

Управление расчетными данными при помощи модуля *Simulation Process Management* системы *Teamcenter*

Пример интеграции с инструментами инженерного анализа
CFD-GEOM и *CFD-FASTRAN*

Антон Кавалеров, ведущий специалист CAE (Консалтинговая группа "Борлас")

На любом предприятии, которое создает сложные изделия, существует отдел, где производится расчетный анализ различных видов (аэродинамический, тепловой, прочностной и т.д.), а также модельно-ориентированное проектирование. Для анализа зачастую используется несколько специализированных расчетных программ (*ANSYS*, *Nastran*, собственные разработки и т.д.). Большое разнообразие ПО вызывает сложности, поскольку применение правильных версий необходимо контролировать.

Принято разделять расчеты на два больших класса: предварительные и поверочные. Предварительные расчеты необходимы для выбора оптимальной схемы конструкции, определения основных размеров. После выбора схемы и определения основных размеров, на стадии технического проекта идет детальная проработка конструкции. Инженер-конструктор создает детализированную модель изделия, инженеры-расчетчики проводят поверочные расчеты.

На практике процесс разработки идет не поэтапно, а итерационно в параллельном режиме. Некоторые детали конструкции и их расчеты необходимы еще на этапе выбора схемы конструкции, часть конструкции может поменяться на этапе детальной проработки. В определенные моменты требуется не только сравнить характеристики различных вариантов конструкций, но и также определить, какие расчеты были произведены для конкретной части изделия.

Однако, и это еще не все сложности. Над созданием сложного изделия работает большое количество сотрудников, в частности расчетчиков. В процессе проведения расчета инженер анализирует значительный объем данных, и зачастую вопросы организации хранения и контроля версионности уходят на второй план. И этому есть объяснение – специалист фактически “уходит в расчет”, погружается в него с головой и не отвлекается на внешние раздражители. При этом он точно знает, где какие данные находятся. Но как только у него появляется новая задача, он отвлекается от старой, и вспомнить, где и какая информация “лежит”, становится уже проблематично. Таким образом, поиск и демонстрация актуальной модели или данных предыдущих расчетов занимают значительное время. В случае же увольнения этого специалиста новый сотрудник столкнется с большими, и зачастую непреодолимыми, трудностями в использовании базы накопленной расчетной информации.

Хорошим способом обеспечить управление процессами хранения и многократное

использование расчетных данных является применение модуля *Simulation Process Management* системы *Teamcenter* компании *Siemens PLM Software*.

Основой предлагаемой вниманию читателей статьи послужил конкретный пример – часть пилотного проекта внедрения *Teamcenter* специалистами компании “Борлас” в “Центральном институте авиационного моторостроения имени П.И. Баранова” (ЦИАМ). Это единственная в России научно-исследовательская организация, осуществляющая полный спектр исследований и научное сопровождение разработок в области авиационного двигателестроения – от решения фундаментальных проблем до совместной работы с ОКБ по созданию, доводке и сертификации новых двигателей, а также научно-технического сопровождения их эксплуатации. Практически все российские авиационные двигатели создавались при непосредственном участии этого института, а также проходили доводку на стендах предприятия.

Целью данного пилотного проекта была демонстрация возможностей и улучшений процессов проектирования при использовании системы *Teamcenter*.

Алгоритм работы

На рис. 1 показана упрощенная клиент-серверная схема взаимодействия на основе *Teamcenter*, которая будет использоваться в ЦИАМ. Связь между компонентами осуществляется по сети.

