



## ➤ МОДЕЛЬ-ОРИЕНТИРОВАННЫЙ ПОДХОД НА ПРИМЕРЕ BIM-МОДЕЛИРОВАНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

*Связывание информации из разных дисциплин в проектировании и строительстве может быть сложным процессом с неочевидными методами решения. Оно требует соединения и систематизации существующих информационных структур, использующих программное обеспечение от разных, иногда конкурирующих производителей. Между тем систематизация и устранение барьеров при передаче информации являются ключом к повышению производительности в отрасли, которая сегодня переживает одну из самых серьезных трансформаций в своей истории. Попробуем разобраться в вопросе на примере проблемы интеграции дисциплины анализа конструкций в информационное моделирование зданий (BIM).*

С приходом цифровых технологий в отрасль архитектуры, проектирования и инженерной оценки зданий (отрасль АЕС) стало очевидно, что каждый из нас теперь должен разбираться в управлении информацией. Сейчас вершиной эффективной работы с информацией считается технология информационного моделирования зданий (BIM — Building Information). Если вы следите за публикациями в области информационной технологии для архитектуры и строительства, эта тема должна быть уже знакомой для вас. Информационное моделирование имеет множество определений на нескольких концептуальных уровнях (от инструмента до целой парадигмы проектирования), но то главное, на что опира-

ются все преимущества BIM, — это информация. Структурированное хранение информации, позволяющее обеспечивать бесшовную совместную работу с ней различных участников проекта — это главный козырь BIM, предмет большинства презентаций, книг и дискуссий, касающихся данной технологии.

Вполне возможно, что вы знакомы также с редкой по интенсивности дискуссией о применении, внедрении и обучении технологии BIM, которая уже не первый год ведется в Интернете. Примером может служить "перегретая" полемика вокруг статей BIM-евангелиста Владимира Талапова "Технология BIM: что можно считать по модели здания" и "Технология BIM: в основе лежит единая модель!" (ссылки на источники — в конце статьи). Во всех дискуссиях о применимости BIM — как среди отечественных, так и среди западных экспертов — обсуждение рано или поздно затрагивает вопрос используемых моделей. Можно ли с помощью BIM смоделировать ту или иную конструкцию, рабочий процесс, инженерный феномен, расчетную процедуру? Является ли тот или иной вид моделирования или же сама создаваемая модель частью BIM, частью BIM-модели? И наконец, какова структура и взаимоотношение разных моделей, специализированных и общих, и целесообразна ли интеграция специализированных моделей в единую? Как правило, эти вопросы попросту гибнут в полемике, но упорство, с которым

они вновь и вновь возникают, требует отдельного осмысления места моделирования в современном, насыщенном информацией рабочем процессе. Поэтому мы попробуем освободить от BIM-контекста проблематику процессов и моделирования. Передний край информационного фронта не исчерпывается лишь парадигмой BIM: основой для производительного процесса может стать подход к организации взаимодействия между специализированными моделями, так называемая *модельная инженерия* (model-based engineering).

### Что означает "инженерия на базе моделей"?

Как и многое в управлении информацией, понятие об инженерии на базе модели пришло из машиностроения.

Согласно отчету американского Института стандартов и технологий, модель — это численная абстракция (упрощенное формальное представление) структуры, поведения, метода функционирования и других характеристик системы из реального мира. Модель используется для описания проектной информации, имитирования реального поведения, определения процесса. Инженеры применяют их для сообщения информации об изде-лии или иного определения формы, назначения и функциональности.

Модели могут быть численными или описательными. Численные модели предназначены для компьютерной обра-

ботки и обладают машиночитаемым форматом и синтаксисом. Описательные интерпретируются человеком и предназначены для обработки людьми (то есть имеют символическое представление и описание).

Практически любую инженерную работу и многие виды творческой архитектурной деятельности можно описать в виде работы с абстракцией — моделью, определив три элемента: входные данные, результат и метод (алгоритм) получения этого результата из имеющихся входных данных.

