

Расчетно-экспериментальная обработка изделий с применением платформы *Simcenter*

Станислав Пименов (компания *NS Labs*)

Учет влияния внешних воздействующих факторов на работу изделия является важной составляющей получения надежной и конкурентоспособной продукции. Для этого проводятся как расчетные оценки, так и экспериментальная обработка изделий, что стало стандартными составляющими современного процесса проектирования. Расчетная обработка, как правило, производится с целью минимизации отказов изделия, которые могут произойти при испытаниях. Экспериментальная обработка в виде натурных испытаний имеет целью получить окончательные доказательства в отношении работоспособности, прочности и надежности изделия.

Как правило, процессы расчетной и экспериментальной обработки разделены, и ими занимаются разные подразделения предприятия. Мало того, до сих пор бытует юмористический тезис: “Расчетчику не верит никто, кроме расчетчика, а испытателю верят все, кроме испытателя”. И в этом есть доля истины. Действительно, расчетчик субъективно принимает решение о математической постановке расчетной модели изделия. Таким образом, результат расчетной обработки в значительной степени зависит от квалификации расчетчика и достоверности параметров модели (построение сетки, свойства материалов, параметры сварных соединений и пр.). Результаты расчета могут значительно отличаться от результатов испытаний. Здесь можно уже говорить о таком понятии, как искусство создавать корректные расчетные модели изделий.

В работе испытателей тоже имеются субъективные моменты: выбор испытательной оснастки; замена реального режима нагружения на эквивалентный (который можно реализовать на имеющемся испытательном оборудовании), выбор мест расположения датчиков и т.п. Действительно, вопросы и проблемы есть. Давайте рассмотрим, что будет, если объединить два процесса и перейти к понятию “расчетно-экспериментальная обработка изделий”.

Платформа *Simcenter*

В качестве инструмента мы будем использовать платформу *Simcenter* от компании *Siemens Digital Industries Software*.



Рис. 1. Схематическое представление платформы *Simcenter*

Платформа *Simcenter* включает три составляющих (рис. 1), которые обеспечивают:

- 1) *System Simulation* – системное моделирование;
- 2) *CAE Simulation* – конечно-элементное моделирование;
- 3) *Physical Testing* – проведение испытаний.

Составляющая для системного инжиниринга реализована в виде программного продукта ***Simcenter Amesim*** – программной платформы для компьютерного моделирования работы многодисциплинарных мехатронных систем (рис. 2). В рамках *Simcenter Amesim* производится анализ и оптимизация функциональных характеристик разрабатываемых изделий с использованием их достоверных (верифицированных) расчетных моделей. Изделие при этом рассматривается как комплекс подсистем, собранных вместе для обеспечения требуемой функциональности. Подсистемы при этом могут быть как общеинженерными (гидравлические, электрические, механические, воздушные и др.), так

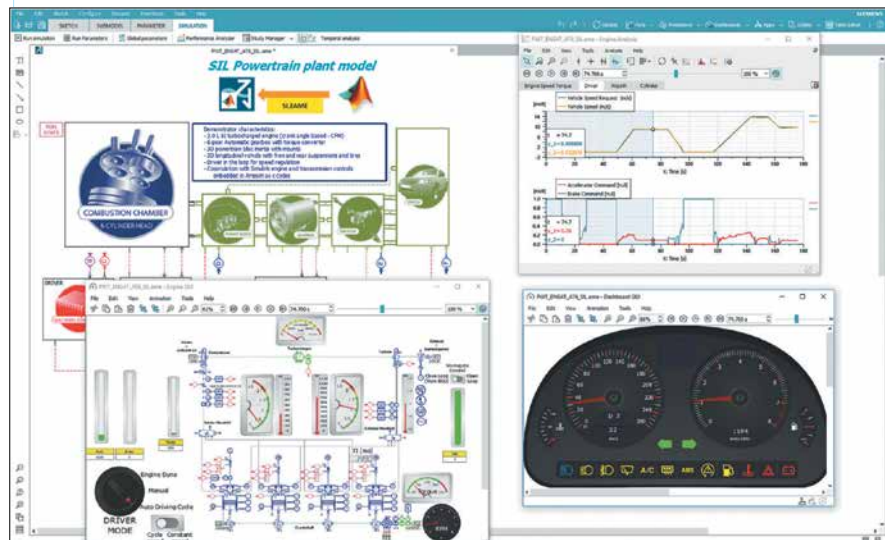


Рис. 2. Программная платформа *Simcenter Amesim*

и индустриально специализированными (шасси, трансмиссия, системы кондиционирования, системы двигателей, редукторы, коробки передач, системы охлаждения, терморегулирования, жизнеобеспечения и пр.).

