

Статья “*Creating a Digital Twin for a Pump*” впервые была напечатана в журнале “*ANSYS Advantage*” (Volume XI, 2017). Перевод и публикацию в журнале “*CADFEM REVIEW*”, посвященном опыту использования систем инженерных расчетов и анализа в России и СНГ, подготовила компания CADFEM CIS (ЗАО “КАДФЕМ Су-Ай-Эс”).

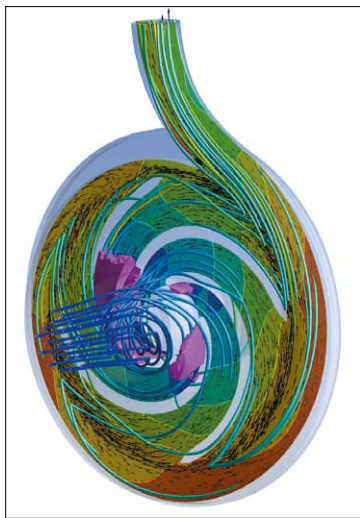
Создание цифрового двойника насоса

Chris MacDonald (PTC), Bernard Dion, Mohammad Davoudabadi (ANSYS)

Численное моделирование давно стало неотъемлемой частью процесса разработки любого изделия, позволяя существенно улучшить характеристики изделия, сократить стоимость разработки и быстрее вывести продукт на рынок. Технологии, составляющие основу интернета вещей, сейчас позволяют сделать следующий шаг: объединить цифровую модель и продукт, существующий и работающий в реальном мире. Компания ANSYS, работая совместно с PTC, Flowserve, National Instruments и Hewlett-Packard Enterprise (HPE), продемонстрировала, как расчетная модель реального насоса может использоваться для выявления и решения проблем эксплуатации, причем в гораздо более короткие сроки, чем это возможно было раньше.

Активное применение численного моделирования в процессе разработки новых изделий уже позволило многим компаниям существенно улучшить характеристики продуктов, снизить стоимость разработки и производства, а также быстрее выводить продукты на рынок. Сегодня интернет вещей (*Internet of Things, IoT*) дает возможность в реальном масштабе времени собирать информацию о работе существующих изделий и объединять её с уже имеющимся у производителя набором цифровых данных об изделии (включая расчетные модели) – для того чтобы оптимизировать продукт и процесс его эксплуатации. Подобным образом создается цифровой двойник изделия (ЦД).

В этой статье на примере промышленного насоса будет показано, как цифровой двойник обрабатывает данные, поступающие с датчиков, установленных на реальном изделии, и с помощью средств численного моделирования (CAE) обеспечивает возможность прогнозировать отказы и выявлять случаи неэффективной работы устройства. Это позволяет немедленно реагировать на возникающие проблемы и оптимизировать работу изделия.



Эксплуатационные данные и интерфейс

Рассматриваемый насос был оснащен датчиками давления, установленными на входе и выходе, акселерометрами (установленными на корпусе как самого насоса, так и опорных подшипников) для измерения вибраций, а также расходомером на выходе. Выходной регулирующий клапан управлялся с помощью привода, в то время как входной регулирующий клапан управлялся вручную. Все датчики и приводы были подключены к системе сбора данных, которая опрашивала их с частотой 20 kHz и отправляла их в устройства для периферийных вычислений EL20, разработанные компанией

HPE специально для интернета вещей. (Конвергентные системы EdgeLine компании HPE, позволяющие осуществлять обработку данных в тяжелых условиях, в непосредственной близости от IoT-устройств, представлены интеллектуальными коммутаторами, которые оснащены процессорами, оперативной и долговременной памятью, а также серверными картриджами для тех случаев, когда нужно повысить производительность IoT-устройств. – Прим. ред.)

Программная платформа ThingWorx, разработанная компанией PTC, предназначена для создания экосистемы, объединяющей устройства и датчики через интернет вещей, оценки собираемых данных, разработки специализированных IoT-приложений корпоративного уровня и расширения возможностей конечного пользователя за счет средств дополненной реальности. В данном случае система ThingWorx обеспечивала связь датчиков с цифровыми моделями, включая расчетные модели насоса. Подсистема машинного обучения ThingWorx, работавшая на платформе EL20, использовалась для мониторинга и анализа информации с датчиков, построения шаблонов данных, характерных для нормальных режимов работы насоса, для выявления аномалий, поиска закономерностей и прогнозирования.