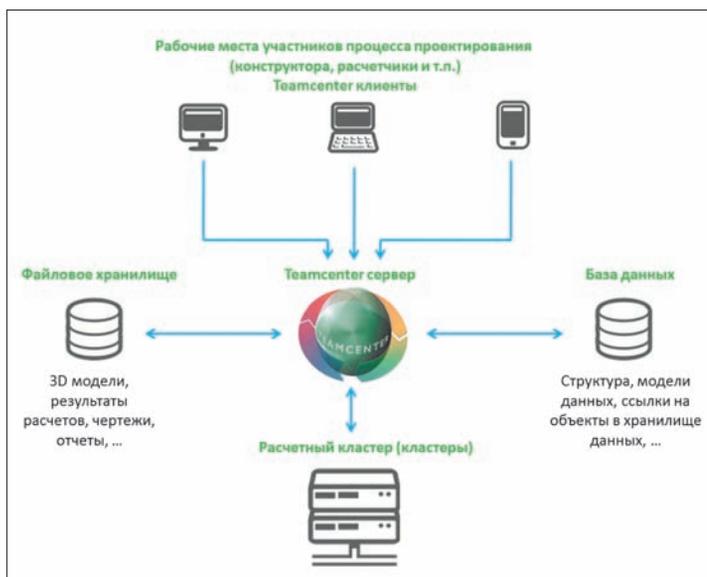


Рис. 1. Схема взаимодействия на основе *Teamcenter*

Основные компоненты предлагаемой архитектуры:

- Рабочие места участников процесса проектирования – персональные компьютеры, на которых инженеры производят подготовку модели, запускают не требующие больших ресурсов расчеты, создают отчеты и т.п. На этих местах установлены клиенты *Teamcenter*;
- Сервер *Teamcenter* – центр, где сосредоточена вся логика работы. Управляет базой данных, хранилищем данных и направляет задачи (*Teamcenter Dispatcher*) для решения в расчетный кластер;
- Файловое хранилище – пространство, где хранятся файлы конструкторской документации, 3D-модели, расчетные данные, отчеты и т.п. Все файлы проиндексированы и имеют уникальный номер;
- База данных – пространство, где хранятся описания структуры взаимодействия компонентов, модели данных, ссылки на объекты в хранилище данных с атрибутивной информацией (название объекта, технические характеристики, разработчик объекта и т.п.). В “ЦИАМ” используется СУБД *Oracle*;
- Расчетный кластер – высокопроизводительная вычислительная машина для проведения расчетов. Имеет свой собственный планировщик задач (*Slurm, Torque*).

Следует отметить, что все компоненты архитектуры будут развернуты на площадке Межведомственного суперкомпьютерного центра Российской академии наук (МСЦ РАН). Сотрудники ЦИАМ будут использовать вычислительные мощности МСЦ РАН удаленно, по выделенному каналу связи. На момент написания статьи часть пилотного проекта была сделана на инфраструктуре МСЦ РАН, а часть – внутри ЦИАМ.

По предложенной схеме также возможно обеспечить удаленный просмотр визуализированных результатов расчетов. Все процессы расчета и визуализации происходят на сервере, а на компьютер пользователя (клиента) передается только изображение, являющееся результатом работы сервера. Такой подход позволяет просматривать десятки и сотни гигабайт информации практически в реальном времени, используя при этом обычный персональный компьютер. Задержки визуализации зависят в основном от пропускной способности сети.

Модель данных

Модель данных в *Teamcenter* – это шаблон для структурирования хранимой информации с однозначным определением отношений (связей) между объектами (рис. 2).

Объекты – это типизированная единица информации. Примеры объектов: сборка, деталь, конечно-элементная модель, и так далее. Каждый объект содержит в себе **реvisions** (версии объекта). Конечные файлы (а точнее ссылки на них) хранятся в **наборах данных**.

Концепция работы подразумевает последовательную итерационную обработку следующих составных частей единого процесса расчета:

- Исходная модель (мастер-модель) – CAD-модель, которую разрабатывает конструктор;

- Идеализированная модель – ассоциативно связанная копия исходной модели, с которой работает расчетчик. Важно отметить, что при изменении исходной модели появляется предупреждение для расчетчика и предоставляется возможность автоматически изменить идеализированную модель;
- Конечно-элементная модель (**КЭМ**) – идеализированная модель, пространство которой заполнено конечными элементами;
- Расчетная модель – КЭМ с приложенными граничными условиями и свойствами материалов;
- Результаты расчета – наборы результатов расчета для конкретного вида анализа. Результаты могут храниться либо в файле, сформированном в виде наборов изображений определенных результатов, либо в виде легковесной *JT*-модели, являющейся стандартным форматом визуализации данных в *Teamcenter*.