Инженерия на базе моделей — подход к организации процесса работы над информацией путем определения используемых моделей, интеграции их между собой, а в идеале — объединения описательных и вычислительных моделей. Ранние модели в АЕС предназначались исключительно для чтения человеком-оператором. Теперь существует множество стандартных форматов обмена для автоматизированного обмена инженерными данными; модели могут напрямую обрабатываться другими инженерными приложениями.

Два критических фактора дают инженерии на базе моделей значительное преимущество по сравнению с инженерией, основанной на чертежах и документах: во-первых, обрабатываемость компьютером, во-вторых, ассоциативность данных между моделями. Через ассоциативность возможно достижение режима сквозного моделирования, характеризуемого наличием уникального источника актуальной информации (Single Source of Truth), когда данные в рабочем процессе не дублируются в нескольких моделях, а извлекаются по ссылкам-ассоциациям из источника актуальных данных.

В документо-ориентированной среде пользователь должен интерпретировать результаты работы модели в виде документов и вручную передавать данные на вход пользовательского интерфейса каждой из используемых инженерных программ, которые создают собственную внутреннюю модель, начиная с расчетных процессоров и заканчивая программами автоматизации изготовления. В парадигме инженерии на базе модели программы читают входные данные непосредственно из моделей, представляющих собой полное описание объектов инженерной работы.

Моделирование рабочего процесса — это отдельная большая тема, которая не является предметом статьи, однако следует отметить, что представление инженер-

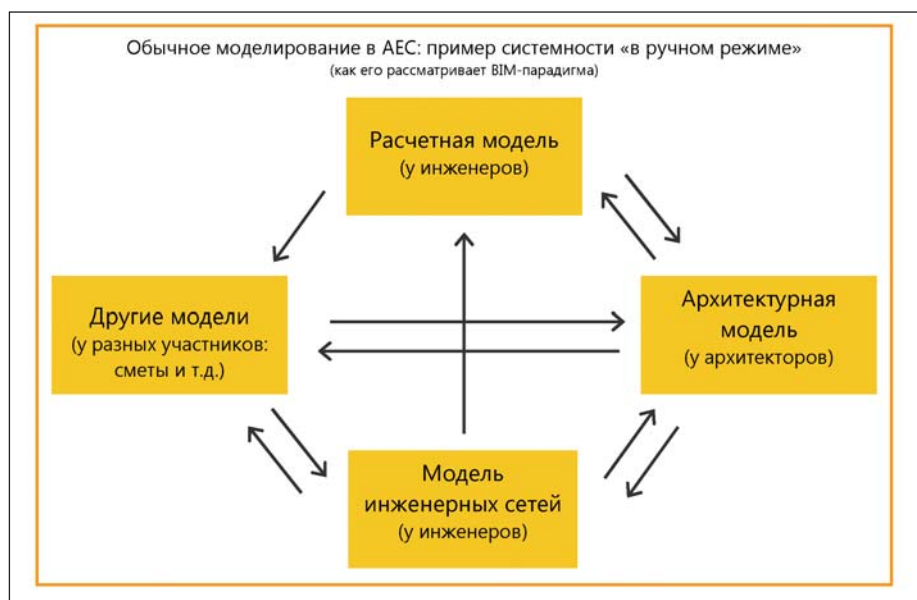


Рис. 1. Классическая схема моделей в рабочем процессе и обмена данными между ними

