

Реализация практик модели-ориентированной системной инженерии в комплексном PLM-решении от Siemens Digital Industries Software

Станислав Щейников, заместитель генерального директора по комплексным проектам ГК «ПЛМ Урал»



С каждым годом сложность изделий увеличивается. Требования становятся жестче, их становится больше. Современные изделия состоят из огромного числа систем и компонентов различной физической природы: гидравлика, механика, электрика, пневматика, электроника, системы управления, встроенное программное обеспечение. Растет количество и сложность сценариев взаимодействия этих систем и компонентов – как друг с другом, так и с внешними системами на разных стадиях жизненного цикла. Все эти сценарии не помещаются в голову даже самого умного конструктора. Всё, что вы не предвидели, не предугадали, о чём не подумали, в итоге выявляется на поздних стадиях жизненного цикла, где становится причиной дорогостоящих изменений.

Традиционные подходы к организации и реализации инженерных процессов уже не позволяют справиться с возрастающей сложностью современных изделий. Несмотря на широкое распространение различных САПР и комплексных PLM-решений, становится всё сложнее и сложнее обеспечить создание продукции в заданные сроки с заданной стоимостью и требуемым качеством.

Модели-ориентированная системная инженерия

Пытаясь найти способ организации эффективных процессов проектирования в условиях усложнения технических систем, передовые инженерные компании обратили свой взор на такую дисциплину, как системная инженерия.

Международный совет системных инженеров (INCOSE) дает следующее определение системной инженерии: это междисциплинарный и интеграционный подход, позволяющий успешно

реализовывать, использовать и выводить из эксплуатации инженерные системы, используя системные принципы и концепции, а также научные, технологические и управленческие методы.

Если акцентировать внимание на технических аспектах системной инженерии, то они направлены на:

1 Построение процессов определения создаваемого продукта (заинтересованные стороны, потребности, жизненный цикл, эксплуатирующая система).

2 Построение процессов инженерии требований (выявление, формализация, документирование, анализ, управление требованиями).

3 Внедрение процесса определения архитектуры (трансформация требований в оптимальные технические решения).

4 Обеспечение процедуры постоянной проверки соответствия результатов исходным требованиям и функциональному назначению (верификация и валидация).

5 Управление целостностью данных – от требований до эксплуатационной документации – для поддержки заданной конфигурации.

Чтобы обеспечивать создание успешных изделий, системная инженерия, как дисциплина, непрерывно развивается, делая упор в своих процессах на применении на всех стадиях жизненного цикла компьютерных моделей различной степени абстракции и детализации. Такой подход называется модели-ориентированная системная инженерия (*Model Based Systems Engineering, MBSE*).

Компания Siemens Digital Industries Software уверенно отвечает на актуальные потребности рынка, и сегодня её комплексное PLM-решение позволяет организовать процессы управления жизненным циклом изделия на основе практик модели-ориентированной системной инженерии.

Центральным компонентом PLM-решения Siemens Digital Industries Software является PDM-система Teamcenter, которая обеспечивает централизованное хранение, управление и доступ к данным. Teamcenter позволяет управлять

“Компания “ПЛМ Урал” давно и успешно сотрудничает с Siemens Digital Industries Software. У компании накоплен хороший практический опыт работы с нашими программными продуктами. Более того, специалисты компании не останавливаются на достигнутом и постоянно развиваются, осваивая новые перспективные и очень важные направления, такие как модели-ориентированная системная инженерия, которая служит основой при разработке сложных инновационных изделий”.

Виктор Беспалов,
вице-президент,
генеральный менеджер
Siemens Digital Industries Software
в России, СНГ и Турции

инженерными процессами, планировать и контролировать работы, объединять разрозненную информацию в единую управляемую конфигурацию изделия.

Работа с требованиями

Основой процессов проектирования являются требования; от того, насколько правильно и эффективно организована работа с требованиями, зависит успешность последующих стадий жизненного цикла изделия. Функционал *Teamcenter* позволяет сделать работу с требованиями максимально эффективной. Пользователи имеют возможность формализовывать требования в виде отдельных управляемых объектов, объединяемых в спецификации требований. Каждое требование насыщается атрибутивной информацией, проходит процедуру согласования и утверждения. Требования связываются с другой инженерной информацией (дочерними требованиями, функциями, элементами архитектуры, элементами конструкторского состава, технологией, результатами инженерных расчетов, доказательной документацией), что позволяет добиться прозрачности, реализовать прослеживаемость требований и упростить анализ влияния вносимых изменений.