Структура хранения информации

На данный момент (без использования *Teamcenter*) в ЦИАМ выбор способа хранения данных определяет инженер-расчетчик. Таким образом, каждый инженер хранит данные так, как ему удобно. Как было сказано выше, такой подход приводит к риску потери информации и проблемам при повторном использовании.

Хранение данных в *Teamcenter* осуществляется на отдельных томах в файловом хранилище (рис. 1). Любой файл, попадающий в *Teamcenter*, индексируется; ему присваивается уникальный идентификатор, который хранится в базе данных. Все объекты связаны между собой определенным типом связи (отношения). Такой подход гарантирует целостность информации, а индексирование обеспечивает быстрый доступ к нужной информации.

На рис. 3 показана работа инструмента “Обзор отношений”, который позволяет построить дерево связей между объектами. Из диаграммы видно, что элемент *X-2000 A0_sldasm* является сборкой с ревизией 01. Для данной сборки существуют расчеты *X-2000 Lat CFD* (идентификатор 00037, имеет две ревизии – *A* и *B*) и *X-2000 Lat Structural*

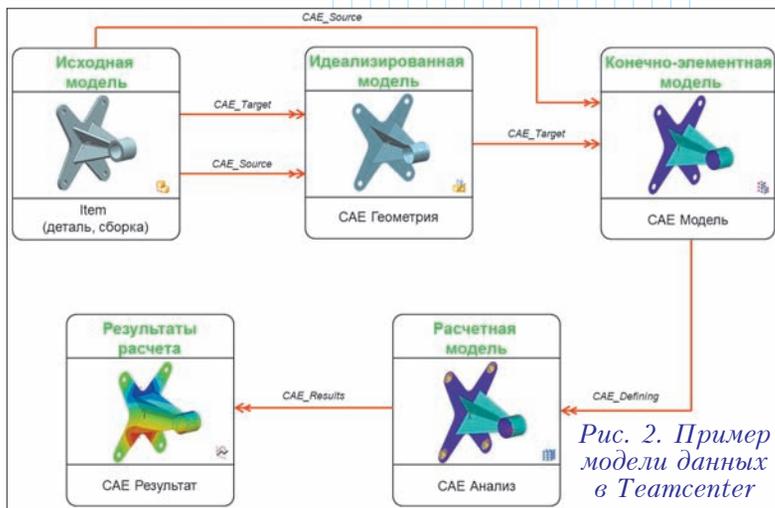


Рис. 2. Пример модели данных в *Teamcenter*

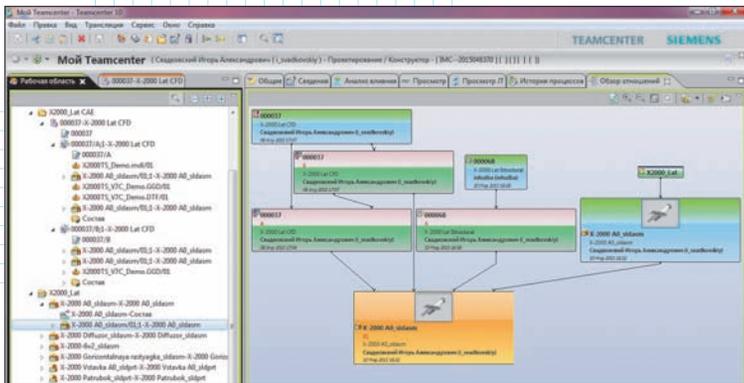


Рис. 3. Инструмент “Обзор отношений”

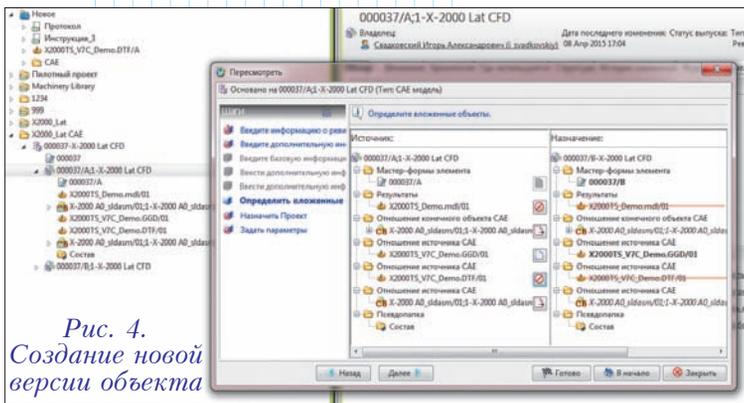


Рис. 4. Создание новой версии объекта

(идентификатор 00068, имеет ревизию А). Таким образом, пользователь, имеющий доступ к объекту, также может получить информацию обо всех выполненных (и выполняемых) анализах и их результатах.

Контроль версий расчетов

Благодаря Teamcenter, инженеры ЦИАМ получают возможность создания и управления версиями своих объектов. На рис. 4 показан механизм создания новой версии конечно-элементной модели.

Данное действие имеет название “Пересмотр ревизии”. При просмотре ревизии инженер может, либо создать копию того или иного набора данных (файлы), либо скопировать набор данных в новую ревизию как ссылку с текущей ревизии, либо не копировать вообще.

Такой подход позволяет наглядно и быстро создавать новые версии моделей для расчетов.

Наборы данных также имеют собственную версиюность. Например, при загрузке файла в набор данных, в котором уже хранится файл с таким же названием, оба файла продолжают существовать. Новый файл встанет на позицию актуального файла (новая версия), а предыдущий получит метку предыдущей версии. По умолчанию хранятся четыре версии файла, включая актуальную. При добавлении 5-й, самая ранняя версия удаляется с сервера. На рис. 5 показан список версий набора данных *kronstein_fem_i-A*: четыре версии (7, 8, 9 и актуальная).

Рабочие процессы и обеспечение целостности информации

Большое внимание в Teamcenter уделено информационной безопасности (избирательное управление доступом к данным) и обеспечению целостности информации. У каждого объекта есть свой владелец. В зависимости от организации рабочего процесса, пользователям присваиваются различные уровни доступа к объектам Teamcenter. Когда пользователь работает в системе с объектом (например, создает конечно-элементную модель детали), то этот объект автоматически блокируется, что исключает возможность его изменения другими участниками процесса. После завершения работы с объектом блокировка снимается. Кроме того, блокировка может быть поставлена вручную владельцем объекта.

В Teamcenter существует возможность создания формализованных рабочих процессов (*workflow*). **Рабочие процессы** – это процедуры разработки и согласования объектов системы Teamcenter. Такие процессы обычно уже устоялись на предприятии, и теперь нужно их формализовать и зафиксировать. Шаблоны процессов создаются на этапе внедрения Teamcenter, но они могут быть дополнены или изменены в дальнейшем администратором системы. При проведении процесса согласования объект автоматически блокируется, и при успешном завершении всего процесса ревизия объекта становится заблокированной – защищенной от изменения. Такой подход позволяет не допустить внесения коррекций в уже утвержденную информацию. Для корректировки необходимо создавать новую ревизию объекта, либо копию всего объекта (при наличии соответствующих прав доступа) для проведения исследований вне основного процесса проектирования. Также существует возможность выгрузки файла с ревизией на локальный компьютер (при наличии прав доступа).