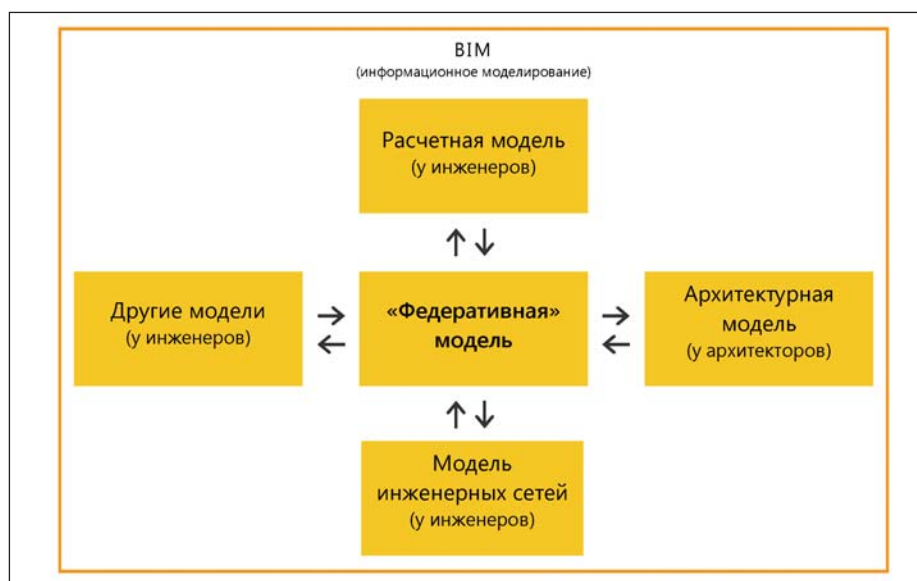


Рис. 2. Идеальная схема взаимодействия моделей в ряде вариантов парадигмы BIM

ной работы в виде комплекса моделей с взаимосвязанными входными и выходными данными позволяет перейти к целостному моделированию всего рабочего процесса на различных его этапах, причем методы такого моделирования могут не ограничиваться популярными сейчас методами BIM.

### Проблемы конструкционного BIM с точки зрения модельного подхода

В качестве практического примера попробуем охарактеризовать с точки зрения модельного подхода такую интересную дисциплину, как конструктивный анализ (расчет) конструкций в рамках парадигмы информационного моделирования. Начнем с общей картины. На рис. 1 по-

казаны отношения между различными специализированными моделями при обычном режиме работы (в отличие от парадигмы информационного моделирования, один из вариантов которой приведен на рис. 2).

Очевидно отличие подходов — в дополнительной центральной модели (так называемой "федерированной"), которая отвечает за синхронизацию и централизованное проведение изменений в подчиненных специализированных моделях (рис. 2). Многим экспертам по BIM такая система видится наиболее правильной, однако большинство реальных внедрений BIM остаются на уровне рис. 1 с обменом данными между конкретными специализированными моделями.

С точки зрения BIM, задача расчета конструкций является просто одним из видов специализированных задач анализа информационной модели, которую следует решать в рамках BIM-парадигмы.

Если принять эту точку зрения, то существует ряд распространенных в контексте информационного моделирования зданий представлений о том, как следует проводить расчетный анализ конструкций зданий и сооружений:

- всю информацию о цифровом представлении здания и его систем следует собрать в единую информационную модель;
- архитектурную модель можно полностью интегрировать с "конструкторской" в такую единую модель и бесшовно переходить между этими разновидностями представлений модели сооружения с сохранением всей однажды введенной информации о конструкциях (то есть реализовать вышеупомянутую концепцию уникального источника).

С экстремальной точки зрения на рис. 2 все данные в BIM должны существовать в рамках *единой модели*, при этом набор используемых инструментов достаточно жестко ограничен имеющимся арсеналом ПО того вендора, которому принадлежит авторство основного используемого BIM-пакета (к единой модели мы еще вернемся).

### Детализация модельного подхода к конструкциям: терминология

Для дальнейшего анализа нам придется разобраться с некоторыми терминами. На небольшом примере рассмотрим три вида моделей конструкций.

1. **Физическая**, она же — *архитектурная модель*. Ее главный признак — строгое соответствие формы элементов модели тому, что должно быть возведено в реальности. Физическая модель — распространенный результат работы архитектурных BIM-пакетов. Строго говоря, даже плоские планы здания можно считать очень простой физической моделью, но мы ограничимся пониманием того, что результат моделирования конструкций в BIM со всеми атрибутами (перегородки, "пироги" стен, оборудование, даже мебель) — это физическая модель.
2. **Конструктивная модель**, часто неправильно называемая "аналитической" в материалах, относящихся к программе Revit Structure. Конструктивная модель состоит из конструктивных элементов (колонны, балки, пла-

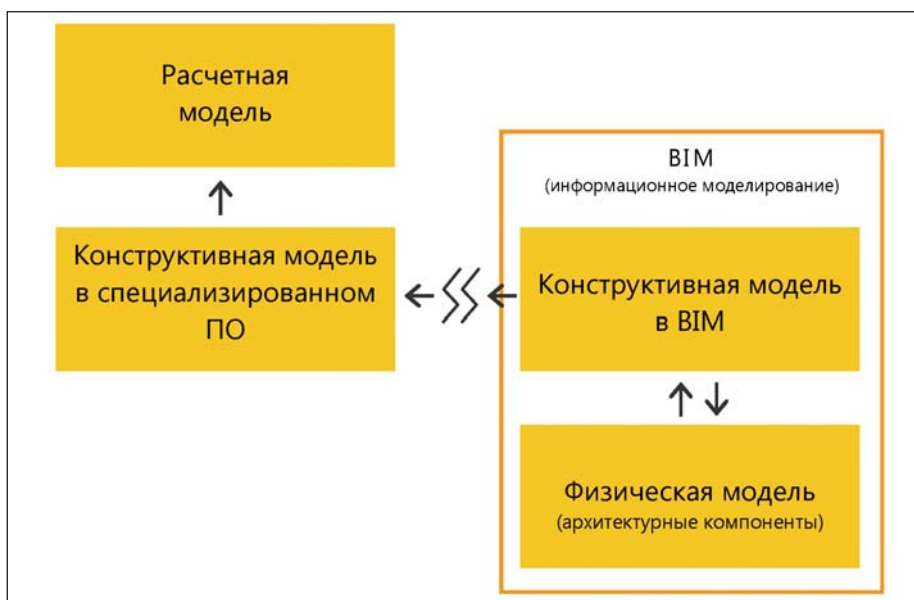


Рис. 3. Фрагмент системы BIM-моделей, относящийся к расчетам конструкций

стины, грунтовые массивы и т.д.), специальных элементов (связи, жесткие вставки, нуль-элементы, шарниры и великое множество зависящих от среды реализации тонкостей) и целого набора свойств и параметров для анализа. Это (очень грубо говоря) то, что раньше рисовали на бумаге и называли "расчетной схемой". Конструктивная модель — не воспроизведение формы объекта, а *абстракция* еще более высокого порядка, чем архитектурная модель, призванная наилучшим, простейшим образом отобразить механические особенности деформирования конструкции. В классическом образовании самым близким предметом для конструктивной модели является строительная механика.

3. **Расчетная модель**, которая для нас сейчас почти соответствует понятию "конечно-элементная модель", она же — *численная модель*, строится на базе конструктивной и передается непосредственно на расчет в специализированную программу анализа. Строго говоря, все расчетные модели делятся на два больших математических класса задач: аналитические модели и численные модели. Аналитическая модель (простые примеры: символьная формула, расчетный лист в MathCAD, расчет по нормативным документам) реализуется так называемыми *аналитическими методами*, позволяющими получить решение в виде формулы. Численная модель требует итерационного процесса ре-

шения численными методами. Все конечно-элементные решатели (например, ЛИРА, Autodesk Robot, ETABS) используют численное моделирование конструкций.

Вот от этих определений мы теперь и будем отталкиваться. Для простоты не станем касаться других видов моделей — например, конструкторских, к которым относятся смоделированные в 3D результаты расчета и конструирования армирования. По выбранным нами критериям такая модель будет относиться к категории физических, поскольку воспроизводит действительную форму элементов. Мы сейчас не пытаемся отобразить реальную сложность процесса моделирования конструкций, а только устанавливаем некоторые базовые понятия: категории моделей и их упрощенные отношения между собой.

Уяснив все написанное выше, попробуем описать проблематику BIM-подхода к расчетам несущих конструкций на базе модельного подхода.

### Суть проблематики BIM для расчетов конструкций с точки зрения анализа процесса моделирования

Итак, мы имеем трехуровневую категоризацию моделей.

Теперь вспомним, что речь идет о парадигме BIM, и покажем, как в рамках BIM и модельного подхода эти категории моделей взаимодействуют между собой (рис. 3).

"А ну-ка, стоп! — скажете вы. — Почему на рисунке конструктивная модель появляется два раза?"



Дело в том, что конструктивные модели бывают разные. Среди них есть интегрированная в состав BIM и полностью соответствующая физической (то есть архитектурной модели). Именно об этом виде конструктивной модели говорят BIM-энтузиасты, когда рассуждают о единой информационной модели сооружения.

### Совместимая с BIM конструктивная модель

Построить такую конструктивную модель сложно, но можно. Программы, которые заявляют наличие минимальных функций вывода данных из BIM, приведены в списке совместимости IFC.

Основные проблемы, возникающие на этом этапе — технические. Трудно бесшовно работать с конструктивной моделью на уровне BIM, поскольку у анализа конструкций есть масса технических нюансов, реализация которых зависит от конечной программы, в которой будет выполняться расчет (на этапе численной модели). Продуктов, действительно предназначенных для работы именно с этим видом конструктивной модели (например, Revit Structure), на самом деле немного.

С такой конструктивной моделью можно работать, применяя средства моделирования от разных вендоров (а комбинировать решения от разных вендоров нужно, следуя простому и универсальному принципу: выполнять специализированный вид работы в том продукте, который лучше всего для нее предназначен), но сколько-нибудь эффективные результаты получаются, конечно, при использовании линейки программ одного производителя.

### Совместимая с расчетами конструктивная модель

А что же другой вид конструктивной модели, отсеченный от остального BIM-процесса (мы здесь по-прежнему рассматриваем рис. 3)?

Дело в том, что для качественного анализа конструкции недостаточно попросту преобразовать полученную из BIM конструктивную модель в расчетную модель для нашей программы-решателя. Ведь совместимая с BIM конструктивная модель полностью аналогична физической и, следовательно, отражает точную форму конструкции, что нам как расчетчикам совершенно не нужно.

Парадокс расчетного анализа состоит в том, что отражать точную форму конструкции совсем не обязательно. Ведь, как

мы уже узнали, предназначение расчетной модели — абстрагирование от действительной конструкции с целью максимально простого моделирования ее механической работы.

Из-за такого абстрагирования от реальной формы конструктивная модель, пригодная для расчетов, становится *топологически несовместимой* с моделью из BIM. Это значит, что мы не просто переходим к конструктивной модели при помощи инструмента вроде Structural Adjust (из продукта Autodesk Revit). Мы нарушаем целостность связей, номенклатуру объектов — все, что можно нарушить в модели. Мы можем поменять колонны на стены и, наоборот, заменить два объекта одним, разнести элементы в пространстве из-за особенностей расчета конкретной FEA-программы, убрать связи между элементами и смоделировать их через подходящую специальную функцию, доступную только в избранной нами программе анализа — короче говоря, сделать все, чтобы результат так же мало походил на исходную подложку из BIM, как BIM мало походит на исходные двумерные DWG-кальки.

Напоследок в качестве примера приведем два относительно простых случая топологической несовместимости, которые оказались у меня под рукой.

1. Учет разбиения на конечные элементы соединений. На рис. 4 показана, допустим, железобетонная раampa с окружающими ее стенами. В местах с плохой сеткой потребуется видоизменять конструкцию, причем приемы ее изменения могут зависеть от выбранной инженером конечной расчетной программы.
2. А вот более серьезный случай топологической несовместимости с исходной моделью (рис. 5). Серый цвет — это монолитные стены реакторного отделения унифицированного энергоблока ВВЭР-1000 (то есть физическая модель в терминах нашего анализа). Цветные жирные линии — проекции стен в том положении, в котором они пойдут в конструктивную модель для динамического анализа. При этом целью была минимизация "плохих" пересечений стен между собой и со стенами следующего этажа, который имеет совершенно другую планировку. Второстепенные несущие элементы отбрасывались вовсе, иногда их свойства включались в соседние элементы по широко распространенной в анализе конструкций методике "размазывания" сечений.

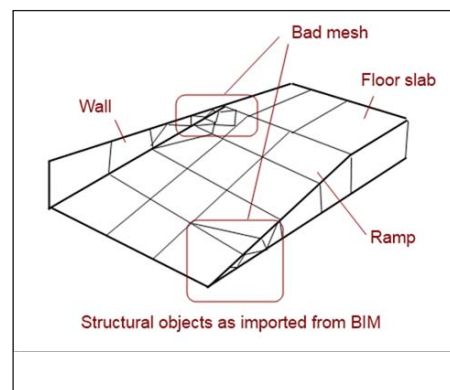


Рис. 4. Пример одного из узкоспециальных вопросов, которые портят красоту парадигмы единой модели для BIM

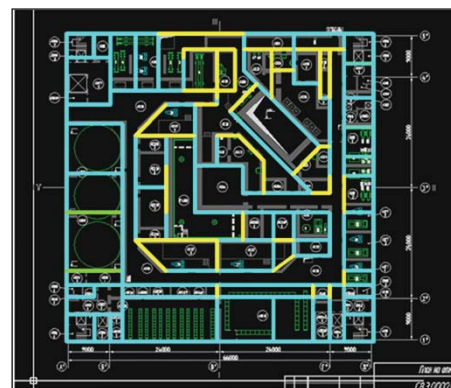


Рис. 5. Два топологически несовместимых вида моделей: архитектурная (серая подложка) и конструктивная (цветные линии)

### Результаты анализа модельной структуры BIM для расчетов

Если мы хотим поместить информационное моделирование конструкций зданий в рамки единого процесса моделирования, то появляются серьезные проблемы с обменом информацией в экосистеме обслуживающих проектирование моделей. Первая проблема — техническая (сложность автоматизации модели и передачи информации без потерь на расчет), вторая — концептуальная, на уровне топологии моделей (непригодность BIM-совместимой модели для анализа в силу принципиальной разницы исполняемых ролей: в одном случае — точного *воспроизведения формы*, в другом случае — *абстракции*, призванной описать механическую работу конструкции).

### Дискуссия

Публикация материалов в Интернете хороша тем, что может вызвать солидно документированную дискуссию между людьми, которые вживую никогда бы не встретились. Так произошло и на этот раз. Вот лишь некоторые из коммента-

риев специалистов отрасли, касающиеся конструкционного BIM.

"Есть одно замечание. Раз уж есть такое стремление к чистоте терминов. Под физической моделью часто понимается макет или "аналоговая модель". Мне кажется, уж лучше оставить просто "архитектурную модель", ведь это тоже в рамках функционального типа модели, как и "конструктивная". А то сбивает. В качестве прюфлинга могу указать Коэна "Строительная наука XIX-XX веков". <...> "Единая модель" опять же намекает на включенность в нее всего того, чего в ней на самом деле нет. Может, "рабочая архитектурная модель"? Будет даже логическая связка с "рабочей моделью" ренессанса". (Антон Алтунян, [www.aaltunian.ru](http://www.aaltunian.ru))

"Волей-неволей закрадывается мысль о желании автора изначально "завалить" BIM, ничего стоящего не предлагая взамен. BIM выставляется как серьезно-несовершенная технология моделирования/проектирования, хотя всем понятно, что идеалов не бывает, это сделано не инопланетянами (вариант Талапова).

Это некрасиво по отношению к ищущему истину неискушенному читателю. Нужна какая-то объективность или уравновешенность что ли, речь-то идет о серьезной технологии, которую успешно использует масса серьезных специалистов.

На мой взгляд (подкрепленный большим опытом), две якобы серьезные проблемы BIM на самом деле не критичны и нормальны для сегодняшнего этапа развития технологии. Ошибки и проблемы "допиливаются", и успешно. По крайней мере, в своей архитектурно-конструкторско-расчетной работе, реализуя проекты в BIM-среде, я их просто ... не заметил, и получил на выходе то, что нужно мне, заказчику и экспертизе. А что еще нужно?

Получается, что "успеха достигает только тот, кого вовремя не предупредили, что это невозможно". Вот автор "заботливо" и предупреждает ищущих истину, что полноценно работать в BIM невозможно. Мой совет: не бойтесь их! "Стучите в BIM — и вам отворят" (Николай Васюта, <http://revit-robot.blogspot.com>).

"Мне вдруг все стало понятно. У нас, архитекторов, похожая история с моделированием, например, в Rhino и экспортом всей модели на станок. И там начинаются зашивание дырок в сетке, перемоделивание самих поверхностей и т.п. Мой пример не очень корректен, но в целом я понял, о чем Саша говорит. Различение терминов в этой крайне

важной области строительства обеспечивает надежность конечного решения. Постоянный критический взгляд на проектирование. Мне понравилась реплика Волкодава: "Повторюсь, на сложных объектах расчетчик должен поднимать модель сам, с нуля. Для того, чтобы знать ее как свои пять пальцев. Хотя ночью разбуди. Наизусть". Очень для меня понятно. Ты ответственен за каждый полигон в таких моделях, и этот уровень ответственности нельзя сравнить с архитектурной областью. Мне все это напоминает нашу дигитальную архитектуру — поначалу многие пытаются с помощью алгоритмов решить все проблемы (от формообразования до симуляции потоков чего-либо). Однако позже выясняется, что такой "эволюционистский" подход не может решить все проблемы. То есть упование на "новую" технологию способно поставить в тупик весь проектный процесс. Схожая ситуация с BIM — объявив эту среду (настаивая на этом понятии для данного случая) наилучшей технологией для проектирования, мы получаем опасную ситуацию. Пока не пришло то критическое видение, которое позволит разводить области на нужном этапе, а в нужный момент объединяться. Я думаю, Саша, пусть иногда несдержанно и слишком резко, борется против потери различения. Проблема различения вообще философская и очень актуальная для всех сфер нашей жизни" (Евгений Ширинян, <http://pro-sapr.blogspot.com>).

"Особенно убедительны примеры, именно так и бывает на практике. Редко когда не требуется упрощение моделей" (Олег Т., <http://goo.gl/5icQr>).

### АЕС и инженерия на базе моделей — перспектива будущего

Одно из следствий модель-ориентированного подхода к инженерной работе можно сформулировать следующим образом: "Ищите способы автоматизированного обмена данными между своими специальными моделями, а если их нет, значит, надо приниматься за их создание самому, не дожидаясь вендоров, потому что здесь скрыто настоящее сокровище, обеспечивающее эффективность работы".

Приведенный в статье простой анализ моделей в BIM для расчетов конструкций, конечно, открывает лишь малую часть возможностей, которыми обладает подход на базе моделирования к инженерной работе в отрасли АЕС. Мы не затрагивали такие заманчивые темы, как моделирование рабочего процесса в це-

лом, учет развития во времени не только здания, но и самого процесса инженерной работы над объектом. Остались нераскрыты соблазнительные параллели между старым испытанным понятием технологических карт и процессом выравнивания связей между рабочими моделями. Мы совсем не касались одной из главных проблем модель-ориентированного подхода — разработки открытых транспортных форматов данных и протоколов обмена между разнородными специализированными программами, которые позволили бы реализовать автоматизированный бесшовный обмен данными между моделями.

Однако если довольно молодую и страдающую от недостатка публикаций и материалов тему инженерии на базе моделей проработать подробнее, то я уверен: перспективы повышения производительности открываются замечательные, поскольку при помощи модель-ориентированных инструментов становится возможным привести уже всем известные преимущества BIM в узкоспециальные области и задачи, где BIM вряд ли в обозримом будущем сможет стать достойной альтернативой "ручному" обмену данными.

### Чтение по теме

Berlo van L. There is no central BIM model and the concept of reference models.

(<http://lnkd.in/9TJ8-B>)

Negro F. All models are purpose-built, even when they're not. (<http://goo.gl/TTKIU>)

Howell I. Model-Based Design Requires More than BIM. (<http://goo.gl/Hyb7S>)

Ярес Э. Почему вам надо понимать модель-ориентированный подход.

(<http://goo.gl/M7ily>)

Статья о конструкционном BIM и ее обсуждение на Writandraw.ru.

(<http://goo.gl/vlbpZ>)

"Опровержение анти-BIM", комментарий к статье в части конструкций.

(<http://goo.gl/ALSIs>)

Талапов В. Технология BIM: что можно считать по модели здания.

(<http://goo.gl/PRVsS>)

Талапов В. Технология BIM: в основе лежит единая модель!

(<http://goo.gl/wHLcW>)

Александр Бауск,  
старший научный сотрудник  
Приднепровской государственной  
академии  
строительства и архитектуры (ПІАСА)  
E-mail: [bauskas@gmail.com](mailto:bauskas@gmail.com)