Определение архитектуры

Процесс трансформации требований в технические решения является важной составляющей процесса проектирования. Сделать этот процесс понятным и прозрачным для всех заинтересованных сторон позволяет архитектурное проектирование. Процесс определения архитектуры является одним из важнейших элементов *MBSE*, в рамках которого требования трансформируются в описание технической системы. В основе проектирования архитектуры лежит принцип декомпозиции, когда ведется постепенное описание принципов реализации технической системы – от черного ящика и набора базовых функций к детальному описанию подсистем и компонентов.

Мультидоменная архитектурная модель

Результатом процесса определения архитектуры является мультидоменная архитектурная модель (рис. 1). Её ключевая задача – формирование единого и в тоже время многоаспектного представления проектируемого изделия для всех заинтересованных сторон. Такая модель объединяет в себе описание всех систем и подсистем изделия, а также их взаимосвязи – вне зависимости от их физического домена, аппаратной или программной реализации.

Основным инструментом для формирования мультидоменной архитектурной модели в рамках *PLM*-решения *Siemens Digital Industries Software* является программный продукт *System Modeling Workbench (SMW)*. Разработка мультидоменной архитектурной модели в *SMW* базируется на методике *ARCADIA*, что отличает *SMW* от других продуктов для архитектурного проектирования, не предлагающих стандартизованных процессов построения архитектуры.

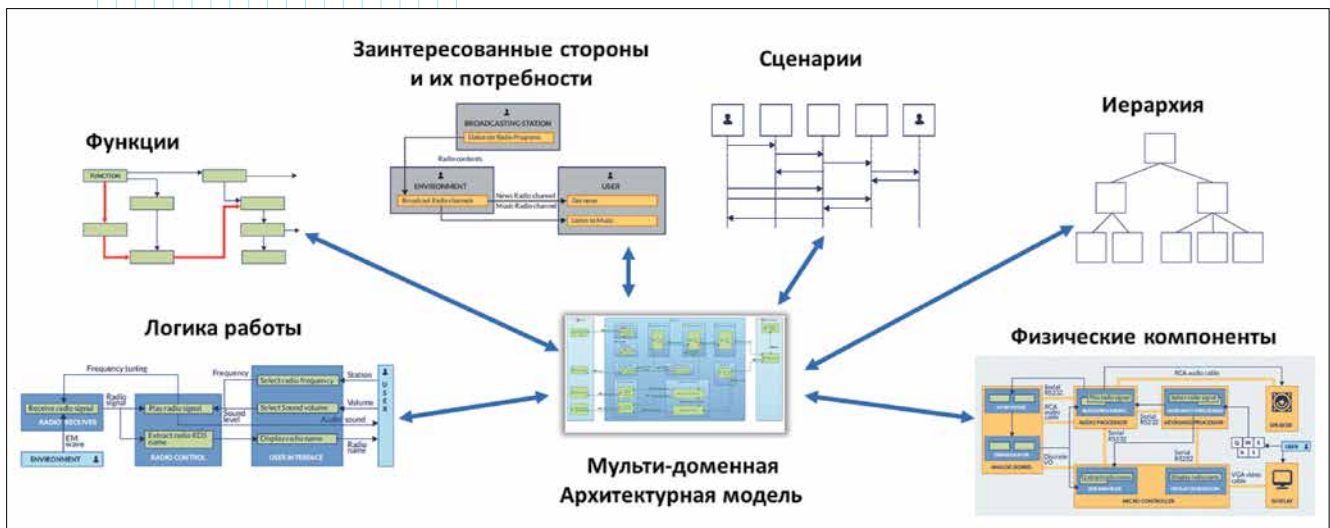
Разработка архитектуры по методике *ARCADIA* состоит из пяти шагов:

1) Операционный анализ

Разработчик концентрируется на анализе потребностей и целей заказчиков. Результатом этого этапа проектирования является эксплуатационная архитектура, описывающая потребности с точки зрения пользователей (включая сценарии эксплуатационного использования с параметрами измерения и эксплуатационными ограничениями, такими как безопасность, жизненный цикл и т.д.).

2) Системный анализ

Результаты этого этапа состоят из описаний функциональных потребностей системы (функции, функциональные цепочки, сценарии), взаимодействия с пользователями и внешними системами



(функции, функциональные связи и обмены, нефункциональные ограничения), а также требований к системе в целом.

3 Определение логической архитектуры

На этом этапе работа направлена на построение укрупненной компонентной структуры системы, несущей наиболее важные инженерные решения (с использованием функций, интерфейсов, потоков данных, поведения и т.д.).