В ходе выполнения рабочего процесса на каждом его этапе пользователь может вносить замечания. Например, если начальник отдела нашел ошибку в отчете, то он отклоняет утверждение этапа рабочего процесса и пишет замечание. Замечание может

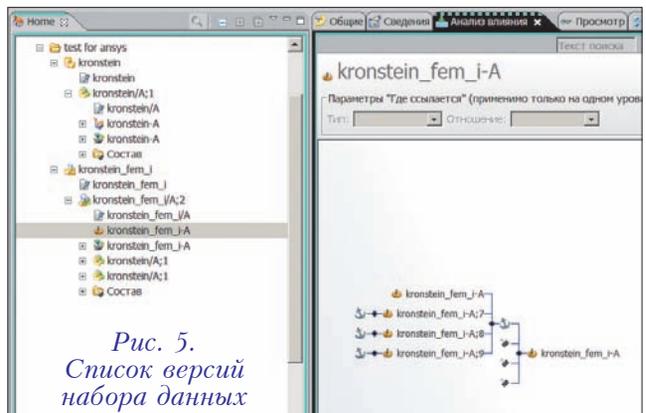


Рис. 5. Список версий набора данных

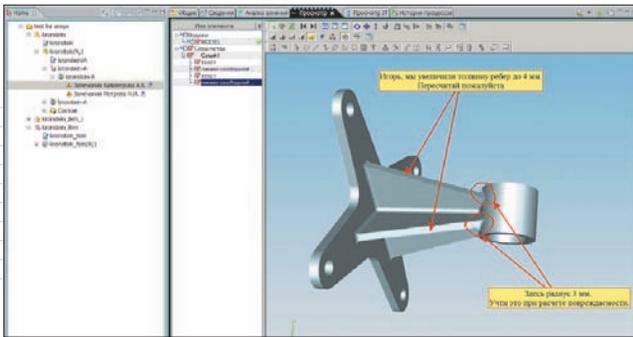


Рис. 6. Замечания пользователей

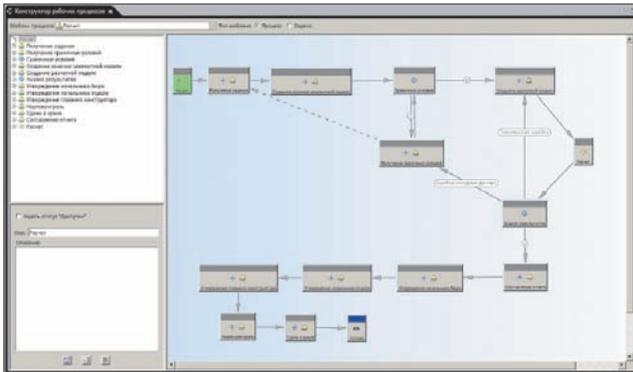


Рис. 7. Шаблон рабочего процесса “Расчет”

быть выполнено в виде текста, изображения либо 3D-модели с пометками, привязанными к конкретным элементам (рис. 6).

На рис. 7 показан пример шаблона рабочего процесса “Расчет”. Как видно из рисунка, предусмотрена возможность установки условий в процессах. Такой шаблон можно применять к различным видам расчетов, либо создавать свой шаблон (есть возможность наследования шаблонов) для определенных видов расчетов.

Интеграция с расчетными системами

Работу по управлению расчетными данными можно начать сразу после развертывания *Teamcenter*, однако такое управление будет ручным. Для подготовки расчета вначале придется выгрузить данные из *Teamcenter* в файловую систему, произвести работы по подготовке геометрии, построению конечно-элементной модели и

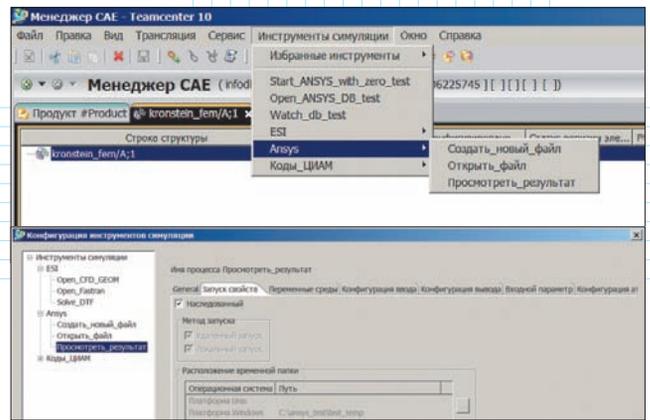


Рис. 9. Расположение “Инструментов симуляции” в интерфейсе *Teamcenter* (сверху) и пример диалогового окна настройки (снизу)

расчетной модели – а потом не забыть, куда (в какую ревизию *Teamcenter*) их надо положить обратно. Аналогичная проблема возникнет и с проведением расчетов (постановкой нескольких задач на расчет).

