

Wynand Prinsloo, старший инженер по анализу методом конечных элементов (FEA) и методом дискретных элементов (DEM), работает в компании Qfinsoft (ЮАР) и занимается консалтингом и технической поддержкой клиентов, использующих программное обеспечение Rocky DEM и ANSYS Mechanical.

Оригинал статьи “A Digital Twin for the Bulk Materials Industry” на английском языке можно найти по ссылке <https://rocky.esss.co/blog>. Перевод сделан специалистами компании CADFEM CIS – элитного партнера и центра компетенции ANSYS в СНГ.

Использование цифровых двойников при работе с сыпучими материалами

Wynand Prinsloo, Senior FEA and DEM engineer (Qfinsoft)

©2019 CADFEM CIS

В настоящее время исследовательские группы (R&D) [на передовых предприятиях] всё чаще обращаются к использованию цифровых двойников для разработки, совершенствования и анализа своего оборудования и процессов – особенно в таких областях, как прочностной анализ, гидродинамика и анализ электромагнитных полей.

Несмотря на то, что горнодобывающая промышленность сталкивается с теми же задачами, что и другие отрасли – сократить продолжительность простоев, оптимально спланировать техническое обслуживание, увеличить объем продукции, повысить эффективность и безопасность, – раньше в этой сфере производства отсутствовала возможность численного моделирования потока сыпучих материалов. Но теперь всё изменилось.

Разработчики программного обеспечения ANSYS и Rocky DEM нашли способ совместного применения инструментов для моделирования механики, планирования эксперимента и расчетов методом дискретных элементов (*Discrete Element Modeling, DEM*), чтобы создать цифрового двойника для эксплуатации в горнодобывающей, перерабатывающей промышленности, а также в других сферах, требующих обращения с сыпучими материалами.

Это программное решение опирается на используемые компанией ANSYS **модели пониженного порядка (Reduced-Order Model, ROM)**, которые позволяют сократить затраты времени и ресурсов на вычисления, при этом достаточно точно прогнозируя реальную работу устройства.

Помимо экономической и производственной выгоды, цифровые двойники дают возможность улучшить показатели по безопасности.

Автоматизация производства позволяет компаниям снизить риски травмирования работающих с сыпучими материалами; минимальное количество поломок оборудования (вследствие возможности разработать оптимальный график технического обслуживания [в том числе и



упреждающего]) означает, что меньше работников могут пораниться.

Принцип работы цифрового двойника

Для упрощения вычислений цифровой двойник физического устройства использует трехмерные модели пониженного порядка. Через платформу интернета вещей (IoT) он соединяется с реальным объектом и получает данные измерений с его датчиков. В результате цифровой двойник предоставляет дополнительную информацию, которую нельзя измерить. Отпадает необходимость обращаться к архивным данным.

Цифровые двойники можно применять для ускорения процесса разработки продукта путем численного моделирования работы его компонентов, что позволяет диагностировать и устранять потенциальные ошибки в работе, а также прогнозировать и улучшать эксплуатационные характеристики.

Продукты ANSYS предоставляют широкий спектр возможностей для построения цифровых двойников. Применительно к горнодобывающей промышленности, могут быть использованы и модели пониженного порядка в Rocky DEM (рис. 1).

Такие модели оценивают поведение устройства в непрерывном режиме, опираясь на быстрые

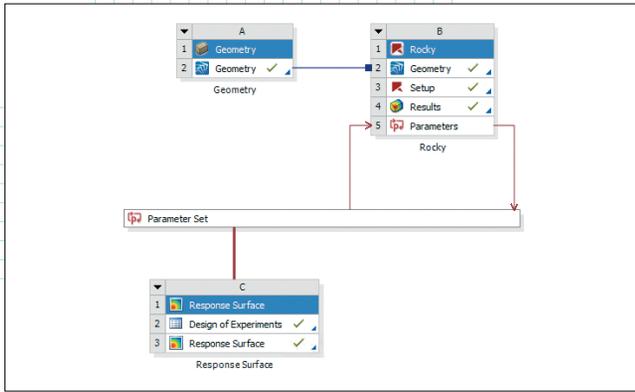


Рис. 1. Интеграция Rocky DEM с ANSYS DesignXplorer для создания цифрового двойника

вычисления, а не полный расчет всех физических полей. Кроме того, программный продукт Rocky DEM интегрируется в рабочую среду ANSYS Workbench и параметрическую среду ANSYS DesignXplorer, что упрощает процедуры проведения анализа.

Пример использования цифрового двойника в горнодобывающей промышленности

В данном практическом примере самоходные вагонетки транспортируют добытый уголь от месторождения к приемному пункту. Сырье из каждой вагонетки выгружается на свой конвейер и далее поступает на питатель конвейерного типа, который обеспечивает подачу кусков угля в дробильную установку.