4 Определение физической архитектуры

Разрабатывается “конечная” архитектура системы в виде физических компонентов и их интерфейсов (рис. 2).

5 Формирование контрактов на разработку

Результатом этого этапа являются структура разбивки конечного продукта и модели, описывающие спецификацию каждой подсистемы, аппаратного или программного компонента.

Мультидоменная архитектурная модель хранится в среде *Teamcenter* для обеспечения доступа к информации всех заинтересованных сторон. На функции, логические, физические компоненты, их интерфейсы выполняется аллокация (распределение) требований. Структура требований создается и управляется средствами *Teamcenter*, трассировка обеспечивается за счет интеграции *Teamcenter* и *SMW*.

Элементы архитектурной модели впоследствии трассируются с другими объектами *Teamcenter*, возникающими как результат детального проектирования отдельных системных компонентов. Такая информационная связь требований, архитектуры и результатов конструирования внутри *PLM*-системы позволяет устранить информационный разрыв, существовавший при отдельном использовании инструментов управления требованиями, архитектурного проектирования и конструирования.

Детальное проектирование

Информационные связи, поддерживаемые как между объектами внутри мультидоменной архитектурной модели, так и с требованиями, формируют достаточный набор входной информации для начала детального проектирования системных компонентов выбранных систем внутри своих доменов:

- Механическая часть, разрабатывается в *CAD*-системе *NX*. Входом в этот процесс служит декомпозиция с уровня физической архитектуры, а также выходные данные средств проектирования электрики и электроники (*EDA*). Выходом является детально проработанная геометрия в виде электронной модели всего изделия.
- Проектирование электрики и электроники реализуется средствами линейки продуктов *Mentor (Capital и Xpedition)*. Входом в этот процесс служит архитектура электрических и электронных систем, выделенных из общей мультидоменной архитектурной модели, с уровня физической архитектуры *SMW*. Выходом являются новые системные требования, модель электрической системы, схема соединений, топология печатной платы. Часть этих данных используются в *CAD*-системе *NX* для 3D-моделирования электрических и электронных компонентов (кабелей, жгутов, соединителей, печатных плат и др.) в рамках общей электронной модели всего изделия.
- Разработка встроенного ПО выполняется с помощью связки *Capital Software Designer* и *ALM*-системы *Polarion*. Входом для разработки ПО служат требования и мультидоменная архитектура. Это решение закрывает полный цикл задач по разработке и управлению жизненным циклом встраиваемого ПО, поэтому последующая декомпозиция и управление системными требованиями, разработка архитектуры ПО, планирование и реализация тестов, управление версиями разработки ПО выполняется средствами *Polarion* и *Capital Software*

