

Модульное конструирование ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

В прошлом при расчете динамики и прочности подвижного состава его механические и электрические компоненты, а также программные блоки системы регулирования и управления рассматривались обособленно, проектировались с использованием специального инструментария моделирования, а затем по отдельности оптимизировались. В связи с постоянно изменяющимися требованиями заказчиков, предъявляемыми ко всей системе, либо к тяговой мощности, либо износу, данный подход к решению задач оказывался во многих случаях неприемлемым. Ряд явлений, основанных на взаимодействии электрических и механических компонентов, не входил в рассматриваемую совокупность и поэтому не учитывался надлежащим образом в процессе проектирования и конструирования. С целью интеграции механических и электрических компонентов при компьютерном моделировании подвижного состава была разработана и внедрена в практику новая методика.

Компоненты ориентированной методики и продукт ориентированного подхода

Чтобы оптимизировать поведение всей системы, в прошлые годы компания Siemens в рамках собственных научно-исследовательских проектов уже разработала некоторые инструменты моделирования, с помощью которых модель единицы подвижного состава отображалась как мехатронная система. Эти работы характеризуются двумя принципиальными направлениями разработки: аппаратное обеспечение и программное моделирование с блочным или модульным построением. Главным принципом данной методики является ориентация на компоненты. Каждая подсистема (например, электрическая часть, тяговый привод, ходовая часть) представляет собой достаточно подробную модель из сво-

их компонентов, но для близкого к реальности моделирования требуется показать в местах сопряжения как минимум элементарную модель всей системы. Такую общую модель в целом составляют менее укрупненные компоненты.

Данная методика наряду с однородностью в степени детализации подсистем имеет недостаток: не гарантирует совместимость данных, потому что изменение одного компонента, не подвергающегося моделированию в собственной подсистеме, не ведет к автоматическому изменению всей модели. Таким образом, возможно, что для решения одной и той же задачи отдельные подсистемы из-за разных уровней моделирования дают различные результаты.

Реальный продукт «Единица подвижного состава» составляется из компонентов, представленных с одинаковой степенью детализации. Модель этого продукта должна быть

построена точно на таком же принципе. Электрическая часть, тяговый привод, ходовая часть и пр. должны быть скомпонованы в единую общую модель, на базе которой строится подробная модель подсистемы, которую нужно исследовать. Тем самым достигается гарантия того, что изменение одного компонента сразу же отразится на всей модели.

В данном случае результаты моделирования становятся более удобными для обработки и позволяющими непосредственное сравнение.

На базе этой основополагающей концепции было выполнено дальнейшее развитие и совершенствование компьютерной модели единицы подвижного состава в виде связанных электрических и механических систем. Трудности, с которыми сталкивается разработчик модели, — это, во-первых, нахождение соответствующей степени детализации для данной задачи, во-вторых, выбор соответствующего инструмента моделирования для каждого компонента и, в-третьих, обеспечение тесного сотрудничества различных предприятий и специалистов концерна.

Принципы моделирования

Для того чтобы при разработке проектов выполнялись рассмотренные требования, специалисты должны следовать приводимым трем принципам, сформулированным в виде инструкций.

Многоуровневое моделирование и модульное построение

Реальный компонент единицы подвижного состава можно представить в виде модели разными способами, начиная от простого математического аналога и кончая сложной моделью для исследования с помощью соответствующей компьютерной программы.

Однако не каждый уровень сложности одинаково пригоден для решения любой задачи. Слишком простая модель при определенных обстоятельствах не учитывает важности взаимодействия, в то время как слишком сложная модель наряду с громоздкостью расчетов также имеет много недостатков, скрывающих важные взаимосвязи.

Благодаря модульному построению можно решить проблему путем моделирования до адекватной степени детализации. При этом модуль механической части включает тяговую передачу, тележку и кузов вагона; электрической части – систему тягового оборудования, в том числе схему регулирования силы тяги и зависимости, отражающие динамику двигателя и датчиков.

Указанные подсистемы обычно моделируют по трем или четырем различным уровням сложности, причем первый уровень образует только самые основные характеристики, второй создает стандартную модель, а более высокие уровни предназначены для решения узких специфических задач.