Проблемы с выгрузкой

По мере того как вагонетки сбрасывают груз (иногда слишком быстро), уголь может просыпаться, впоследствии препятствуя подъезду и разгрузке в дальнейшем (см. рис. 2 и видео на сайте).

Когда разгружается больше одной вагонетки одновременно, общий показатель массового расхода может превысить допустимый для дробильной установки уровень, что приводит к застреванию кусков угля и последующему повреждению оборудования.

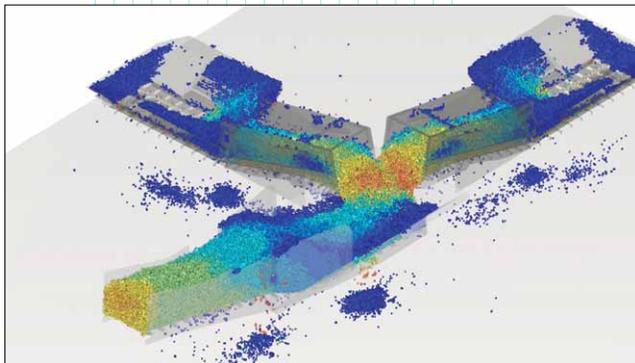


Рис. 2. Процесс выгрузки угля

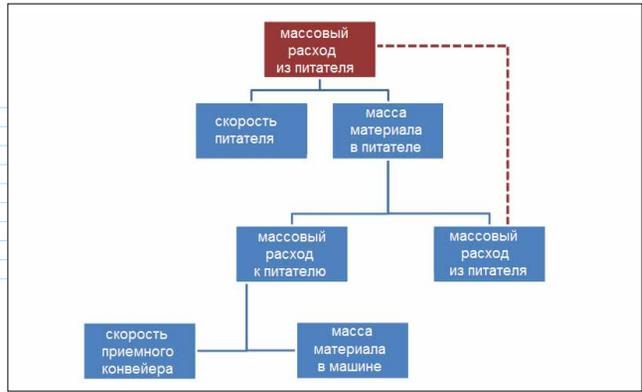


Рис. 3. На пропускную способность питателя влияет множество переменных

Операторы могут вручную управлять этой системой в случае переполнения или запускать её в автоматическом режиме, но любое изменение так или иначе влияет на её работу.

Команда инженеров пришла к выводу, что необходимо провести анализ того, как изменяемые величины в системе могут влиять на пропускную способность питателя (рис. 3).

Цель состояла в том, чтобы оптимизировать совместную работу всех компонентов и выяснить, какое количество сырья может быть пущено в питатель, прежде чем произойдет переполнение.

Основными изучаемыми переменными были скорость конвейера питателя и масса сырья. Анализ методом дискретных элементов (DEM) занял бы слишком много времени, требуя отдельного запуска решателя для каждого набора входных данных. Использование же моделей пониженного порядка (ROM), напротив, обеспечивает мгновенный ответ и лучше всего подходит для анализа систем с сильным разбросом параметров – однако результат будет лишь приблизительным.

Оптимальное решение

Лучшим подходом, по мнению инженеров, здесь является создание цифрового двойника (использующего ROM) с последующим точным численным моделированием в среде Rocky DEM для подтверждения результатов.

Вместо разработки общих моделей пониженного порядка для каждого случая, команда инженеров подготовила две отдельные модели – ROM вагонетки, разгружающейся на свой приемный конвейер, и ROM питателя, – чтобы изучить все возможные варианты (рис. 4).

Тестовая модель грузовой вагонетки предполагала выгрузку на конвейер 20 тонн сырья при разной скорости.

Инженеры смоделировали по четыре тестовых случая и для вагонетки, и для питателя. Полученные результаты послужили входными данными для приложения DesignXplorer, где отслеживались показатели в разные моменты времени (рис. 5).

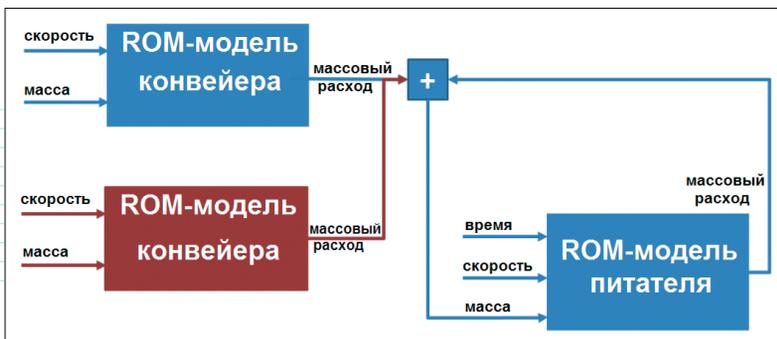


Рис. 4. ROM разгружающей вагонетки показывает массовый расход сырья на выходе её приемного конвейера, основанный на скорости разгрузки и количестве сырья. ROM питателя выявила важную переменную: время от начала цикла до выгрузки руды

