

# Системы управления расчётными обоснованиями — новый виток PLM уже начался

А.А. Кечков, С.В. Сумароков, А.Ф. Колчин (ООО “КЭЛС-центр”)

## Введение

Современные рыночные условия диктуют предприятиям необходимость перехода от дорогостоящих и трудоемких натуральных испытаний к имитационному (расчетному) моделированию изделий, объектов и процессов, происходящих в них на всех этапах жизненного цикла (рис. 1). Это способствует увеличению интереса к инструментам инженерного анализа – CAE-системам, в том числе, со стороны российских предприятий. Такой тренд будет сохраняться и в дальнейшем, поскольку совершенствование расчетных систем и систем автоматизированного проектирования для подготовки инженерных и расчетных моделей приводит к повышению точности расчетных обоснований и позволяет расширять области их применения.

В то же время, постоянно увеличивающийся объем и количество расчетов, помимо очевидной пользы, сопровождаются рядом проблем, связанных с отсутствием качественной информационной поддержки и организации процессов проведения расчетных обоснований различных инженерных решений. Для обеспечения такой поддержки на предприятиях должны создаваться **информационные системы управления расчетными обоснованиями**, являющиеся неотъемлемой частью единой PLM-среды предприятия.

В предыдущих выпусках *Observer*'а (“К вопросу о классификации MCAE-систем”, #2/2009; “Управление расчетными данными при помощи модуля *Simulation Process Management* системы *Teamcenter*”, #4/2015) уже затрагивалась тема предназначения таких систем, и приводились примеры программных платформ для их создания. В данной статье приводится детальный анализ требований к системе управления расчетными обоснованиями, предлагаются подходы к её построению и реализации, а также описывается её место в единой информационной среде предприятия. Статья призвана, во-первых, более подробно раскрыть актуальность создания и внедрения такой системы, и, во-вторых, показать комплексность подхода, который должен быть использован в данном, относительно новом и активно развивающемся направлении PLM.

## Актуальность вопроса

В ходе проведения расчетных обоснований возникает необходимость проработки

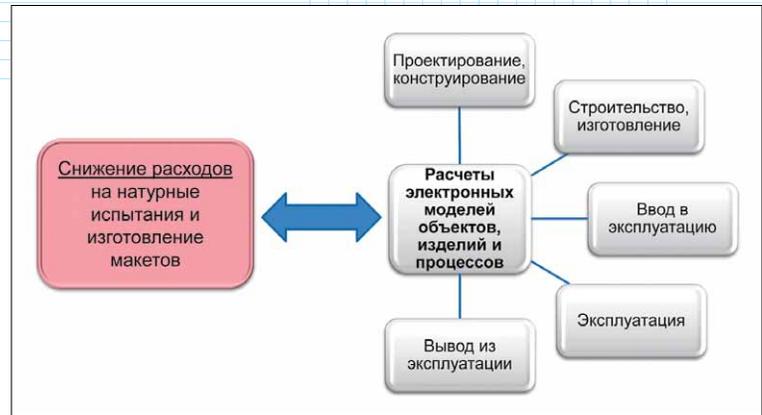


Рис. 1. Инженерные расчеты на этапах жизненного цикла объектов и изделий

разных вариантов конструкций и технологий, применения альтернативных расчетных методик. В результате формируются большие объемы данных, и возникают задачи по их хранению, управлению, структуризации и анализу. Кроме того, процессы проведения расчетных обоснований состоят из значительного количества этапов, в которых могут быть задействованы разные подразделения предприятия и могут применяться различные расчетные системы и вычислительные ресурсы (рис. 2).