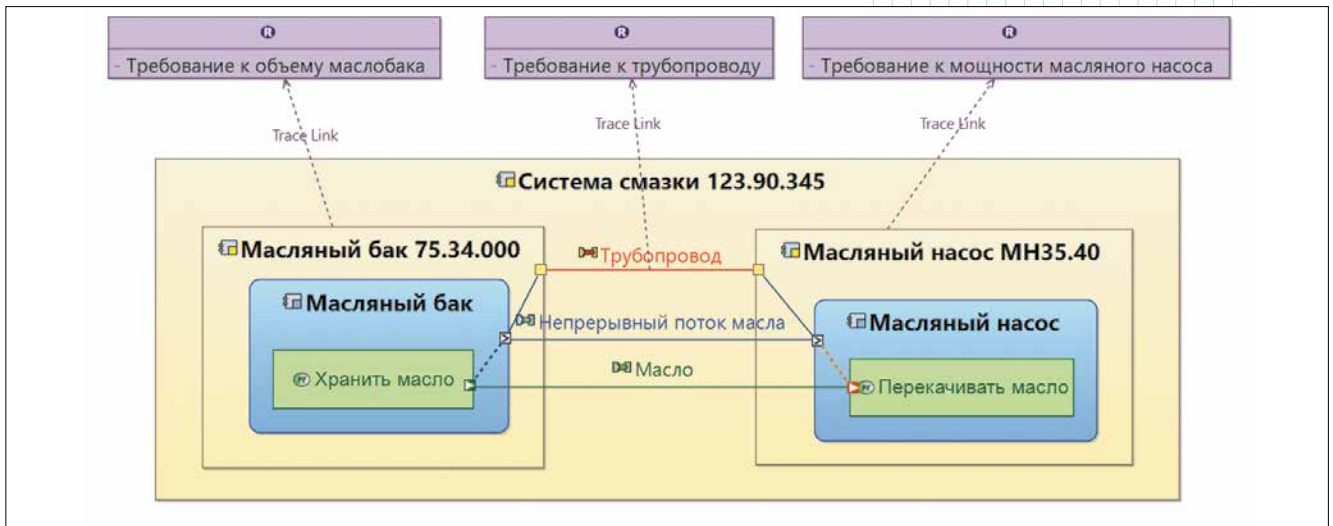


Рис. 2. Фрагмент физической архитектуры масляной системы ГТД

Designer. Выходом является конкретный релиз программного кода.

Вся информация, выходящая из обозначенных систем, аккумулируется и управляется функционалом *Teamcenter*.

Верификация и валидация

Отдельной задачей *MBSE* является планирование, реализация и контроль процессов оценки соответствия (верификации и валидации).

Требования, имеющие численные значения, могут быть представлены в *Teamcenter* в виде отдельных объектов типа “Атрибут” с указанием его номинального значения, а также возможных отклонений. Процедуры оценки соответствия в *Teamcenter* могут быть запланированы (для каждого требования в отдельности или для группы требований) через формирование запросов на анализ. К запросу на анализ прикрепляются контролируемые требования и их параметры, указываются методы оценки соответствия, виды доказательной документации.

Запросы на анализ привязываются к контрольным рубежам – датам, к которым необходимо обеспечить процедуру оценки соответствия. Для обеспечения постоянного подтверждения соответствия, одно и то же требование может проверяться на нескольких контрольных рубежах. Каждый запрос на анализ впоследствии планируется к выполнению в рамках задачи формирования расписания – с указанием ответственных лиц и сроков, с привязкой к рабочим процессам в *Teamcenter* (рис. 3).

Компания *Siemens Digital Industries Software* предлагает полный набор решений для реализации процесса оценки соответствия в цифровом виде:

- Для оценки соответствия мультидоменной архитектуры или её отдельных системных компонентов применяется метод *1D*-анализа. Системы *1D*-моделирования и анализа позволяют

определить соответствие выбранной архитектуры системным требованиям или подобрать обоснованные системные требования к системным компонентам. На базе имитационной *1D*-модели выполняется валидация системы управления применительно к объекту управления (*SiL*). В линейке *Siemens Digital Industries Software* эту задачу решает набор продуктов *Simcenter System Simulation* (в первую очередь, *System Architect* и *Simcenter Amesim*). Входом являются требования, мультидоменная архитектурная модель из *SMW*, результаты других процессов (например, *3D CAE*-анализа, учитывающего геометрические характеристики системы, код управляющей программы).

- Для оценки надежности и отказобезопасности на базе таких методик, как *RAMS* и *FMEA*, используется решение *MADe (PHM Technology)*. В качестве входной информации используются требования, функциональная модель из *SMW* и электронный состав изделия. Выходом является оценка соответствия. Отдельно для *FMEA*-анализа может применяться модуль *FMEA QMS*-системы *Opcenter Quality*.

- Часть требований может быть верифицирована средствами системы *NX* – например, соответствие требованиям по массе, соответствие требованиям по геометрии (присоединительные, габаритные размеры), соответствие требованиям по технологичности.

- Для оценки соответствия результатов проектирования в виде геометрических данных (*3D*-модели) применяется группа продуктов *Simcenter CAE Simulation*, включающая в себя такие инструменты, как *Simcenter STAR-CCM+*, *Simcenter 3D*, *NX Nastran*, *Simcenter Flotherm* и др. Результаты такой верификации и валидации служат исходными данными для уточнения мультидоменной системной архитектуры, на основе которой уточняется имитационная *1D*-модель.

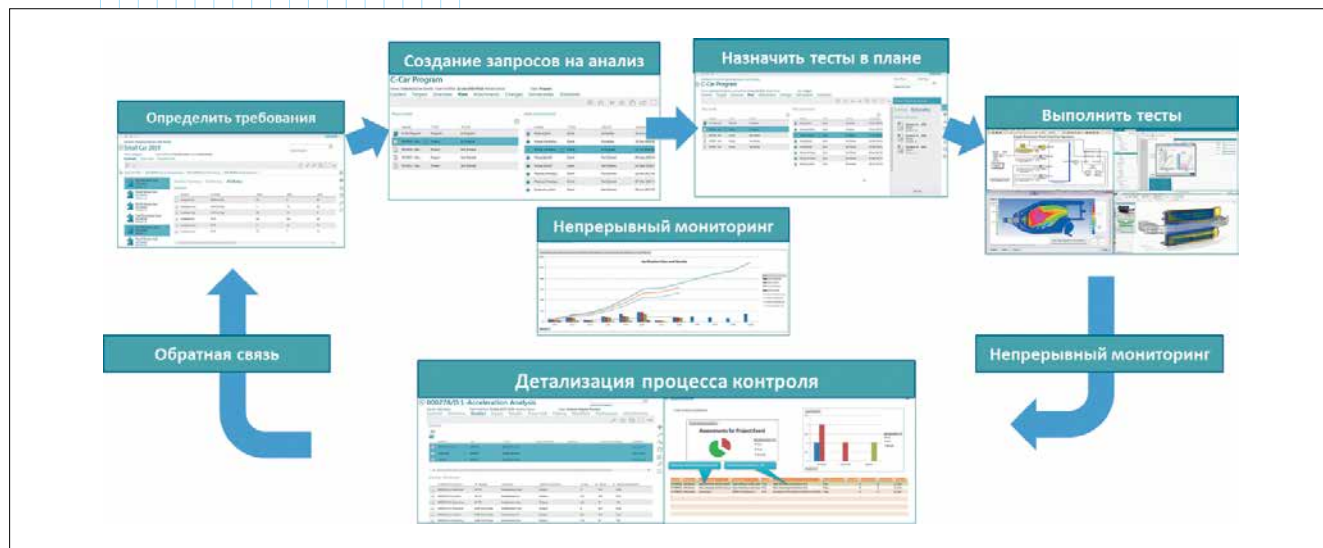


Рис. 3. Схема процесса планирования и контроля оценки соответствия в среде *Teamcenter*

- Часть инструментов верификации и валидации встраивается в системы проектирования – такие инструменты есть в арсенале *Capital*, *Xpedition*, *Polarion*, *NX*.

Оценка соответствия численных требований может быть выполнена в автоматизированном режиме, когда запущенный процесс оценки соответствия сравнивает полученные и запланированные значения и возвращает полученный статус требования *Teamcenter*.

Результаты процессов оценки соответствия (инженерные расчеты, результаты тестов, доказательная документация и т.д.) связываются с требованиями *Teamcenter*, что необходимо для обеспечения обратной связи и прослеживаемости процесса. Пользователям доступен отдельный интерфейс, обеспечивающий контроль процесса выполнения требований, с фиксацией выполненных или невыполненных тестов, полученных значений, ответственных лиц, сроков и другой информации.

Система *Teamcenter* увязывает всю информацию, возникающую в процессе проектирования, а также и на последующих стадиях жизненного цикла, в единую управляемую конфигурацию изделия, поддерживает целостность и непротиворечивость данных.

Преимущества программных решений от *Siemens*

Выбрав для себя ПО компании *Siemens Digital Industries Software*, вы обеспечиваете решение, как существующих, так и перспективных задач с применением передовых подходов и методик (рис. 4).

Использование практик *MBSE* и инструментов *Siemens Digital Industries Software* дает возможность:

- Минимизировать риски, связанные с внесением дорогостоящих изменений на поздних стадиях жизненного цикла, за счет правильной работы с требованиями и постоянного контроля их выполнения.
- Удерживать в зоне внимания все нюансы технической реализации сложных технических систем за счет трансформации требований в конструкцию через мультидоменную архитектурную модель.
- Обеспечивать соответствие изделия заданным требованиям за счет прозрачной и управляемой процедуры оценки соответствия в рамках комплексного *PLM*-решения.
- Как итог – получить требуемое изделие, уложившись в запланированные сроки и бюджеты.

Следует отметить, что, помимо программных инструментов, важной частью модели-ориентированной системной инженерии являются процессы и методики работы – без них инструменты будут бесполезны. К методикам можно отнести правила работы с требованиями (их выявление, формализация), правила определения архитектуры и т.д.

ГК «ПЛМ Урал» уже имеет практический опыт внедрения практик и инструментов модели-ориентированной системной инженерии (www.plm-ural.ru/sdprd) на базе решений *Siemens Digital Industries Software*. Мы готовы предоставлять необходимые методики, поставлять программные инструменты, помогать перестраивать существующие процессы, обучать сотрудников и обеспечивать постпродажное обслуживание. 🧐



Рис. 4. Укрупненная схема реализации MBSE с помощью инструментов *Siemens Digital Industries Software*