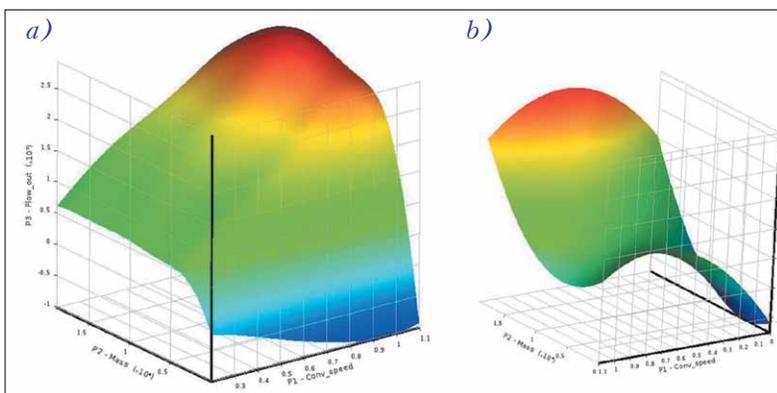


Рис. 5. Поверхность отклика, полученная в ходе анализа ROM, позволяет прогнозировать показатели в любой момент времени: а) вагонетка; б) питатель

Валидация цифрового двойника

Поскольку у инженеров не было возможности фиксировать количественные данные в ходе реального процесса добычи угля, [для проверки] они создали в среде Rocky DEM еще одну модель, включившую параметры, которые не входили в ROM, и затем сравнили полученные результаты.

Анализ в среде Rocky DEM заменял собой отсутствующие данные измерений физического

процесса. Проверка достоверности предполагала моделирование выгрузки двух 20-тонных вагонеток на конвейере, движущиеся со скоростью 0.35 м/с; скорость конвейера питателя составляла 0.46 м/с.

Поскольку расчеты проводились в программном продукте Rocky, результаты для заданной точки были точными (а не оценочными, как в случае использования ROM).

Полученные в Rocky DEM результаты оказались очень близки к тому, что дало численное моделирование в среде ANSYS Twin Builder (рис. 6). Это доказывает целесообразность описанного подхода для построения моделей пониженного порядка, а также для прогнозирования точных локальных результатов.

Резюме

Преимущества цифрового двойника намного превышают прилагаемые усилия. Имеются такие возможности как:

- Связь с IoT-платформой для прогнозирования операций и предотвращения нежелательных результатов.
- Использование моделей пониженного порядка (ROM), позволяющих мгновенно видеть влияние переменных на работу системы, чтобы вносить более обдуманные изменения в её работу.
- Модификация ROM, позволяющая учесть просыпанный груз.

- Использование ROM для оптимизации работы системы.
- Возможность встроить ROM-модель в контроллер с программируемой логикой (PLC), который будет управлять скоростью конвейера в автоматическом режиме.

Таким образом, как мы видим, цифровые двойники имеют огромный потенциал. 📖

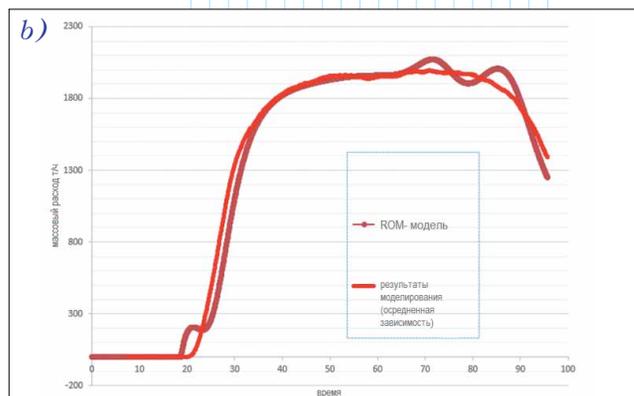
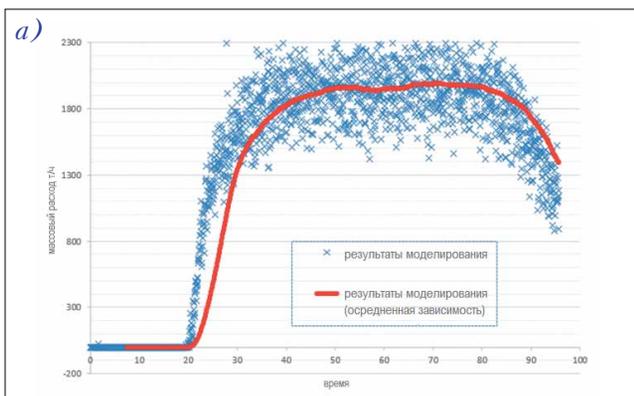


Рис. 6. Полученные в DesignXplorer поверхности отклика питателя: а) численное моделирование в среде Rocky DEM (символы голубого цвета показывают, как программа генерирует частицы разного размера, чтобы варьировать выходные данные); б) сравнение ROM с усредненными результатами моделирования