Компании зачастую применяют различные виды расчетного программного обеспечения, включая свои собственные расчетные коды. Таким образом, необходимо следить и за тем, чтобы расчет проводился в актуальной (требуемой) версии ПО.

Для решения этих задач в модуле *Simulation Process Management* предусмотрены “Инструменты симуляции”, каждый из которых представляет собой последовательность действий процесса импорта/контроля/экспорта файлов между *Teamcenter* и файловой системой. Эти инструменты позволяют автоматизировать такие процессы, исключить “человеческий фактор” и обеспечить использование заданной версии программного обеспечения для выполнения расчета. Принцип работы показан на рис. 8.

“Инструмент симуляции” осуществляет запуск программы (например, расчетного кода) посредством скрипта (*bat*-файл), который необходимо предварительно настроить, а также перемещает необходимые данные (указываются в настройках инструмента) во временную папку. Расчетная программа может находиться на сервере и вызываться удаленно – например, через *RDP*-подключение (*Remote Desktop Protocol*).

Таким образом, с одной и той же программой будут работать все пользователи, что исключает необходимость держать её копии у себя на компьютере.

На рис. 9 показано расположение “Инструментов симуляции” в интерфейсе модуля *Simulation Process Management*, а также пример диалогового окна настройки. Помимо настройки, с помощью диалогового окна (без программирования) можно писать *XML*-скрипты.

Папка в файловой системе может находиться как на локальном компьютере пользователя, так и на удаленном компьютере. *Teamcenter* устанавливает связь между



Рис. 8. Принцип работы “Инструмента симуляции”

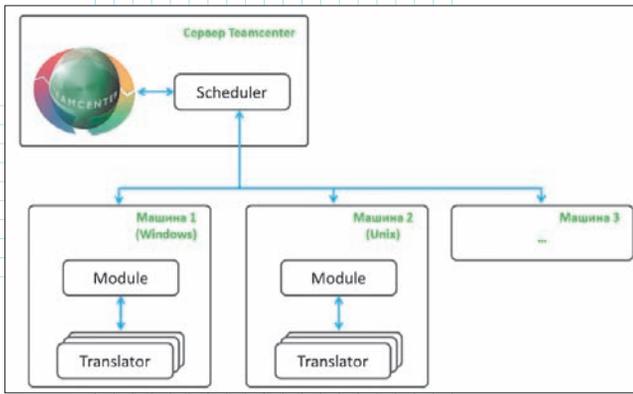


Рис. 10. Упрощенная архитектура модуля Dispatcher

реvisией элемента в своей базе и временной папкой и затем отслеживает запущенный процесс расчета. После проведения расчета необходимые файлы (указанные в настройках) передаются обратно в *Teamcenter* – либо под новую ревизию элемента (например, “CAE Результат”), либо под набор данных в существующей ревизии.

Система *Teamcenter* позволяет распараллеливать задачи посредством модуля *Dispatcher*. С его помощью осуществляется удаленное выполнение заданий, сформированных “Инструментом симуляции”, а также постановка этих заданий в очередь с последующим контролем выполнения. В основу модуля *Dispatcher* положен механизм *Java RMI (Remote Method Invocation)*, который позволяет вызывать метод удаленного объекта. Упрощенная архитектура модуля представлена на рис. 10.

Основными компонентами *Dispatcher* являются:

- *Scheduler* – планировщик задач, сервер *Dispatcher*;
- *Module* – клиент *Dispatcher*, отслеживает выполнение задания;
- *Translator* – осуществляет трансляцию данных в понятный формат для компонента *Module*.

В рамках пилотного проекта в ЦИАМ была продемонстрирована работа модуля *Dispatcher* для постановки расчетов в очередь на удаленном сервере (рис. 11). Колонка “Сервис” отображает название расчетного кода и запускаемого метода. В этой же колонке можно отображать и версию программного обеспечения.