Составляющая для конечно-элементного моделирования реализована в виде **Simcenter 3D** (рис. 3). Платформа **Simcenter 3D** включает в себя полнофункциональный CAD-модуль от САПР NX для работы с трехмерной геометрией, пре- и постпроцессор для разработки расчетных моделей (с учетом различной физики внешних воздействий) и набор расчетных модулей для проведения инженерных расчетов в различных дисциплинарных постановках (рис. 4).

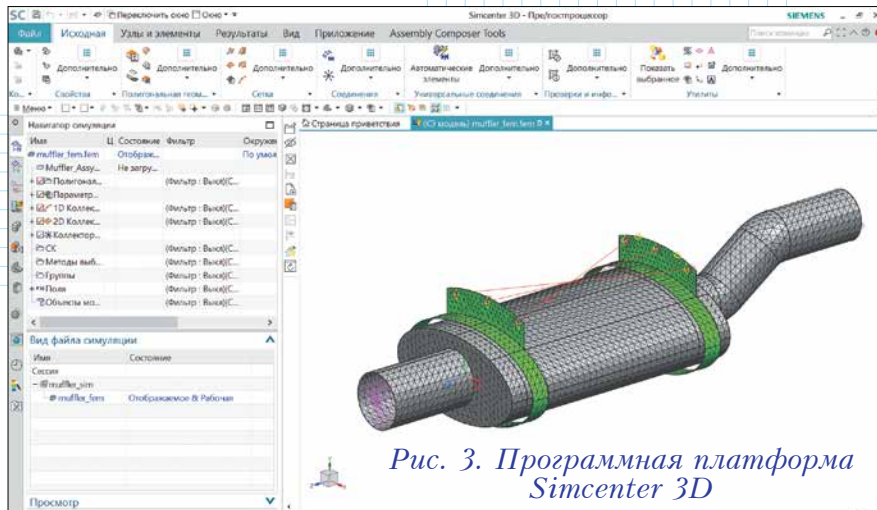


Рис. 3. Программная платформа Simcenter 3D

Функционал **Simcenter 3D** позволяет проводить расчеты на прочность в статической (*Structures*) и динамической (*Dynamics*) постановках, расчеты на долговечность и усталостную прочность (*Durability*), расчеты для аддитивного производства (*Additive*), расчеты в рамках задач электромагнетизма (*Electromagnetics*), расчеты композитных структур (*Composites*), а также тепловые (*Thermal*), гидрогазодинамические (*Flow*), кинематические (*Motion*) и акустические (*Acoustic*) расчеты. Все расчетные обоснования могут быть выполнены в мультифизической (*Multiphysics*) постановке – как путем последовательного расчета в рамках различных физических дисциплин, так и путем совмещения влияния различных физических полей (*Simcenter Multiphysics*).

Составляющая для проведения испытания представляет собой программную платформу **Simcenter Testlab** (рис. 5) с набором оборудования **SCADAS** для сбора и обработки данных испытаний. Это платформа нового поколения, предназначенная для проектирования изделий с заданными характеристиками на основе результатов испытаний. Благодаря новому функционалу для модельно-ориентированных испытаний, обеспечивается обратная связь со средой численного моделирования (*Simcenter 3D*).

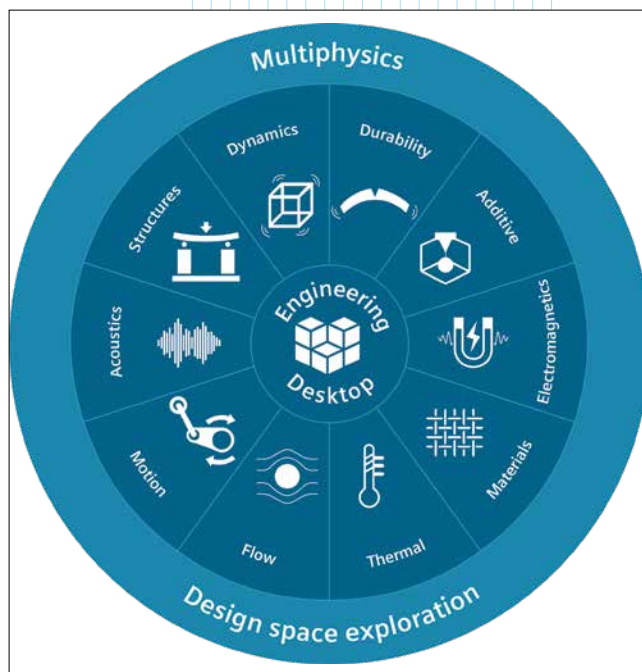


Рис. 4. Расчетный функционал Simcenter 3D

Теперь, когда понятно, с каким инструментом имеем дело, давайте вернемся к “расчетно-экспериментальной отработке”.