Существующая в настоящее время на большинстве предприятий технология проведения расчетных обоснований характеризуется следующими основными проблемами:

1 Расчетные данные для разных вариантов объектов, изделий и процессов в большом количестве хранятся у каждого инженера-расчетчика на



Рис. 2. Современные тенденции в области расчетных обоснований

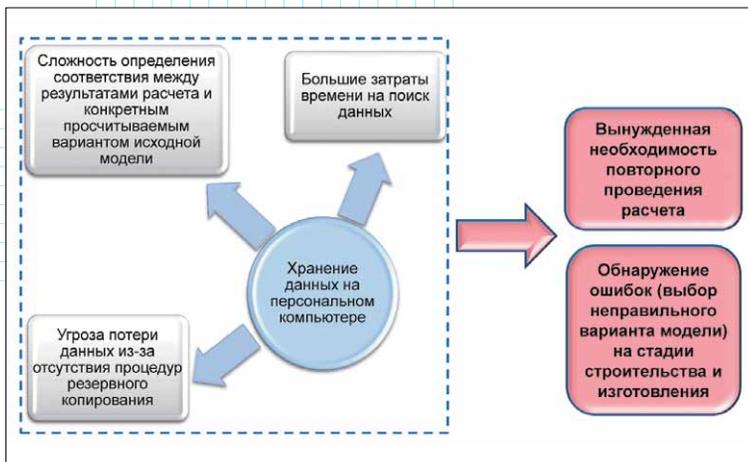


Рис. 3. Проблемы и следствия хранения расчетных данных на локальном компьютере исполнителя

локальном компьютере без какой-либо структуризации и резервного копирования. Помимо угрозы потери всех данных из-за неисправностей жесткого диска компьютера, очень часто инженер-расчетчик тратит много времени на поиск нужных расчетных данных, причем, иногда вообще не может их найти или понять, какой был результат расчета того или иного варианта – в результате он вынужден тратить свое время на повторное проведение того же самого расчета. Нередки ситуации, когда из-за отсутствия явного соответствия рассчитываемых вариантов и результатов расчета инженер выбирает неправильный вариант модели объекта или изделия. В результате, ошибка обнаруживается на стадии изготовления или строительства, что, в свою очередь, влечет большие временные и финансовые затраты на переделку (рис. 3). Аналогичные проблемы возникают, например, при увольнении сотрудника, когда результаты расчетов, зачастую весьма трудоемких, пропадают вместе с исполнителем, или же ими невозможно воспользоваться из-за отсутствия должной структуризации (или вообще какой-либо структуризации 😊).



Рис. 4. Проблемы и следствия использования многообразия расчетных систем и вычислительных ресурсов

2 На предприятии могут использоваться различные расчетные системы:

- коммерческие расчетные системы, поставляемые как зарубежными, так и российскими производителями. Как правило, они напрямую интегрированы с CAD-системами того же производителя. Примеров использования таких систем на российских предприятиях достаточно много;

- отраслевые расчетные системы, разрабатываемые различными проектными институтами для нужд конкретной отрасли или моделирующие определенные процессы. Такие системы широко применяются в атомной энергетике, самолето- и ракетостроении, судостроении, радиоэлектронике и других отраслях промышленности;

- системы собственной разработки, созданные силами предприятия или по его заказу с целью моделирования специфических процессов или объектов. Такие системы широко применяются на предприятиях, изделия которых работают в особых условиях или с протеканием сложных физических процессов.

В случае применения в рамках комплексного расчетного обоснования разных расчетных систем (например, для моделирования разных показателей) инженер-расчетчик вынужден тратить время на изучение соответствующих методик работы (механизмов запуска, правил указания файлов для расчета и т.д.) с каждой расчетной системой в отдельности; при этом иногда такие методики не очень хорошо описаны или вообще не представлены. Схожая проблема связана с необходимостью изучения механизмов проведения расчетов с использованием различных вычислительных ресурсов – персональных компьютеров для простых проверочных расчетов и супер-ЭВМ для ресурсоемких расчетов. При работе с супер-ЭВМ необходимо учитывать особенности взаимодействия с используемым планировщиком заданий (системой управления очередями заданий), обладать навыками работы с операционными системами семейства UNIX и специализированными программами для передачи входных данных для расчета и сохранения его результатов. Всё это приводит к увеличению требований к квалификации инженера-расчетчика и затрат времени на проведение расчетного обоснования (рис. 4).