Например, модель для многократного моделирования двигателя можно построить в варианте с жесткой или упругой опорой двигателя и жестким или упругим на кручение и изгиб валом.

Простую конструкцию (жесткие опоры и вал двигателя) можно использовать для исследования устойчивости движения единицы подвижного состава или грубой оценки сил, действующих между тяговым приводом и тележкой. Самое сложное моделирование (упругие опоры двигателя и упругий на кручение и изгиб вал) используется для расчета прочности компонентов двигателя и выбора конструкции подшипникового узла двигателя.

Компоненты ходовой части также можно представить с разными степенями детализации (рис. 1). Так, управление колесной парой можно отобразить на самой простой модели с низкой степенью детализации и линейной жесткостью для линейного системного анализа и на сложной модели с самой высокой степенью детализации, в которой учитываются резиновые элементы с жесткостью, зависящей от частоты и амплитуды колебаний.

Мультифизическое моделирование и интеграция

Для каждого физического компонента единицы подвижного состава существует свой особый метод моделирования. Так, механические компоненты строятся преимущественно с помощью многократного

моделирования (MKS) или метода конечных элементов (FEM). Для моделирования электрооборудования и аппаратного обеспечения используются разнообразные физико-технические программы САПР. Если требуется создание полной модели, то можно выполнить совместное моделирование на базе различных инструментальных расчетов или интеграции всех компонентов в рамках единой платформы моделирования.

В связи с тем что совместное моделирование оказалось сложным и трудоемким, было решено использовать программу Simpack в качестве стандартной платформы интеграции системы MKS. Все подмодели, составленные в программе Matlab/Simulink для электрооборудования и аппаратного обеспечения, вошли в программу MKS через экспорт из Simulink в качестве элемента привода, или силового элемента.

Модуль тягового привода включает модель всего тягового электрооборудования и соответствующих систем управления и регулирования.

Пользователь в этом случае выбирает только конфигурацию привода (индивидуальное регулирование осей или групповое различных видов) и задает желаемую силу тяги как функцию времени.

Исходя из этого, модуль тягового привода определяет величину момента, возникающего в магнитном зазоре тягового двигателя. Через модель датчика измеренное значение частоты вращения осей или тяговых двигателей вновь подается в модуль тягового привода, благодаря чему учитывается динамическое взаимодействие между электрической и механической частью, а также системой управления в самой модели.

Аналогично в общую модель можно ввести упругие компоненты из MKS- и FEM-моделей.

Таким образом, теперь впервые стало возможным совмещение комбинированного моделирования электрической и механиче-

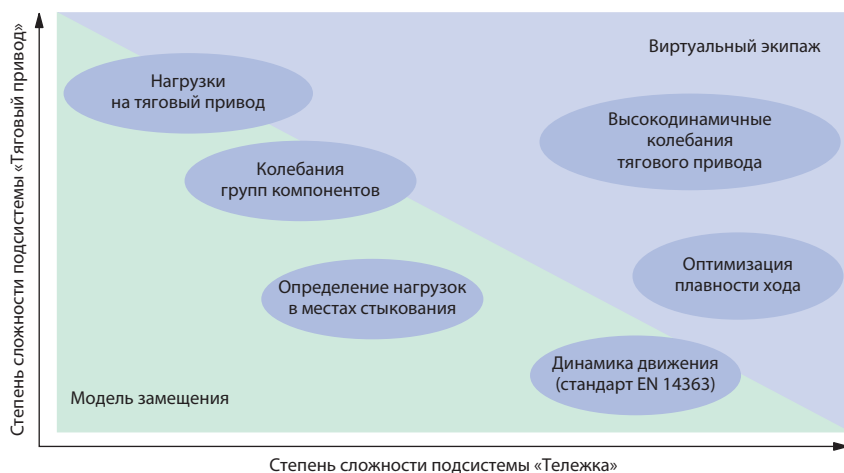


Рис. 1. Требования к степени детализации элементов модели

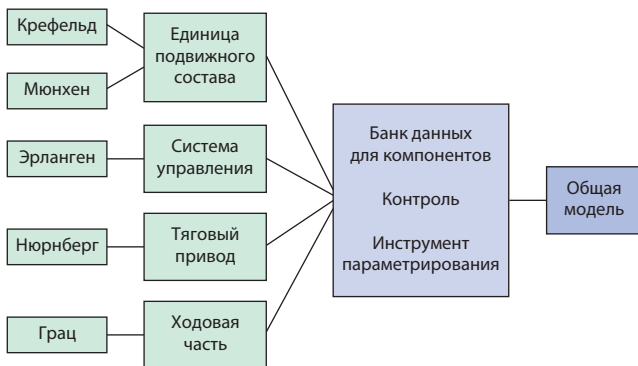


Рис. 2. Построение общей модели по данным предприятий концерна Siemens

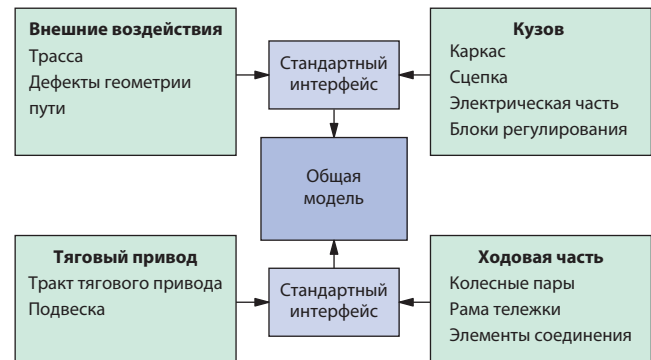


Рис. 3. Формирование общей модели из программных модулей

ской части во временном диапазоне с линейным анализом связанных систем.

Обработка и управление данными, поступающими со всех предприятий

Моделирование компонентов осуществляется на разных предприятиях и в различных отделениях концерна (рис. 2). Условием требуемого эффективного управления результатами моделирования стало раздельное рассмотрение структуры модели и ее параметров, а также самой модели, ее внешних факторов и сценария расчета.

Чтобы обеспечить унификацию структуры параметризации теперь уже отдельно от моделей, все параметры их (как и отдельные элементы моделирования) получили точные условные обозначения.

Общая модель строится по предварительно установленным местам сопряжения из компонентов структур кузова вагона, тележки и тягового привода, а также путем определения внешних воздействий и их сценария. Необходимые для этого отдельные программные модули (в том числе параметры модели) заносятся в структурированные базы данных (рис. 3).

Чтобы гарантировать беспрепятственную и полную обработку и использование данных, следует размещать эти базы данных на общем сервере моделей под особым контролем. Управление файлами моделей, хранящимися в базе данных, осуществляется через пользовательский интерфейс собственной разработки.

Применение

На базе такой модели теперь можно моделировать поведение единицы подвижного состава в рамках выбранной программы MKS. При этом любую подсистему модели легко можно перевести на более сложный уровень моделирования, что позволяет варьировать не только параметры, но и структуру модели.

Так, на модели можно заменить, например, привод с опорно-осевой подвеской на частично или полностью подрессоренный, чтобы уже на этапе разработки исследовать влияние конфигурации привода на силы, действующие между колесом и рельсом.

Благодаря такой возможности обеспечивается более эффективная разработка платформ и концептуальных проектов.

Прочие изменения касаются исследования и оптимизации взаимодействия системы управления приводом с механической частью. Примером служит анализ колебаний тягового привода при индивидуальном и групповом регулировании моторных осей. Кроме того, можно составлять сценарии, в которых главная роль отводится поведению всей системы (например, в отношении износа), движению в кривой или определению возникающих при эксплуатации нагрузок, действующих на тележку и привод и используемых для расчета прочности.

Итак, метод модульного конструирования на базе компьютерных программ позволяет исследовать единицу подвижного состава с ее электрическими и механическими подсистемами и на модели рассчитывать и оптимизировать эту систему по ее динамическим характеристикам с учетом внутренних связей.

По материалам компаний Siemens Industry Mobility (www.mobility.siemens.com), Технического университета Дрездена (<http://tu-dresden.de>), Технического университета Берлина (<http://www.schieneinfz.tu-berlin.de>); Eisenbahningenieur, 2010, № 1, S. 27 – 29.