

Цифровые двойники и симуляция на площадке гиганта *Liebherr*

Решения от *Mevea* превосходят большинство аналогов

Verdi Ogewell, главный редактор "PLM&ERP News", PLM- и ERP-редактор *engineering.com*



Разработанные компанией *Mevea* решения для создания ЦД оставляют большинство других позади

В 2018 году технология цифровых двойников (ЦД) достигла стадии "пика завышенных ожиданий" в цикле зрелости технологий (*Hype Cycle*) по версии компании *Gartner*. (На этой стадии уже имеются компании, которые пробуют применить технологию в полном объеме и получить бизнес-преимущества, хотя неудач обычно бывает больше, чем успехов. – *Прим. ред.*)

Это графическое представление служит в качестве своего рода "технологического барометра", который измеряет степень энтузиазма со стороны пользователей и специалистов и показывает, насколько перспективной представляется каждая технология. Кроме того, цвет значка технологии на кривой отражает предполагаемое время до того момента, как она получит распространение в промышленных приложениях ("плато

продуктивного использования"). В нашем случае ожидается, что концепция цифровых двойников станет реальностью в течение пяти-десяти лет.

Как бы ни изгибалась кривая, путь игроков в сфере *CAD* и *PLM* к достижению цели – использованию захватывающей концепции цифрового двойника – оказался довольно долгим.

Финский разработчик аппаратных симуляторов и ПО для численного моделирования в режиме реального времени, компания *Mevea*, стал одним из тех, кому удалось значительно продвинуться в этом направлении. По мнению исследовательской и консалтинговой компании *CIMdata*, функциональность разработанных специалистами *Mevea* решений выходит за рамки того, что предлагает большинство других решений в этой сфере.

"*Mevea* предлагает исключительное комплексное решение (*end-to-end*), обеспечивающее пользователей эффективными инструментами для создания цифровых двойников", – такую оценку дал аналитик компании *CIMdata*.

По сути, вопрос более не лежит в плоскости теоретических возможностей системы – речь идет о практическом решении, которое достигло высокого уровня зрелости как в своём развитии, так и в плане коммерческого

Всеобъемлющий цифровой двойник

Австрийский гигант *Liebherr*, выпускающий краны разных видов, смог создать полный цифровой двойник портового крана и рабочего окружения, используя решения от компании *Mevea*.

"Превосходная графика обеспечивает динамическое отображение результатов манипуляции джойстиком и другими средствами управления краном в реальном масштабе времени – в том числе

колебания, возникающие при слишком быстрых движениях крана. Благодаря интеллектуальной системе *Smart Grip*, мы смогли оптимизировать процесс погрузки и увеличить количество перегружаемого угля до 600 тонн в час. Во время каждого цикла подъема груза на экране отображается ряд подробных параметров и подсказки, какие значения можно улучшить с учетом пределов эксплуатационных характеристик крана", – говорит *Christian Schneider*, менеджер компании *Liebherr* по цифровым решениям.



По его словам, симулятор дает им уверенность в том, что оператор крана всё делает правильно. Он также отмечает, что результаты внедрения ЦД были настолько обнадеживающими, что уже существует план расширить использование решений *Mevea* на все подразделения группы *Liebherr*.

"Мы уже начали применять эти решения в процессах разработки наших продуктов", – добавляет г-н *Schneider*

применения, особенно когда дело касается использования цифровых двойников при создании “умной” техники (*Intelligent Machines*).

“Действительно, важнейшей движущей силой нашего бизнеса и адресатом наших инициатив на рынке является отрасль создания интеллектуальных машин. Эта отрасль может использовать технологию цифровых двойников от *Mevea* главным образом в трех областях: разработка изделий и инновации, тренинг с помощью симуляторов, а также исследования и образование”, – говорит директор *Mevea* по продажам и маркетингу **Raimo Nikkilä**, бывший топ-менеджер в области *CAD* и *PLM* в компаниях *IBM* и *Dassault Systèmes*.

Помимо прочего, компания *Mevea* совершила и впечатляющий коммерческий прорыв. С 2015 года её доходы ежегодно растут в среднем на +30%. По мнению г-на *Nikkilä*, очень похоже, что такие темпы роста сохранялись и в 2019 году, и в начале 2020-го. В настоящее время доходы компании составляют почти два миллиона евро, что соответствует примерно 2.2 млн. долларов США.

В списке клиентов *Mevea* такие известные имена, как *Siemens Cranes*, *Mitsubishi* и *Sandvik*, а также австрийский гигант *Liebherr* – мировой производитель самоходных кранов, о котором пойдет речь в этой статье.

Raimo Nikkilä очень компетентен в вопросах *PLM*. Его резюме способно произвести впечатление на любого в этой отрасли: в свое время он был руководителем глобального подразделения *IBM* в Северной Европе и занимался продвижением системы *CATIA*, а затем возглавлял *PLM*-бизнес *Dassault Systèmes* в Северной Европе – на эту должность он перешел после приобретения *PLM*-подразделения *IBM* компанией *Dassault* в 2010 году. Но сегодня в руках этого опытного в сфере *PLM* специалиста находится именно *Mevea*.

Что отличает “умную” технику?

Как отметил *Raimo Nikkilä*, ориентация на сферу интеллектуальных машин является ключевой в бизнесе *Mevea*. Наша встреча с ним состоялась по завершению ежегодного мероприятия пользователей решений компании, которое проходило в Хельсинки (Финляндия) и собрало порядка 250 участников со всего мира.

Но что такое “умная” машина? Согласно определению, речь идет о технике, оснащенной датчиками, передатчиками/приемниками, блоками управления (контроллерами) и программным обеспечением. Чтобы дать более четкое объяснение степени интеллектуальности, он проводит параллель со шкалой *SAE J3016* для автомобилей с автономным управлением, которая описывает уровни от *Level 0* (полностью управляется оператором) до *Level 5* (полностью автономное движение).

“Интеллект машины сам по себе не имеет значения. Однако, интеллект является инструментом улучшения

степени взаимодействия оператора с машиной, а также качественных и количественных результатов”, – говорит г-н *Nikkilä*.

По его мнению, если спроецировать шкалу *SAE J3016* на “умные” краны и другие машины, это могло бы выглядеть примерно так:

- 1 Без всяких средств обеспечения автономности.
- 2 Система управления механизмами.
- 3 Система содействия оператору крана (советчик).
- 4 Автоматизация задач и рабочих циклов.
- 5 Автономная или полуавтономная работа.

Автономный экскаватор

В чём же конкретно *Mevea* продвинулась дальше, чем большинство разработчиков на рынке?

Возьмем в качестве примера автономный экскаватор. Созданный цифровой двойник экскаватора может выполнять точные рабочие циклы, опираясь на численное моделирование физических свойств и процессов, а также окружающей местности. Далее этот ЦД можно связать с его физическим воплощением и “синхронизировать” их путем численного моделирования на основе получаемых с датчиков реального экскаватора данных взаимодействия с его блоком управления.

Такие возможности решений от *Mevea* дают специалистам глубокое понимание поведения изделий, необходимое для их создания – начиная от обучающих тренажеров и вплоть до полуавтономных решений для экскаваторной техники.

Рассмотрим, как решения компании позволяют сделать “умным” простой копатель сыпучих грунтов.

“Оператор использует систему *Mevea* для формирования рабочих циклов, которые должен выполнять экскаватор. После того как экскаватор выполнил циклы нескольких раз, он запоминает их и далее может повторять самостоятельно. В этом случае мы использовали цифровой двойник для проверки пригодности выбранных датчиков и алгоритмов машинного обучения для



Решения *Mevea* позволяют не только визуализировать 3D-модель экскаватора и опробовать функциональность цифрового двойника. Реальное рабочее окружение экскаватора также можно ввести в виртуальную модель – например, путем преобразования фотографий с камер дронов в 3D-представление методами фотограмметрии

поставленных задач. Цифровой двойник является катализатором и предпосылкой осуществления этой автономной работы”, – объясняет *Raimo Nikkilä*.

“Рабочее окружение можно легко включить в виртуальную среду двойника, в которой планируются эксплуатировать экскаватор”, – продолжает он. – “Сделать это можно путем преобразования фотографий с камер дронов в трехмерное представление с помощью методов фотограмметрии. К примеру, беспилотник, оснащенный решением для фотограмметрии, может сделать съемку карьера или района застройки. Это позволит специалистам предприятия точнее спланировать работу экскаватора, прежде чем он будет перемещен на реальную рабочую площадку. [Трехмерная карта местности] даст оператору возможность практиковаться и тестировать экскаватор в реалистичной виртуальной среде и, таким образом, лучше взаимодействовать с реальным миром”.

Что отличает *Mevea* от традиционных CAD-вендоров?

Решения *Mevea* имеют большой потенциал, поэтому директор по маркетингу считает, что не случайно его заметили крупные игроки *PLM*-рынка.

“Сегодня от традиционных *CAD*-поставщиков нас отличает многое. Большинство из них не в состоянии предложить заказчику рабочий процесс в режиме реального времени и интерактивную *3D*-модель окружающей среды, которые предлагаем мы в нашем воплощении концепции цифрового двойника. Соединить эти части вместе очень трудно”.

Несмотря на успехи, им еще многое предстоит сделать в отношении повышения производительности и дальнейшего развития решения.

“Наш клиент *Mitsubishi* смог сократить продолжительность разработки своего изделия на 25%, а финский разработчик свабойных машин *Junttan* был готов к тестированию виртуального прототипа машины за шесть месяцев до того момента, как был готов физический прототип – и это с учетом существенного выигрыша по времени при создании этого физического образца”, – отмечает *Raimo Nikkilä*.

Из архива внедрений *Mevea*: интеллектуальный функционал *Smart Grip* для *Liebherr*

Вне всяких сомнений, разработчик решений для создания цифровых двойников всегда будет рассказывать о положительном эффекте, который они помогают получить. Но что думают об этом клиенты? На мероприятии для пользователей ПО *Mevea* были представлены интересные примеры внедрения и получения выгоды от использования цифровых двойников, что подтверждает достоверность обещаний компании *Mevea*.

Liebherr – австрийская инженеринговая и производственная компания, которая специализируется в области производства судовых кранов, мобильных портовых кранов,

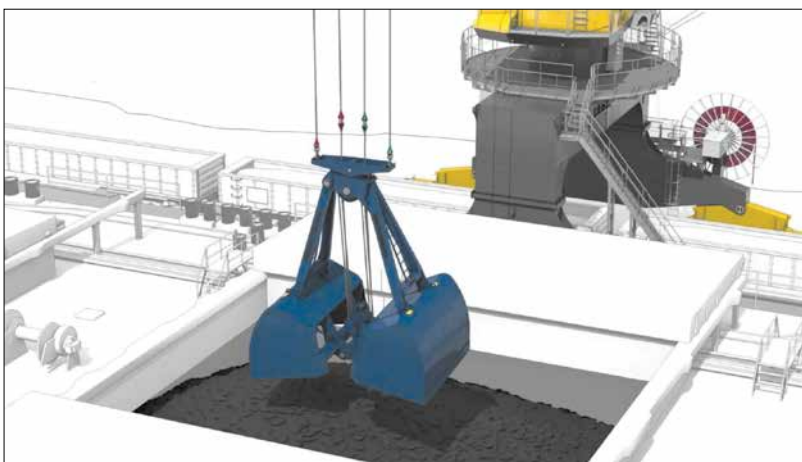


*“Сегодня от традиционных *CAD*-поставщиков нас отличает многое. Большинство из них не в состоянии предложить заказчику рабочий процесс в режиме реального времени и интерактивную *3D*-модель окружающей среды, которые предлагаем мы в нашем воплощении концепции цифрового двойника”, – утверждает *Raimo Nikkilä*, директор *Mevea* по продажам и маркетингу*

кранов на морских буровых платформах и грузовых автокранов.

Как пояснил *Christian Schneider*, менеджер компании *Liebherr* по цифровым решениям, в настоящее время в мире действуют уже 26 симуляторов кранов *Liebherr*.

“Вместе со специалистами *Mevea* мы разработали симулятор нашего судового крана. Помимо прочего, этот кран используется для перевалки огромных объемов угля из гигантских портовых бункеров в грузовой трюм судна. Ключевую функцию в системе управления



*Система *Smart Grip* на площадке *Liebherr* в действии. Интеллектуальная система *Smart Grip* позволяет оптимизировать заполнение ковша-грейфера за счет возможностей самообучения, что дает ряд ценных преимуществ, в том числе более высокую производительность и предотвращение перегруженности. На иллюстрации показано, как цифровой двойник крана позволяет, путем численного моделирования в режиме реального времени на основе получаемых от физического крана данных, контролировать и оптимизировать его рабочие циклы при перевалке угля из гигантского бункера в трюм судна*

краном мы назвали “умная лапа” (*Smart Grip*), – сказал он.

Эта система управляет ковшом крана. В прошлом оператор на кране грузоподъемностью 12 тонн мог перегружать за час из точки *A* (бункер) в точку *B* (грузовой трюм судна) более 360 тонн угля.

“Мы создали полный цифровой двойник, трехмерную модель портового крана и его окружения. Превосходная графика обеспечивает динамическое отображение результатов манипуляции джойстиком и другими средствами управления краном в реальном масштабе времени – в том числе колебания, возникающие при слишком быстрых движениях крана”, – поясняет *Christian Schneider*. – “Благодаря системе *Smart Grip*, мы смогли оптимизировать процесс погрузки и увеличить количество перегружаемого угля до 600 тонн в час. Во время каждого цикла подъема груза на экране отображается ряд подробных параметров и подсказки, какие значения можно улучшить с учетом пределов эксплуатационных характеристик крана”.

Christian Schneider утверждает, что симулятор дает им уверенность в том, что оператор крана всё делает правильно. Он также отмечает, что результаты внедрения ЦД оказались настолько обнадеживающими, что уже существует план расширить использование решений *Mevea* на все подразделения группы *Liebherr*.

“Мы уже начали применять эти решения в процессе разработки изделия. Прежде чем переходить на этап производства физического образца экскаватора, мы проверяем его функционирование на симуляторе”, – говорит г-н *Schneider*.

В будущем он видит создание и использование полностью дистанционно управляемого решения на основе ЦД.

Совпадает со взглядами Siemens на концепцию цифровых двойников

Видение компании *Mevea* в отношении развития концепции цифровых двойников кажется интересным еще и потому, что её взгляды по этому вопросу имеют много общего со взглядами *Siemens Digital Industries Software*.

Специалисты *Siemens* изучили и проверили работоспособность концепции ЦД на трех основных этапах жизненного цикла изделия (ЖЦИ), где можно активировать различные ипостаси цифровых двойников – в зависимости от того, какие задачи необходимо решить. Почему это важно? Одна из веских причин заключается в том, что вам не нужно перегружать ЦД данными, связанными с процессом производства изделия, если само изделие уже находится на этапе эксплуатации.

Три главных этапа ЖЦИ задействуют три ипостаси цифрового двойника:

1) Формализация замысла (*Ideation*): ЦД на этапе проектирования (и дальнейшего усовершенствования) изделия.

2) Изготовление продукта: ЦД изделия связан с производственным процессом, который ведется под цифровым управлением.

3) Эксплуатация: ЦД продукта, находящегося в руках конечного пользователя, с функциями обратной связи с *PLM*-системой.

Это вполне согласуется с тем, как видит концепцию цифровых двойников *Mevea*. Компания разработала решение, которое позволяет подключить ЦД к работающей тяжелой технике – будь то экскаваторы, погрузчики, краны, сваебойные или лесозаготовительные машины – через электронные блоки управления (*ECU*).

Как я уже упоминал выше, *Mevea* тесно сотрудничает с *Siemens* – а именно, с компанией *Siemens Cranes*, которая приняла решение сфокусироваться на использовании решений *Mevea*, вместо того чтобы внедрять собственные. Этот факт многое говорит о ценности предложений компании *Mevea*.

Gunnar Latz из *Siemens* выступил на конференции пользователей решений *Mevea* с докладом на тему разработки изделия на основе данных симуляции и анализа. Он обсуждал этот вопрос в контексте управления вариантами исполнения изделия, соблюдения местных (региональных) нормативных актов и постоянного роста сложности программного и аппаратного обеспечения, когда речь идет о создании автономных машин в отрасли тяжелой техники.

Г-н *Latz* напомнил, что для обеспечения взаимодействия со всеобъемлющей технологией *Siemens* компания *Mevea* внедряет стандартизированный интерфейс **FMI** (*Functional Mockup Interface*) для киберфизических систем. По его словам, это дает ряд преимуществ, особенно с точки зрения проектирования



Сотрудничество с Siemens.

Фотография запечатлела рабочий момент в ходе выполнения совместного проекта в университете города Тампере, в рамках которого специалисты *Siemens* и *Tampere University* изучали возможности цифровых двойников. То, как *Siemens* мыслит об этой концепции, имеет определенное сходство с представлениями компании *Mevea*. Чтобы обеспечить взаимодействие со всеобъемлющей технологией *Siemens*, *Mevea* использует стандартизированный интерфейс **FMI** (*Functional Mockup Interface*)

новых машин, симуляции и анализа на ранних этапах проектирования и обмена результатами.

Оценка уважаемых аналитиков

Следует также отметить, что *Mevea* получила высокую оценку своих разработок от сотрудников уважаемой аналитической компании *CIMdata*. Они описывают то, что разработано в недрах *Mevea*, как сквозной метод, который переносит реальный физический мир в цифровой формат, охватывая весь жизненный цикл и позволяя моделировать мультифизические процессы методами от *Hardware-in-the-Loop (HiL)* и *Software-in-the-Loop (SiL)* до *Human-in-the-Loop (HuiL)*.

Что означают эти выражения?

Программно-аппаратное моделирование *HiL* реализует системный подход к тестированию электронных блоков управления (*ECU*) со встраиваемым ПО – в режиме реального времени и по разным сценариям. Метод *HiL* основан на симуляции в максимально возможной степени всех механических узлов, датчиков и исполнительных механизмов управляемой системы. Тестирование осуществляется на стенде (компьютере с подключенным промышленным интерфейсом, который заставляет блок управления “думать”, что он работает с реальными сигналами), соединяющем математическую модель управляемой системы (ЦД) и реальный блок *ECU*. Можно намеренно вносить в сценарии ошибки и провоцировать сбои с целью убедиться в том, что *ECU* функционирует должным образом. Такой подход используется для любых областей, будь то транспортные средства, робототехника, авиакосмическая промышленность, сфера автоматизации или создания медицинской техники.

Это же относится к *SiL* и *HuiL* – с той разницей, что симулируются другие вещи.

Симуляция в режиме реального времени

Обладая средствами быстрой симуляции в режиме реального времени, компания *Mevea* разработала решение для создания цифровых двойников, обеспечивающее всё, что необходимо для непосредственного взаимодействия цифровой модели и реального физического объекта.

Raimo Nikkilä считает, что *Mevea* помогает разработчикам тяжелой техники добавлять ей ряд интеллектуальных возможностей. Особенно это касается следующих трех направлений:

✓ Разработка изделий и инновации

Возможность повысить с помощью ЦД производительность, безопасность, энергоэффективность и удобство использования служит драйвером в таких областях, как создание автоматических и электрических/гибридных машин.

✓ Тренинг персонала

Работа с “умными” машинами требует наличия квалифицированного персонала. Цифровой двойник машины, созданный на стадии её разработки, может с успехом быть использован в процессе обучения.

✓ Образование и исследования

Сегодня компаниям требуются инженеры нового типа – не просто разбирающиеся в своей узкой теме,



Frank Popielas, аналитик компании CIMdata, высоко оценил презентацию концепции цифрового двойника в исполнении Mevea во время большого ежегодного семинара в Хельсинки для пользователей ПО этого финского разработчика

но глубоко понимающие ценность взаимодействия и многодисциплинарных систем. Цифровые двойники могут быть очень полезны для формирования такого понимания. Например, вы можете обсудить изменения в гидравлике, механике или программном обеспечении для экскаватора, а затем с помощью ЦД проверить влияние внесенных изменений на его функционирование.

Большой потенциал на протяжении всего ЖЦИ

В дополнение ко всему надо отметить, что наибольший потенциал решений *Mevea* заключается именно в открывающихся возможностях непрерывного мониторинга и управления машинами во время их работы при одновременном сравнении фактической производительности и других характеристик машины с её цифровым двойником, который появился в процессе проектирования. Благодаря наличию ЦД, машина переходит на следующий этап своего жизненного цикла, не разрывая цифровую связь. Эта способность позволяет клиентам *Mevea* реагировать на изменения быстро и точно, что, по мнению *CIMdata*, повышает их конкурентоспособность.

Цифровые двойники могут быть охарактеризованы как имитационные модели физического изделия, машины или производственной линии. Предполагается, что эти модели идентичны по функциональным возможностям и характеристикам как своему физическому прототипу, так и окружающей среде, в которой будет использоваться реальное изделие.

В принципе, не существует никаких препятствий для использования цифрового двойника на всех этапах жизненного цикла изделия – от разработки продукта и планирования производства до послепродажного обслуживания.

Frank Popielas, аналитик компании *CIMdata*, на семинаре для пользователей *Mevea* заявил: “Цифровые двойники можно использовать на всех этапах создания изделия, даже на раннем этапе разработки его концепции. Но реальная ценность от применения концепции цифрового двойника особенно видна тогда, когда процессы связаны с реальным физическим объектом”.

Этот вывод в значительной степени соответствует видению и представлениям компании *Mevea*. 🗨