3 Взаимодействие сотрудников и обмен данными на разных этапах проведения расчетного обоснования происходят через промежуточный материальный носитель (путем передачи данных “на флешке”) или через электронную почту. Это приводит к разногласиям между сотрудниками (“я тебе передавал” – “а я не получал”, “положил на сервер” – “я не вижу” и т.д.), многочисленным нестыковкам и несоответствию конечных результатов расчетов и исходных

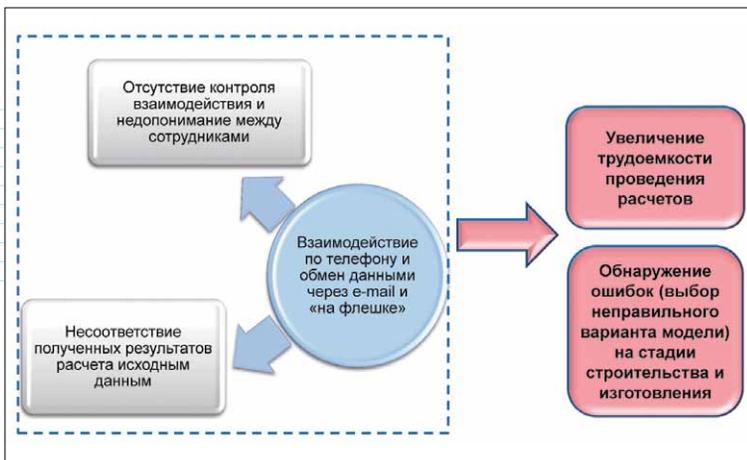


Рис. 5. Проблемы и следствия “традиционного” способа обмена информацией

просчитываемых вариантов моделей объектов, изделий и процессов (рис. 5).

4 На предприятиях могут существовать определенные методики проведения сложных расчетных обоснований, основанные на последовательном или параллельном запуске нескольких “решателей” расчетных систем. При этом структуры расчетных данных могут значительно отличаться друг от друга для разных расчетных систем и типов расчетов, а для выполнения расчетов может потребоваться выполнение дополнительных действий – по конвертации форматов данных, передаче результатов расчетов одного решателя к другому с учетом используемых структур данных и т.д. Методики проведения таких расчетных обоснований, как правило, нигде не зафиксированы, и их знает ограниченное число сотрудников, которые выполняют все необходимые действия вручную. Это, во-первых, снова влечет за собой лишние затраты времени, а, во-вторых, может вызывать необходимость разработки методики проведения расчетного обоснования “с нуля” при выполнении расчетов другими сотрудниками.

Решение перечисленных выше проблем возможно за счет перехода к современной технологии управления процессами выполнения инженерных расчетов и управления расчетными данными. Такая технология реализуется путем создания и внедрения на предприятии соответствующей *автоматизированной системы управления расчетными обоснованиями (АСУРО)*, основным назначением которой является:

- автоматизация управления расчетными данными (сбор, структурирование, централизованное и защищенное хранение, поиск, подготовка для визуализации и т.д.);
- автоматизация и организация совместной работы участников процессов расчетных обоснований, в том числе, территориально удаленных друг от друга;
- унификация механизмов для проведения расчетов с использованием различных расчетных

систем (в том числе, собственной разработки) и вычислительных ресурсов;

- сохранение и автоматизация методик моделирования (процедур расчетного обоснования).

## Требования к функциональности АСУРО

Довольно часто в своей работе мы сталкиваемся с ситуацией, когда руководители подразделений и инженеры-расчетчики узко понимают функции, которыми должна обладать система управления расчетными обоснованиями. Чаще всего говорится только о функциях по хранению и согласованию расчетных данных, и что для обеспечения их выполнения достаточно уже имеющейся системы управления данными об изделиях или объектах (PDM-системы). Или, вообще, можно услышать заявление, что на предприятии уже “всё есть” и “управление расчетными данными организовано”. ☺ Не хотелось бы кого-то расстраивать, но, на наш взгляд, это не всегда так.

Для эффективного решения всех описанных выше проблем, несмотря на кажущуюся их простоту, АСУРО должна обладать целым комплексом функциональных возможностей (рис. 6). Ниже сделана попытка в сжатой форме описать эти требования.

Конечно же, в первую очередь, АСУРО должна иметь защищенное хранилище расчетных данных с возможностями управления версиями и атрибутивной информацией. Под расчетными данными понимается следующая информация:

- исходные данные для расчетного обоснования в виде электронных 2D/3D-моделей и/или текстового описания (например, ТЗ на расчет), полученные от проектировщика, конструктора или технолога;
- расчетные модели (сформированные путем упрощения исходных моделей, указания граничных условий и т.п.) и входные файлы (с набором необходимых параметров) для расчета;

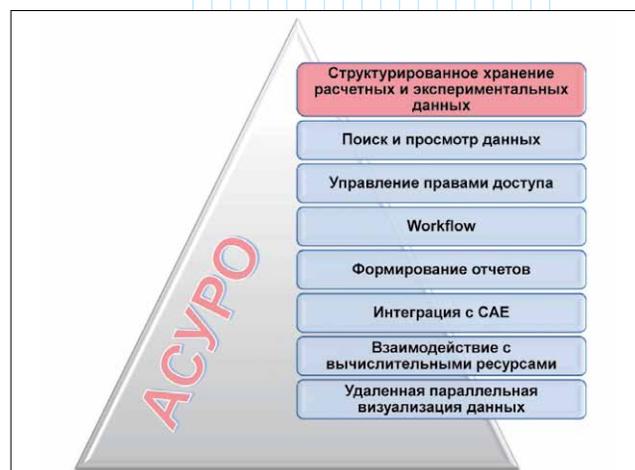


Рис. 6. Основные функциональные возможности АСУРО

- результаты расчета, сформированные на выходе после завершения работы решателя расчетной системы;
- обработанные результаты расчета (графики, изображения, отчетные материалы).

Однако, хранение данных должно быть организовано не просто в виде папки с “кучей” разных файлов, как в проводнике *Windows*. В Системе должна обеспечиваться структуризация, должны быть возможности ручного и автоматизированного установления взаимосвязей между версиями расчетных данных и связей с расчетными системами (конкретными версиями), с помощью которых они получены. Естественно, должны быть возможности по разграничению прав доступа в зависимости от статусов расчетных данных и структуры хранения данных по различным классификационным признакам, исходя из специфики предприятия: по подразделениям, по предметной области расчета, по выполняемым проектам и т.д.

Версионное хранилище, помимо непосредственно расчетных, должно позволять размещение в Системе различных экспериментальных данных, являющихся исходными данными для проведения расчетного обоснования или данными, необходимыми для оценки достоверности полученных результатов расчетов.

Для отслеживания взаимосвязей и сравнения с исходными данными может потребоваться возможность хранения в Системе расчетной электронной структуры изделия или объекта (**ЭСИ**), сформированной путем анализа и упрощения исходной ЭСИ, разработанной конструктором или проектировщиком. В отдельных случаях должны быть реализованы функции автоматизированного формирования расчетной ЭСИ из исходной по заранее настроенным правилам.

Обязательным требованием является возможность интеграции АСУРО с различными расчетными системами, как коммерческими, так и собственной разработки, которые часто применяются на предприятии. Под интеграцией с расчетными системами понимается обеспечение следующих возможностей:

- унифицированный автоматизированный запуск расчетных систем (решателя) на различных вычислительных ресурсах (персональном компьютере и удаленных супер-ЭВМ) с передачей всех необходимых входных данных. При этом должна поддерживаться возможность взаимодействия с планировщиками заданий, используемыми на супер-ЭВМ (*TORQUE, SLURM, PBS* и др.);
- мониторинг состояния расчетов (особенно актуально для длительных ресурсоемких расчетов) и автоматическое сохранение в хранилище полученных расчетных данных (в том числе, промежуточных);
- возможность автоматического заполнения атрибутов расчетных данных при их загрузке в хранилище для упрощения и ускорения дальнейшего анализа и поиска.

Интеграция с расчетными системами и автоматизация взаимодействия с вычислительными ресурсами позволяют значительно упростить и ускорить работу инженера-расчетчика с расчетными данными и запуск расчетов.

В рамках интеграции с расчетными системами должно быть организовано взаимодействие не только с самими решателями, но и со средствами подготовки входных данных для расчета и обработки результатов расчетов (эти модули принято называть пре- и постпроцессорами). Для обеспечения максимально детального и точного моделирования пре- и постпроцессоры могут обрабатывать очень большие объемы данных (сотни мегабайт и гигабайт) – например, результаты расчета моделей с миллионными и миллиардными расчетными сетками. Обработку таких объемов данных невозможно выполнить на обычном персональном компьютере. Поэтому в настоящее время стали активно применяться средства и механизмы подключения специализированных вычислительных ресурсов (мощных графических станций) и запуска на них пре-/постпроцессоров для работы с данными в параллельном режиме. Интерактивная работа пользователей в таком режиме реализована за счет организации удаленных сессий к вычислительным ресурсам и передачи на компьютер пользователя только изображения, а не самих обрабатываемых данных. Это позволяет снизить требования к рабочим местам инженеров-расчетчиков. Важно, чтобы возможность использования такой технологии и запуска работы с пре-/постпроцессорами в режиме удаленной визуализации была реализована непосредственно в интерфейсе АСУРО – чтобы обеспечить работу с единой базой данных и избежать лишних действий инженера-расчетчика по работе в разных программах.

Технология работы с пре-/постпроцессорами в режиме удаленной визуализации в рамках АСУРО должна обеспечивать многопользовательский режим, то есть одновременное подключение к графическим вычислительным ресурсам нескольких пользователей. Примеры такой реализации уже есть, и они вызывают большой интерес у сотрудников инженерных и ИТ-подразделений предприятий.

При необходимости, должна быть реализована глубокая интеграция с пре-/постпроцессорами, обеспечивающая прямое (без промежуточного сохранения на локальный диск компьютера) чтение и сохранение данных в хранилище АСУРО из интерфейса пре-/постпроцессора.

Для упрощения просмотра расчетных данных, без необходимости установки специализированных средств (пре-/постпроцессоров), в рамках Системы должны быть возможности быстрого просмотра и визуализации данных в наиболее распространенных для расчетных обоснований форматах.

Для организации эффективного взаимодействия участников и контроля процессов выполнения расчетных обоснований (чему, по понятным причинам, больше всего сопротивляются

инженеры-расчетчики 😊) в соответствии с определенными регламентами требуется внедрение специализированной функциональности по управлению бизнес-процессами (потоками работ – *workflow*). Эта функциональность реализуется за счет настройки шаблонов потоков работ и запуска конкретных процессов на их основе. Использование шаблонов позволяет автоматизировать различные методики моделирования для проведения расчетных обоснований, обеспечить автоматический запуск расчетных систем и необходимых вспомогательных модулей на вычислительных ресурсах в определенной последовательности.

Кроме того, должна быть обеспечена возможность по автоматизированному формированию, на основе содержащейся в Системе информации, различных аналитических отчетов (результаты расчета в необходимом представлении, сравнение результатов разных расчетов и т.п.).

Конечно, конкретный набор актуальных требований к Системе должен определяться индивидуально, исходя из специфики проведения расчетных обоснований на предприятии: задействованных подразделений, применяемых расчетных систем, используемых вычислительных ресурсов, информационной инфраструктуры и т.д. Для одних предприятий достаточно организовать эффективное хранение и управление расчетными данными, а для других необходима реализация комплексной Системы с обеспечением большинства из указанных выше возможностей.

### Обобщенная схема функционирования

АСУРО должна быть построена на базе клиент-серверной архитектуры, подразумевающей единую базу данных, общие высокопроизводительные вычислительные ресурсы и подключение пользователя к системе через клиентский интерфейс. В соответствии с современными тенденциями, наиболее эффективной является реализация клиентского веб-интерфейса, что позволяет подключаться к системе с помощью обычного веб-браузера из любых точек мира и с разных рабочих мест.

Клиент-серверная архитектура и доступ через веб-интерфейс также позволяют произвести развертывание и обеспечить функционирование АСУРО как в рамках одного предприятия, так и в рамках группы предприятий или холдинга (например, для обеспечения возможности централизованного использования общих вычислительных ресурсов сотрудниками разных предприятий).

Обобщенная схема взаимодействия основных компонентов АСУРО представлена на рис. 7.

В общем случае процесс проведения расчетных обоснований в рамках Системы можно представить в виде простой последовательности следующих шагов:

1 инженер-расчетчик загружает в Систему исходные данные для расчета (например, геометрическую 3D-модель) вручную или путем прямой загрузки из внешних источников данных (например, PDM-системы);

2 инженер-расчетчик загружает из базы расчетных данных и открывает исходные данные в специализированном препроцессоре, формирует расчетную модель и входные файлы для решателя расчетной системы, которые должны быть сохранены в базу расчетных данных с установлением связи с исходными данными;

3 непосредственно из интерфейса программной платформы Системы инженер-расчетчик выполняет запуск расчета на локальном (персональном компьютере) или удаленном вычислительном ресурсе с указанием ранее сформированных и сохраненных входных данных. По окончании расчета результаты автоматически сохраняются в базе расчетных данных с созданием связей с входными данными;

4 инженер-расчетчик осуществляет обработку результатов расчета в постпроцессоре и сохраняет отчетные материалы в базе расчетных данных. При этом, постпроцессор (так же, как и препроцессор) может быть запущен из интерфейса программной платформы Системы на персональном компьютере или на специальных удаленных высокопроизводительных графических станциях.

Указанные шаги должны выполняться в соответствии с согласованными регламентами проведения расчетных обоснований. Причем шаги могут выполняться независимо друг от друга, либо в рамках заранее настроенного потока работ (*workflow*), который, помимо автоматизации действий, методик расчета и взаимодействия между участниками расчетного обоснования, обеспечивает возможность согласования и автоматическое изменение статуса расчетных данных.

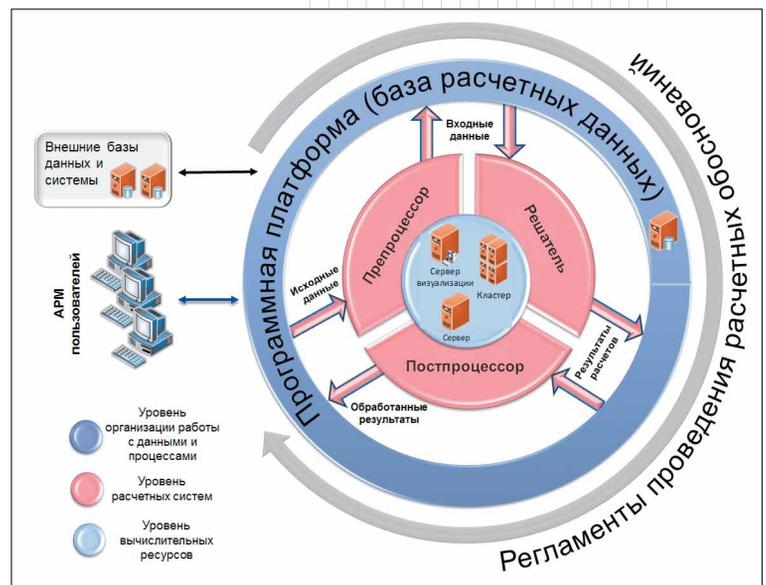


Рис. 7. Схема взаимодействия основных компонентов АСУРО

## Программная платформа

В соответствии с мировым опытом и с учетом текущих тенденций, АСУРО должна создаваться на базе программной платформы, относящейся к классу **SPDM**-систем (англ. *Simulation Process and Data Management*). В таких системах по умолчанию присутствует базовая функциональность для реализации описанных выше функциональных требований.

По сравнению с основными составляющими *PLM* для поддержки процессов разработки проектных, конструкторских и технологических данных (*PDM, CAD, CAM, CAE, CAPP, MPM*), разработкой *SPDM*-систем производители программного обеспечения начали заниматься относительно недавно (с конца прошлого десятилетия). К настоящему времени разработано несколько *SPDM*-систем для управления расчетными данными и обоснованиями; наиболее известными и распространенными за рубежом и в России на сегодняшний день являются:

- *Teamcenter for Simulation (Siemens PLM Software)*;
- *ENOVIA SLM (Dassault Systèmes)*;
- *ANSYS EKM (ANSYS)*;
- *Simmanager (MSC Software)*.

Первые две из указанных *SPDM*-систем являются функциональными модулями *PLM*-систем от соответствующих вендоров.

Несмотря на наличие базовой функциональности в программных платформах, для создания функционирующей АСУРО и её внедрения на конкретном предприятии (так же, как и для внедрения *PDM*-систем) необходимо выполнить определенный перечень работ по настройке *SPDM*-системы. При этом уровень адаптации *SPDM*-системы для конкретного предприятия, в зависимости от предъявляемого набора требований и специфики проведения расчетных обоснований, может быть разным: от простой настройки структуры данных, прав доступа пользователей и потоков работ до глубокой кастомизации, подразумевающей доработку (как правило, для упрощения) интерфейса *SPDM*-системы и разработку специализированных модулей для интеграции с расчетными системами и вычислительными ресурсами, используемыми на предприятии.

Возможен и вариант создания системы управления расчетными обоснованиями на базе *PDM*-системы, позволяющей выполнить настройки информационной модели (типов данных, атрибутов, связей) для работы с расчетными данными. Однако реализация функциональности для интеграции с расчетными системами и взаимодействия с вычислительными ресурсами в этом случае может потребовать гораздо больших ресурсов и времени, чем создание системы на базе специализированной программной платформы.

## Место в информационной среде предприятия

Расчетные обоснования стали неотъемлемой частью общего процесса управления жизненным циклом объектов и изделий. Поэтому АСУРО по

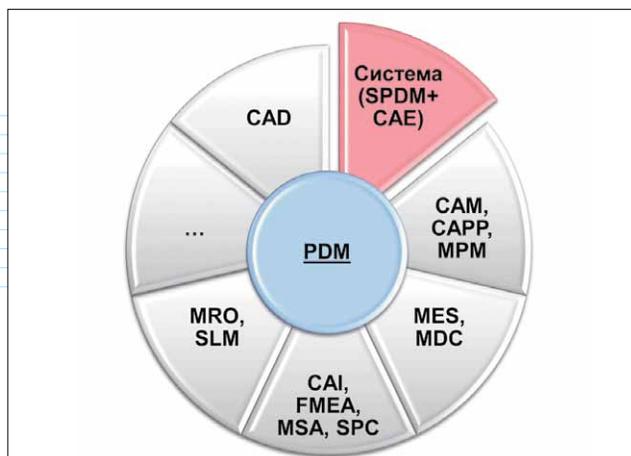


Рис. 8. Место Системы управления расчетными обоснованиями в *PLM*-среде предприятия

праву должна являться одним из компонентов единой *PLM*-среды предприятия, укрупнено представленной на рис. 8.

Как правило, вся информация об объектах и изделиях должна храниться в *PDM*-системе. При этом определенная информация, размещенная в *PDM*-системе, является исходными данными для проведения расчетных обоснований. Соответственно, должно быть организовано взаимодействие *PDM*-системы и АСУРО, в рамках которого должны обеспечиваться следующие основные возможности:

- передача исходных данных из *PDM*-системы в АСУРО;
- отслеживание в АСУРО (с получением соответствующих уведомлений) изменений исходных данных, которые могут быть произведены в *PDM*-системе во время выполнения расчетов. Это позволит инженерам-расчетчикам всегда быть уверенными в том, что они работают с актуальными исходными данными;
- передача из АСУРО и сохранение в *PDM*-системе итоговых обработанных результатов расчетов в привязке к исходным данным.

Интеграция может реализовываться на уровне передачи данных или же с синхронизацией соответствующих потоков работ (*workflow*) в двух системах. Использование интеграционного решения должно обеспечить формирование в *PDM*-системе единой информационной модели изделий и объектов.

При реализации АСУРО на базе *PDM*-системы, для формирования единой информационной модели вместо разработки интеграционного решения достаточно будет организовать взаимосвязь расчетных данных с исходными данными внутри *PDM*-системы.

## Эффект от внедрения

В завершении хотелось бы кратко остановиться на эффектах, которые можно получить от внедрения АСУРО. Реализация изложенных выше требований позволит создать единую информационную среду для проведения расчетных обоснований,

использование которой должно обеспечить для предприятия:

- повышение общего качества и достоверности расчетных обоснований;
- сокращение затрат времени на взаимодействие между подразделениями предприятия в рамках проведения расчетных обоснований;
- сокращение трудозатрат на проведение расчетов;
- сокращение трудозатрат на внедрение новых расчетных систем и вычислительных ресурсов, а также на обучение пользователей их использованию, за счет унификации механизмов взаимодействия с ними;
- гарантированную сохранность результатов расчетных обоснований (как интеллектуальной собственности предприятия);
- обеспечение преемственности инженерного и научного опыта и знаний.

В конечном итоге указанные эффекты от создания и внедрения системы управления расчетными обоснованиями направлены на снижение рисков возникновения ошибок и повышение качества изделий и объектов, ускорение их вывода на рынок и сокращение затрат на производство/строительство и сопровождение в эксплуатации.

По нашему мнению, руководители предприятий всё больше начинают осознавать это,

подтверждением чего являются первые инициативы и проекты по внедрению систем управления расчетными обоснованиями на российских предприятиях. В дальнейшем интерес к таким системам и количество внедрений АСУРО будут только возрастать.

### Заключение

Настоящая статья открывает цикл публикаций, посвященных информационной поддержке процессов проведения расчетных обоснований и сформированных на основе практического опыта специалистов компании “КЭЛС-центр” в данной области. В частности, сотрудники “КЭЛС-центра” принимают участие в разработке на базе ANSYS EKM специализированной системы управления расчетными данными и обоснованиями для проектного направления “Прорыв”, реализуемого Госкорпорацией “Росатом” в целях создания и обоснования безопасности новых типов АЭС с реакторами на быстрых нейтронах и замкнутым ядерным топливным циклом.

В следующих выпусках журнала мы планируем представить конкретные решения по основной функциональности систем управления расчетными обоснованиями, их интеграции с PDM-системами и пр., разработанные специалистами ООО “КЭЛС-центр”. 👁



**КЭЛС-ЦЕНТР**  
корпоративные электронные системы

## КОМПЛЕКСНЫЕ PLM-ПРОЕКТЫ

Выбор платформы

Поставка лицензий

Сопровождение

Проектирование

Обучение

Настройка и интеграция

АВТОМАТИЗАЦИЯ  
УПРАВЛЕНИЯ  
РАСЧЕТНЫМИ  
ОБОСНОВАНИЯМИ  
«ПОД КЛЮЧ»

Россия, Москва,  
Дмитровское шоссе, 107, офис 117

info@calscenter.ru  
www.calscenter.ru

Тел. +7(499) 707-17-59  
Тел./факс +7(495) 485-65-72