (рис. 2).

В силу указанных факторов возникает необходимость применения более инновационных подходов и методов ведения разработок и прикладных

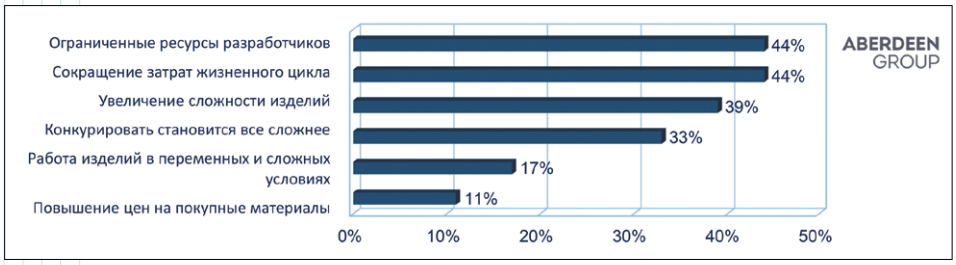

Рис. 2. Основные проблемы, возникающие при разработке новых продуктов в отраслях ОПК и авиастроении

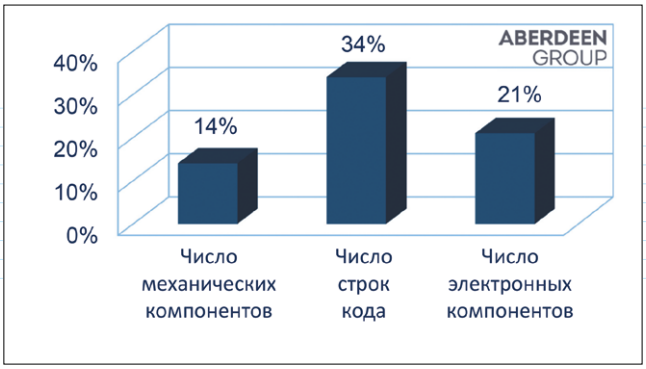

Рис. 3. Рост сложности разработок в 2015–2017 гг.

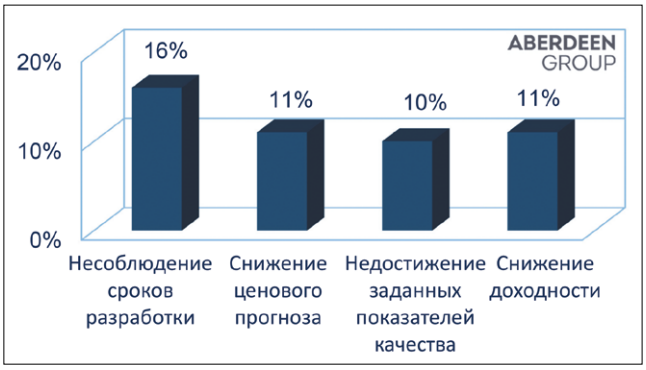

Рис. 4. Негативные тенденции, характерные для разработки новых продуктов в 2015–2017 гг.

исследований. Следствием этого процесса является неминуемое усложнение изделий. Согласно статистике, за последние несколько лет число механических компонентов в разрабатываемых изделиях увеличилось на 14%, электронных – на 21%, число строк программного кода систем управления выросло на 34% (рис. 3).

Как следствие, это становится причиной проявления некоторых негативных тенденций (рис. 4), связанных с увеличением продолжительности и стоимости разработок и исследований, потерей качества изделий и, соответственно, имиджа и доходов компаний-разработчиков.

Единственным выходом из сложившейся ситуации является комплексное и кардинальное изменение подхода к проектированию и прикладным исследованиям. Основным инструментом, предлагающим существенные преимущества в данном аспекте, являются **технологии численного многодисциплинарного моделирования**. Как показывает практика, применение технологий численного многодисциплинарного моделирования изделий с самых ранних стадий разработки дает существенные бизнес-преимущества для соблюдения трех основных критериев успешности разработок и исследований: сроков, стоимости и качества (рис. 5).