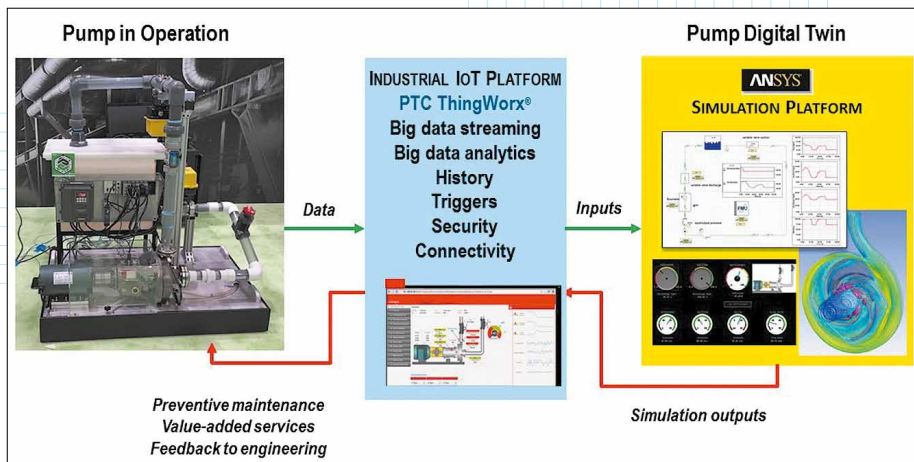
Компании могут использовать возможности ЦД для выявления сбоев в работе изделия и их причин, для диагностики, поиска неисправностей, выработки рекомендаций по устранению проблем, формирования графика технического обслуживания, оптимизации работы изделия, а также для поиска путей улучшения следующего поколения изделий.

Кроме того, возможности *ThingWorx* были задействованы для создания веб-приложения, отображающего показания с датчиков и контроллеров, а также аналитические данные. К примеру, это приложение показывает значения давления на входе и выходе насоса, а также прогнозируемый срок службы подшипников. Интерфейс дополненной реальности позволяет выводить показания датчиков, аналитические данные, а также списки деталей, инструкции по ремонту и другую информацию, соответствующую роли пользователя в команде, прямо поверх изображения насоса, транслируемого камерой смартфона, планшета или “умных очков”.

Численное моделирование – “секретный компонент” цифрового двойника

Команда инженеров *ANSYS* подготовила системную модель насоса (модель пониженной размерности), которая в дальнейшем использовалась для расчетов и анализа в программном обеспечении *ANSYS SImplorer*, также работавшем на платформе *HPE*. Эта системная модель была соединена с датчиками через платформу *PTC ThingWorx* и воспроизводила действия реальной гидравлической системы. Кроме того, она была подключена к виртуальной операторской панели, созданной с помощью ПО *ANSYS SCADE* и воспроизводившей на экране все приборы и элементы управления, имеющиеся в реальном насосе. Следует отметить, что в такой конфигурации системную модель можно отключить от физического изделия и использовать в офлайн-режиме для отработки различных сценариев.

Системную модель можно дополнить виртуальными датчиками давления – до входного клапана и после выходного. Кроме того, специалисты *ANSYS* разработали подробную трехмерную *CFD*-модель (*Computational Fluid Dynamics* – вычислительная гидродинамика) насоса, которая работала в облаке и могла получать входные данные как от реального насоса (в онлайн-режиме), так и от его системной модели (в офлайне). Эта



Реальный насос связан со своим цифровым двойником с помощью платформы ThingWorx от PTC

CFD-модель служила для построения рабочих кривых насоса, на основе которых создавалась системная модель. Также трехмерная модель могла использоваться для получения расчетных характеристик и детального исследования работы насоса в нерасчетных условиях.

ЦД помогает понять причины проблем

Для демонстрации преимуществ использования цифрового двойника насос сначала работал в нормальном режиме, а затем входной регулирующий клапан был вручную прикрыт наполовину. Датчики показали, что давление всасывания, напор и расход существенно упали, а акселерометры зарегистрировали высокий уровень вибраций. Были получены сигналы тревоги, а численное моделирование показало, что ожидаемый срок службы подшипников в таких условиях сократился до нескольких дней. Однако показания датчиков и результаты расчетов не



Демонстрация преимуществ использования цифрового двойника на примере насоса Flowserve

могли объяснить влияние аномальных условий работы на процессы, происходящие в насосе, не позволяли понять конкретную причину вибрации и предложить меры по устранению проблемы.

Подключенная системная модель демонстрировала через ПО ANSYS SCADE те же показания датчиков – падение давления на входе и выходе, а также уменьшение расхода. Чтобы понять, что же является исходной причиной вибрации и какие процессы, происходящие в насосе, ответственны за снижение его производительности, исследователи подключили трехмерную облачную CFD-модель к физическому насосу – нажатем кнопки “3D-моделирование” в интерфейсе цифрового двойника. Трехмерное CFD-моделирование показало, что понижение давления внутри насоса вызвало кавитацию – формирование пузырьков насыщенного пара. Попадая в области высокого давления, эти пузырьки схлопывались и создавали вибрацию.

Отключив системную модель от реального насоса, можно, с помощью интерфейса цифрового двойника, опробовать различные способы исправления ситуации. Например, системная модель позволяет спрогнозировать, что решить проблему поможет открытие впускного регулирующего клапана. Для проверки возможного решения снова было проведено трехмерное CFD-моделирование – на основе исходных данных от офлайн-модели с открытым клапаном. Результаты

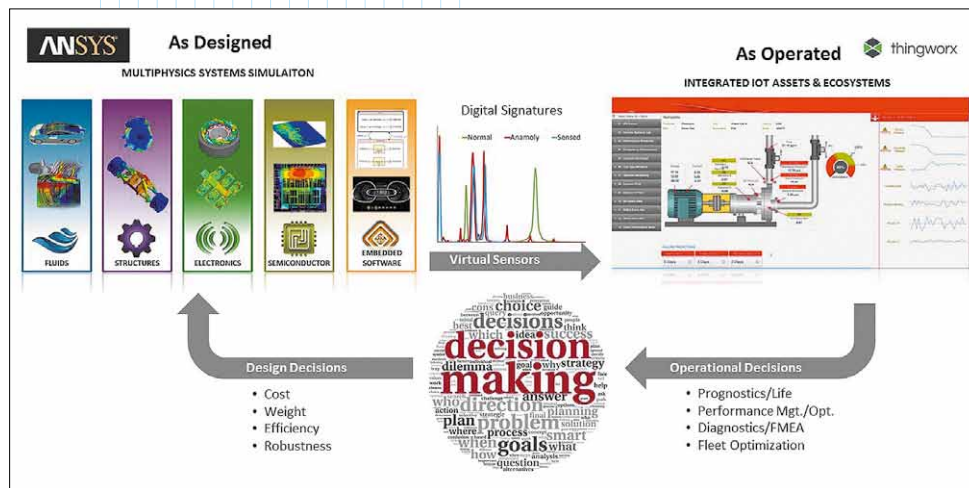
Технологии, составляющие основу интернета вещей, позволяют сделать следующий шаг – объединить модель и продукт, существующий и работающий в реальном мире.

CFD-моделирования показывали, что в этом случае пузырьков насыщенного пара не будет. После этого предложенное решение было опробовано на реальном насосе – впускной клапан был полностью открыт, и параметры работы насоса нормализовались.

Интернет вещей позволяет подключать расчетные модели к реальным устройствам с помощью платформ наподобие ThingWorx, и за счет этого лучше понимать происходящие в ходе эксплуатации процессы и оптимизировать работу изделий. Компании могут использовать ЦД для выявления сбоев в работе и их причин, для диагностики, поиска неисправностей, выработки рекомендаций по устранению проблем, формирования оптимального графика технического обслуживания на основе данных о работе отдельных изделий, для оптимизации работы изделия, а также для поиска путей улучшения следующего поколения изделий. Потенциальная выгода от цифрового двойника весьма существенна. Самое очевидное – это оптимизация процесса технического обслуживания и оперативный поиск причин неисправностей. Но, по мере того, как клиенты будут больше ориентироваться на конечный результат, а не просто на продукт, станут видны и другие возможности цифровых двойников – как для производителей продуктов, так и для их потребителей.



Информацию о том, как ЦД на основе расчетных моделей помогает улучшить продукт и процесс эксплуатации можно найти на сайте ansys.com/dt.



Об авторах

- Крис Макдональд (Chris MacDonald) – руководитель отдела развития бизнеса, ThingWorx Analytics, PTC
- Бернард Дион (Bernard Dion) – руководитель отдела системного моделирования в компании ANSYS
- Мохаммад Давудбади (Mohammad Davoudabadi) – ведущий инженер, ANSYS

Преимущества использования цифрового двойника