Примеры заданий, сформированных “Инструментом симуляции”:

- открытие файла в среде *ESI CFD-GEOM* для создания конечно-элементной модели и последующая загрузка этого файла обратно в *Teamcenter*;
- открытие файла в среде *ESI CFD-FASTRAN* для создания расчетной модели;

Состояние	Пользователь	Сервис	Идентификатор задания	Дата создания	Приоритет	Статус	Дата начала	Дата окончания	Приоритет	Тип
COMPLETE	SIEMENS	Open_CFD_GEOM	U209a3810x55996b241C2	12-май-2015 11...	10	kront...	12-май-2015 13...	13-май-2015 17...	Средний	db
TERMINAL	SIEMENS	Solve_DIT	U209a3810x55996b241C	13-май-2015 1...	10	kront...	13-май-2015 17...	13-май-2015 17...	Средний	db
COMPLETE	SIEMENS	Open_Fastran	U209a3810x55996b2432	18-май-2015 1...	10	kront...	18-май-2015 12...	18-май-2015 12...	Средний	db
PENDING	SIEMENS	Solve_DIT	U209a3810x55996b2449	18-май-2015 1...	10	kront...	18-май-2015 12...	18-май-2015 17...	Средний	db

Рис. 11. Панель модуля Dispatcher

- постановка расчетной модели в очередь на расчет на удаленном сервере.

Заключение

На данный момент управление процессом расчета полностью лежит на плечах сотрудников ЦИАМ, которые занимаются расчетами. Выполняется это управление в основном вручную: данные хранятся на локальных компьютерах, версияность обеспечивается путем копирования информации в другие папки и т.д. Информацию, после завершения расчета на кластере, надо вручную перемещать на локальный компьютер для проведения анализа, что приводит к временным задержкам.

Как показал пилотный проект, при помощи модуля *Simulation Process Management* станет возможным автоматизировать процессы перемещения больших объемов данных. Так, например, данные будут копироваться с кластера на компьютер инженера-расчетчика сразу после завершения расчета в фоновом режиме, и при завершении копирования пользователю будет приходиться оповещение (по e-mail, либо в окне *Teamcenter*).

Благодаря автоматическому контролю (“Инструменты симуляции”), обеспечивается целостность данных. Система *Teamcenter* сама следит за тем, где и в каком состоянии находится информация (расчетная модель, расчетный файл и т.п.). При завершении работы с данными на локальном компьютере *Teamcenter* автоматически загружает файлы из локального компьютера в свою ревизию (согласно настройкам “Инструмента симуляции”), либо выводит сообщение об ошибке (информация при этом не теряется).

“Инструменты симуляции” позволяют исключить такой фактор, как использование неактуальной версии ПО для определенного расчета. В модуле *Simulation Process Management* формируется список расчетных программ (как коммерческих продуктов, так и собственных разработок), и для запуска инженеру-расчетчику необходимо лишь выбирать из этого списка необходимую версию.

Кроме того, в *Teamcenter* хранится единая база материалов. Расчетчик ссылается на свойства материала в базе – так исключается фактор двойственности информации: её источник всегда один и находится в одном месте. При отсутствии необходимого материала его добавляют в базу.

Поддержка версияности расчетов является необходимым условием при проведении сложных многокомпонентных исследований. Благодаря применению *Teamcenter* стало возможным отслеживать время выполнения этапов заданий, в каком состоянии (статусе) пребывает стадия рабочего процесса. Появилась возможность создавать однозначные связи между конструкторской моделью и всеми видами расчетов (и их версиями), которые были проведены или проводятся для этой модели (“Обзор отношений”).

Таким образом, применение функционала *Teamcenter* для управления расчетными данными позволяет обеспечить стандартизацию процессов разработки и предоставить заинтересованным специалистам выборочный доступ к нужным уровням информации – следовательно, уменьшить риск потери информации и повысить управляемость комплексом расчетов. 🤖