Каким образом обычно происходит экспериментальная отработка? Как уже было сказано, она представляет собой отдельный процесс – как правило, не связанный с численным моделированием. Плюсы и минусы таких классических испытаний известны.

Однако на современном этапе развития появилось понятие “модельно-ориентированных испытаний”. Здесь подразумевается связь испытаний с численным моделированием, а



Рис. 5. Программная платформа Simcenter Testlab



Рис. 6. Расчетно-экспериментальная обработка изделий

расчетчики и испытатели работают в одной команде в рамках процесса расчетно-экспериментальной обработки. Для чего это нужно? Для того, чтобы минимизировать инженерный субъективизм на расчетных и экспериментальных этапах обработки и, в конечном итоге, получить качественное изделие при минимальных затратах.

Давайте посмотрим реализацию такого процесса (расчетно-экспериментальная обработка изделий) в рамках платформы *Simcenter* и применительно к изделиям, на которые действуют различные механические нагрузки динамического характера. Понятно, что это будет итерационный процесс, и в нём будут задействованы два основных компонента платформы: *Simcenter 3D* и *Simcenter Testlab* с набором оборудования *SCADAS* (рис. 6).

Первый этап

На первом этапе проводится классическое расчетное моделирование с построением расчетной модели (PM) в виде конечно-элементной структуры, ассоциативно связанной с геометрической 3D-моделью, с приложенными условиями нагружения и закрепления.

Расчетное моделирование осуществляется в рамках *Simcenter 3D*, где производится расчет собственных частот и форм колебаний. На основе полученной PM автоматизировано строится редуцированная геометрическая (или “проволочная”) модель, в узлах которой располагаются датчики и/или точки возбуждения конструкции. Выбор этих точек основан на критерии модальной достоверности (*Modal Assurance Criterion, MAC* – критерий, дающий оценку корреляции расчетных форм колебаний на исходной PM с формами колебаний на редуцированной модели), который позволяет, используя минимальное число оптимально расположенных датчиков, провести модальные испытания оптимальным образом.

В целом это называется “претест-анализ” (рис. 6), результатом которого является “тест-модель” (“проволочная

модель” с набором геометрических мест расположения датчиков и источников возбуждения). Полученная “тест-модель” передается в *Simcenter Testlab* и используется при подготовке изделия к испытаниям.

Второй этап

Второй этап – модальные испытания. В рамках подготовки производится установка (вывешивание) экспериментального образца изделия. На экспериментальном образце в координатных местах (согласно “тест-модели”) устанавливаются источники возбуждения и датчики (которые, в свою очередь, подключаются к системе измерения *SCADAS*) для получения виброоткликов изделия. В качестве источников могут использоваться электродинамические или сервогидравлические вибро-возбудители, или же возбуждение осуществляется серией ударов специальным динамометрическим молотком (рис. 7). Отклики модели – передаточные функции в частотной или временной области с амплитудой в виде ускорений, перемещений, напряжений, деформаций и др. (в зависимости от типа датчика).

Дальнейший процесс – это измерение и получение передаточных функций откликов в местах установки датчиков с учетом воздействий возбуждения. На

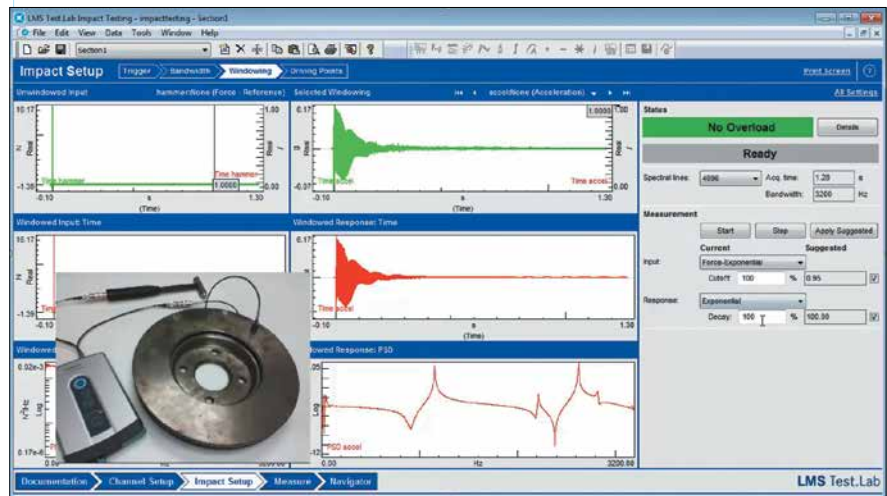


Рис. 7. Модальные испытания с использованием динамометрического молотка

основе измеренных передаточных функций откликов производится расчет амплитудно-частотных и демпфирующих характеристик экспериментального образца изделия. Для этого используется специальный функционал (модальный анализ) *Simcenter Testlab*.