Во всём мире инженеры активно применяют три основных подхода к исследованиям конструкций на стадии разработки:

- создание физических прототипов и проведение испытаний;
- проведение аналитических расчетов;
- виртуальное прототипирование с применением средств численного моделирования.

Основные проблемы физического прототипирования хорошо известны – это существенные затраты времени, необходимые для создания прототипов и проведения комплексных испытаний, стоимость этих процессов и итерационность, часто приводящая к многократному реинжинирингу, необходимости построения новых прототипов и их повторных испытаний. При том, что данный подход использовался на протяжении многих десятилетий, существует ряд ограничений, связанных с невозможностью проведения некоторых экспериментов (например, без разрушения конструкции), что в конечном итоге приводит к тому, что характеристики прототипа зачастую не соответствуют аналогичным показателям конечного изделия. Именно по этой причине в последнее время переход к всесторонним виртуальным экспериментам широко поддерживается даже самыми консервативно настроенными представителями ОПК и авиастроения. В свою очередь, подходы виртуального прототипирования отнюдь не исключают применения аналитических расчетных методик на ранних стадиях проектирования. Более того, они могут эффективно комбинироваться, что еще существеннее повышает эффективность применения средств численного моделирования.

Компания *ANSYS, Inc.* является одним из мировых лидеров в разработке современных средств многодисциплинарного численного моделирования. Более чем сорокалетняя история успеха компании, занимающейся исключительно разработкой и развитием инструментов для численного моделирования в различных дисциплинах, подтверждается высокой стабильностью развития самой компании и, как следствие, высоким уровнем доверия клиентов по всему миру.

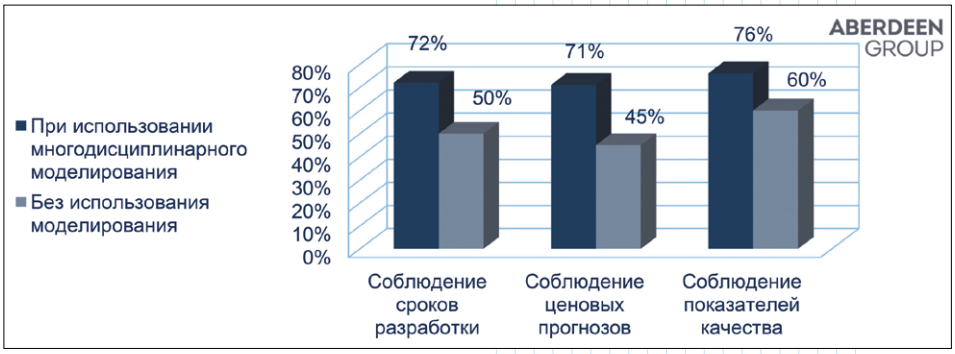

Рис. 5. Бизнес-преимущества применения многодисциплинарного моделирования

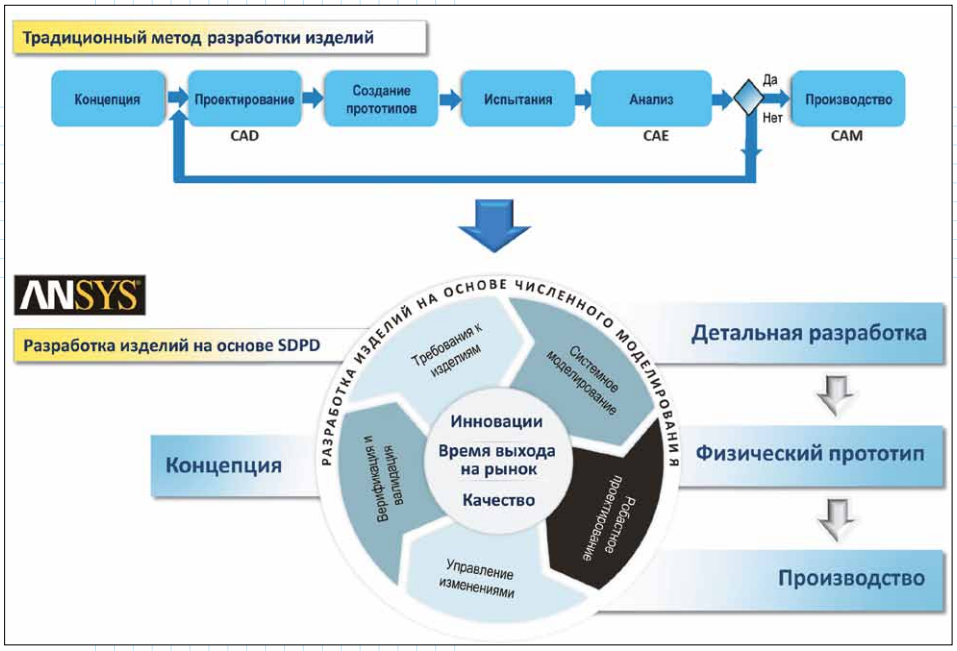

Рис. 6. Стратегия ANSYS SDPD и традиционный подход к проектированию

В основе стратегии развития решений компании *ANSYS, Inc.* находится уникальная запатентованная технология – **стратегия *SDPD*** (*Simulation Driven Product Development* – разработка изделий на основе численного моделирования, см. рис. 6). Благодаря реализации этой стратегии, решения *ANSYS* могут не только применяться как виртуальные испытательные стенды или средства проверки характеристик разработанных конструкций, но и стать основополагающей технологией, формирующей вектор исследований и дальнейшего проектирования с самых ранних стадий разработок и научных исследований, а также на этапе научно-технической проработки.

Реализация стратегии *SDPD* на практике позволяет существенно сократить процесс проектирования и научных исследований, избегая множественных циклов в процессе разработок, приводящих к повторению некоторых этапов при исправлении ошибок, допущенных на ранних стадиях. *ANSYS* – это не просто набор мощных инструментов для глубокого анализа конструкций в различных областях физики. Сегодня ***ANSYS* – это одна из наиболее совершенных платформ всестороннего многодисциплинарного численного моделирования на основе стратегии *SDPD***, готовая для полноценного внедрения на любом предприятии технологий численного моделирования для решения задач в области прочности, вычислительной гидродинамики, электромагнетизма, многокритериальной оптимизации и робастного проектирования, а также системного инжиниринга, и при этом интегрируемая в *PLM*-структуру.

Стратегия *SDPD* основывается на взаимодействии четырех ключевых элементов (рис. 7):

Рис. 7. Ключевые элементы стратегии ANSYS SDPD

1 Передовые технологии – основа стратегии *SDPD*. Решатели *ANSYS* давно признаны стандартом инженерных расчетов. Ключевым вектором развития компании является постоянное совершенствование расчетных технологий (решателей, сеточных генераторов, постпроцессоров), внедрение новых возможностей и расчетных подходов для того, чтобы каждый клиент имел широкий набор инструментов, охватывающий все области физики.

2 Принципы виртуального прототипирования становятся следующей ступенью к повышению эффективности применения решений *ANSYS*. Технологии многодисциплинарных расчетов позволяют моделировать

конструкции в реальных условиях эксплуатации с учетом комплексных воздействий, так как учет только одной дисциплины зачастую не может дать точного представления о работоспособности конструкции. *ANSYS* позволяет принять во внимание все физические аспекты, учесть их влияние и взаимодействие в единой многодисциплинарной среде. Виртуальный прототип в *ANSYS* – это цифровая модель реального объекта в реальных условиях эксплуатации. Такой подход позволяет существенно сократить вероятность получения недостоверных результатов и уменьшить число допущений, используемых при моделировании.

3 Принцип сокращения процесса проектирования. Компания *ANSYS* предлагает широкий набор средств автоматизации для создания пользовательских расчетных процессов, позволяющих инженерам сосредоточиться на инженерной части задачи, а не на работе с программным обеспечением. Адаптивная архитектура *ANSYS* – за счет заложенных в нее средств автоматизации, возможностей по интеграции лучших подходов в моделировании, а также развитых средств высокопроизводительных вычислений и гибких возможностей интеграции в любую ИТ-инфраструктуру – позволяет инженерам работать быстрее, моделировать эффективнее и подтверждать работоспособность конструкции на самых ранних стадиях жизненного цикла изделия.

4 Совместная работа. Возможность удобного и всестороннего взаимодействия специалистов из различных подразделений одного предприятия или смежных структур является одним из наиболее важных аспектов повышения качества изделий и сокращения процесса их разработки. Этот аспект основывается на развитых вспомогательных средствах моделирования, позволяющих создавать единую комплексную расчетную среду путем формирования и накопления базы знаний, расчетных моделей и результатов расчетов, а также интеграции в расчетную платформу корпоративных и отраслевых расчетных методик.

Создание единой расчетной среды является дальнейшим развитием концепции *SDPD*. Такая среда может быть построена на базе локальных средств моделирования в интерфейсе *ANSYS Workbench*, но усилия можно направить и на повышение эффективности взаимодействия инженерных команд на корпоративном, отраслевом или межотраслевом уровне. В этом случае основой для реализации взаимодействия при моделировании становится ***ANSYS EKM*** (*Engineering Knowledge Management* – управление инженерными знаниями) – программная система класса *SPDM* (*Simulation Process & Data Management*), предназначенная для управления процессами и данными инженерных расчетов, в функции которой входит обеспечение обмена моделями и результатами между расчетными подразделениями, разграничение прав доступа к информации, обеспечение наполнения базы знаний для типовых расчетов и создание системы экспертного анализа проектных решений (рис. 8).

Корпоративная база знаний является важной частью потенциала современной компании на этапе научно-технической проработки и служит для развития подходов проектирования и прикладных исследований. Создание подобной базы знаний позволяет любому специалисту применять подходы и методики, верифицированные экспертами на основе предыдущих разработок, а также обеспечивать обмен знаниями и опытом между специалистами различной специализации. При этом реализация средств управления расчетными данными и создание базы методик на основе решенных задач создает рабочую среду управления процессами инженерного анализа и позволяет минимизировать финансовые и трудовые издержки на проведение прикладных исследований и разработку новых изделий.

На корпоративном уровне управление расчетными данными и процессами является специализированной частью общей концепции управления жизненным циклом изделия. Современные системы управления жизненным циклом изделия (*PLM*), а также системы технического документооборота (*PDM*) ориентированы на извлечение атрибутов и поддержку, в основном, конструкторских документов, и не обладают инструментарием,

Рис. 8. Основные функции системы ANSYS EKM

который необходим расчетным подразделениям, что обусловлено спецификой расчетных данных. Массив данных, связанных с расчетными моделями, имеет более сложную структуру и содержит намного больший объем информации, необходимой для извлечения, по сравнению с обычными конструкторскими документами. По этой причине системы класса *PLM/PDM* не могут выполнить задачу управления расчетными данными в требуемом расчетным подразделениям объеме. Реализация системы управления расчетными данными (*SPDM*), в дополнение к существующим системам *PLM*, позволяет наиболее полно решить задачи управления всеми данными на протяжении жизненного цикла изделия.

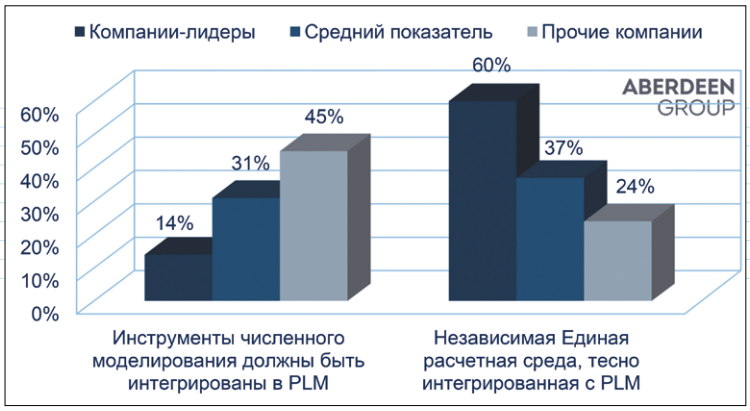

Рис. 9. Роль единой расчетной среды в ИТ-инфраструктуре компании

Специфика данных инженерных расчетов уже заставила передовые компании пересмотреть свои взгляды на структуру *PLM/PDM*-систем в целом и положение информационной среды инженерных расчетов внутри этих систем в частности. Согласно статистике, полученной *Aberdeen Group*, менеджмент предприятий, применяющих технологии численного моделирования, рассматривает инструменты численного анализа в составе единой расчетной среды, существующей независимо от корпоративной *PLM*-системы, но тесно интегрированной с ней (рис. 9).

Рис. 10. Интеграция упрощенных аналитических расчетных методик с комплексами численного моделирования в рамках концепции 1D-3D-1D в единой расчетной среде

Глобальная концепция единой расчетной среды заключается в объединении упрощенных аналитических расчетных методик (*1D*), используемых на ранних этапах проектирования компонентов изделия, с комплексами численного моделирования (*3D*), которые применяются при выполнении проверочных расчетов (рис. 10). Такое объединение призвано повысить эффективность и расширить функционал расчетных методов. Единая расчетная среда обеспечивает стандартизацию и регламентирование расчетных процессов во всех инженерных

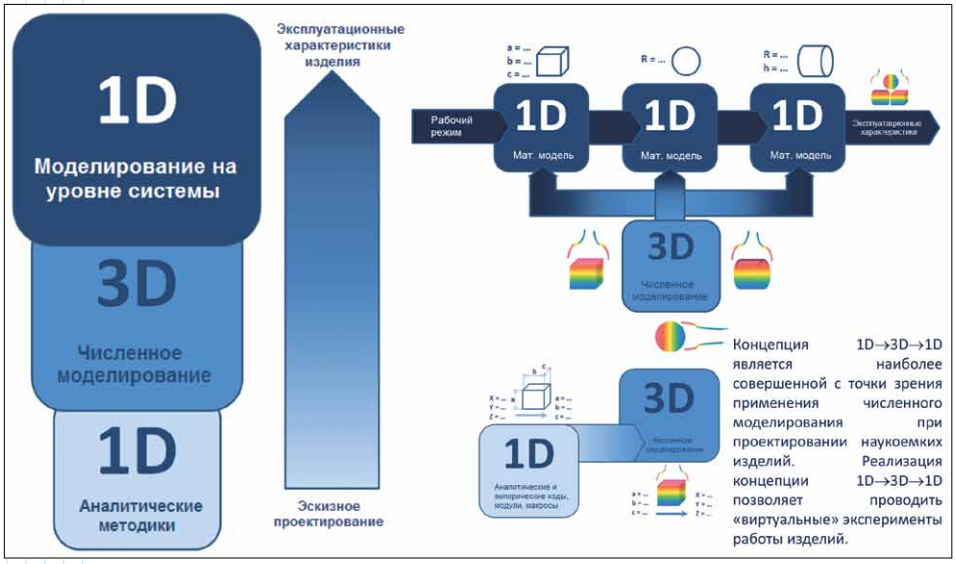

Рис. 11. Концепция 1D-3D-1D организации расчетного процесса в единой расчетной среде

подразделениях предприятия, работающих над анализом компонентов или узлов одного изделия. Такой подход позволяет существенно упростить процесс проведения традиционных многодисциплинарных расчетов. Интерпретация результатов расчетов отдельных компонентов изделия как набор математических моделей в рамках единой расчетной среды позволяет выйти на уровень системного инжиниринга и проводить моделирование работы изделия на уровне системы, исследовать его эксплуатационные характеристики, формировать архитектуру и логику работы систем управления. Необходимо отметить, что на сегодняшний день концепция организации расчетного процесса ***1D-3D-1D*** является наиболее совершенным вариантом развития концепции связанных многодисциплинарных расчетов (рис. 11).

Реализация концепции единой расчетной среды для управления расчетными процессами также имеет экономическое обоснование. Стратегия *SDPD*, согласно которой применение технологий численного анализа является неотъемлемой частью исследовательских и конструкторских работ, позволяет существенно сократить затраты на исправление ошибок по сравнению с традиционными подходами проектирования (рис. 12). Кроме того, экономический эффект достигается за счет реализации принципа "**сделать правильно с первого раза**" (*Do It Right The First Time, DRIFT*). В отраслях оборонно-промышленного комплекса и авиастроении наблюдается высокий уровень возврата инвестиций в технологии численного многодисциплинарного моделирования. По данным программы применения высокопроизводительных вычислений и численного моделирования

Рис. 13. Единая расчетная среда на базе ANSYS позволяет достигать лучших результатов

Министерства обороны США, показатель возврата инвестиций в технологии численного моделирования и высокопроизводительные вычисления составил от 700% до 1300% – в зависимости от проекта и объема натурных испытаний прототипов.

Таким образом, применение единой консолидированной расчетной платформы является технически и экономически обоснованным решением на пути к комплексной модернизации процессов разработки, прикладных и научно-технических исследований.

В заключение приведем статистику, иллюстрирующую разницу между применением единой консолидированной расчетной платформы и набором несвязанного расчетного программного обеспечения. Компании, широко использующие технологии численного моделирования (как консолидированные в единую расчетную среду, так и несвязанные), отметили, что единая расчетная среда позволяет (рис. 13):

- с большей вероятностью (на 24%) укладываться в сроки исследований и разработок;
- снизить совокупную стоимость использования программного обеспечения на 50% по отношению к совокупной годовой стоимости использования ПО;
- сократить процесс разработки на 69% и больше.

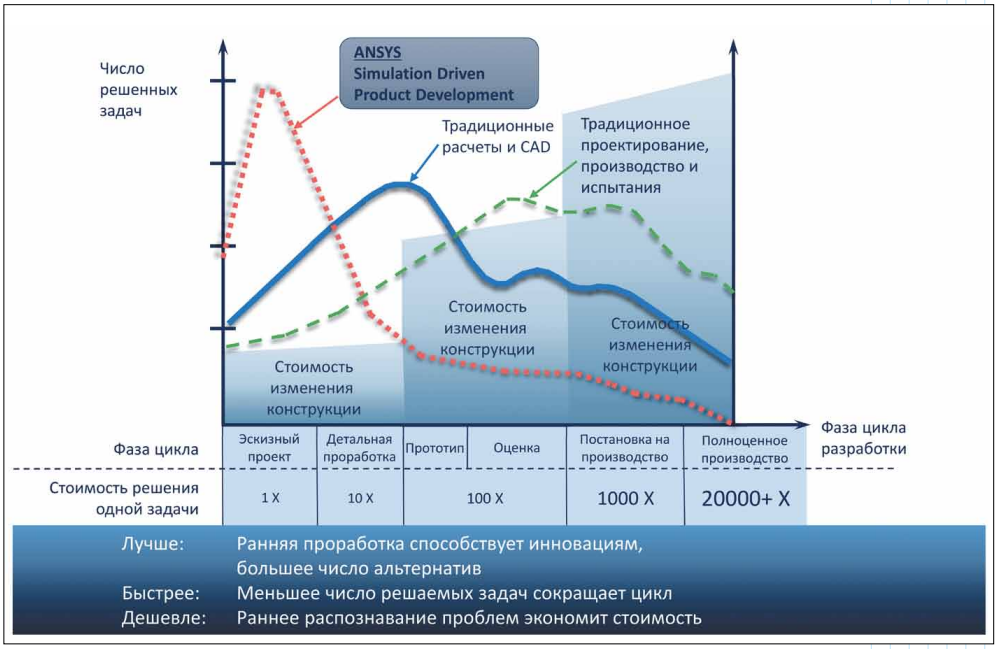

Рис. 12. Цена исправления ошибок в процессе разработки с применением стратегии SDPD по сравнению с традиционными методами