Результатом модальных испытаний и анализа является “экспериментальная модель” (“проволочная модель” с набором воздействий возбуждения и передаточных функций откликов, привязанных по координатам динамических нагрузок и датчиков измерений соответственно, а также набор экспериментальных собственных частот, форм и коэффициентов демпфирования).

Полученная “экспериментальная модель” передается в *Simcenter 3D* для дальнейшего уточнения (тарировки) расчетной модели.

Третий этап

На третьем этапе в среде *Simcenter 3D* осуществляется корреляция расчетных и экспериментальных данных на уровне “тест-” и “экспериментальной” моделей. Дальнейшее уточнение и настройка (тарировка) РМ производится на основе корреляции “экспериментальной” и “тест-”моделей с применением различных оптимизаторов (например, *Simcenter Nastran Sol 200*, *HEEDS* и т.д.). Оптимизации подвергается конечно-элементная структура РМ – за счет изменения величины дискретизации сеток, параметров материала, ввода специальных конечных элементов и т.п. При этом целевая функция направлена на совпадение расчетных и испытательных собственных частот, их амплитуд и

форм колебаний с учетом экспериментальных коэффициентов демпфирования. В итоге получается тарированная РМ, результаты расчета собственных частот и откликов на динамические воздействия которой совпадают с результатами испытаний с минимальной погрешностью. Это уже будет верифицированная по результатам испытаний математическая модель изделия.

На основе верифицированной математической модели можно проводить и другие расчетные исследования, которые невозможно воспроизвести на имеющемся испытательном оборудовании. Кроме того, такие модели могут использоваться в рамках *Simcenter Amesim* для общесистемных расчетных исследований.

Следует подчеркнуть, что при расчетно-экспериментальном подходе субъективизм в действиях инженеров минимизируется, а большое количество классических натурных экспериментов заменяется подтверждающими испытаниями изделий и их компонентов с последующей расчетной отработкой на верифицированных моделях (сборках). Это особенно важно при проектировании крупногабаритных изделий, когда нет возможности провести испытания ввиду их дороговизны или из-за отсутствия испытательного оборудования требуемой мощности или требуемых характеристик.

Конечно, остается еще один немаловажный вопрос – сдача изделия контролирующим организациям на основе результатов расчетно-экспериментальной отработки. Но и этот вопрос можно решить путем предварительного согласования методик с соответствующими надзорными органами. 🍷

НА УРОВНЕ ВЫСОКИХ ТЕХНОЛОГИЙ

NS Labs

NS LABS - ЭТО:

- АВТОРИЗОВАННЫЙ ПАРТНЕР SIEMENS DIGITAL INDUSTRIES SOFTWARE
- УЧЕБНЫЙ ЦЕНТР САПР
- УСПЕШНЫЙ ОПЫТ ВНЕДРЕНИЯ CAD/CAM/CAE/PLM-РЕШЕНИЙ SIEMENS DISW НА РОССИЙСКИХ ПРЕДПРИЯТИЯХ
- КВАЛИФИЦИРОВАННОЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ СОПРОВОЖДЕНИЕ И ПОДДЕРЖКА ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ
- ПОЛНЫЙ СПЕКТР ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО СЕРВИСА:
 - РАЗРАБОТКА ПОСТПРОЦЕССОРОВ
 - ИНЖЕНЕРНЫЕ РАСЧЕТЫ
 - 3D-МОДЕЛИРОВАНИЕ
 - ВНЕДРЕНИЕ РЕШЕНИЙ В ПРОМЫШЛЕННУЮ ЭКСПЛУАТАЦИЮ
 - РАЗРАБОТКА СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ ПРОГРАММНЫХ МОДУЛЕЙ

Нижний Новгород, пр. Ленина, д.93
 (831)258-34-47, 258-07-57, 258-12-35
 nslabs.ru
 sapr@nslabs.ru

Мы в соцсетях: