



**Рим
Юрьевич
ГАЗИЗОВ**

главный специалист отдела
конструктивной надежности
и безопасности объектов
управления строительных решений
Главгосэкспертизы России



**Петр
Александрович
МОДИН**

заместитель начальника отдела
конструктивной надежности
и безопасности объектов
управления строительных решений
Главгосэкспертизы России



**Владимир
Юрьевич
ГРАНЕВ**

директор ООО «ИСТИС»

ПРЕДОСТАВЛЕНИЕ НА ЭКСПЕРТИЗУ РЕЗУЛЬТАТОВ РАСЧЕТОВ В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВОГО ИНФОРМАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

В настоящее время в нашей стране все больше при разработке проектной документации на объекты капитального строительства используются технологии информационного моделирования, для этого создаются соответствующие нормативные документы. Понятие информационного моделирования было введено в Федеральный закон от 29.12.2004 № 190-ФЗ «Градостроительный кодекс Российской Федерации». В нем также указана возможность разработки и предоставления в надзорные органы проектной документации в виде информационной модели. Постановлением Правительства РФ № 1431 от 15 сентября 2020 г. [5] и Постановлением Правительства РФ № 331 от 5 марта 2021 г. [15] установлены требования обязательного применения информационного моделирования при строительстве объектов за счет бюджетных средств в случае, если договор о подготовке проектной документации для строительства, реконструкции объекта капитального строительства заключен после 1 января 2022 г., за исключением объектов капитального строительства, которые создаются в интересах обороны и безопасности государства.



В целях осуществления экспертной оценки проектной документации, результатов инженерных изысканий и информационной модели объекта капитального строительства в Главгосэкспертизе России разработаны Методические рекомендации по подготовке информационной модели, утвержденные приказом № 116 от 19.06.2020. Большая часть требований данного документа использована при разработке изменений в СП 353.1.2018/2017 «Информационное моделирование в строительстве». Правила формирования информационной модели объектов на различных стадиях жизненного цикла». В Главгосэкспертизе России также подготовлен «Словарь терминов» — единственный на данный момент документ, регламентирующий термины в области информационного моделирования.

Однако сопоставление проектных решений с точки зрения механической безопасности зданий и сооружений выполняется посредством оценки их соответствия конструктивным требованиям, изложенным в нормативных документах и не требующим расчетных обоснований, или на основании обоснования результатов расчетов, требования к которому и хранению которых регламентированы ГОСТ 27751-2014 «Надежность, строительные конструкции и основания. Основные положения и требования» и другими нормативными документами [2, 3, 4, 8]. Нормативными документами установлено, что расчеты строительных конструкций должны отражать действительные условия работы конструкций и выполняться с учетом их пространственной работы (Примерные расчетные модели) [7, 11, 12].

К сожалению, в государственных нормативных документах требования к оформлению и составу расчетных

материалов в настоящее время не разработаны. Единственный документ, который регламентирует требования к оформлению и составу расчетных материалов, представленных на экспертизу, — это стандарт Главгосэкспертизы России СТО 1.246-2019, который апробирован с 2016 года, и часть его требований уже включается в проекты изменений отдельных сводов правил.

Впервые проблема оформления и хранения отчетной документации по результатам расчетов в условиях цифрового информационного моделирования была озвучена членами команды «ИВ» в рамках проекта «Экспертиза будущего 3.0», а также способы ее решения с целью сокращения сроков на подготовку заявления отчетной документации по расчетам и снижению трудоемкости их рассмотрения экспертами за счет внедрения требований к предоставляемым на экспертизу расчетам. Актуальность проблемы исследования подтвердили результаты опроса, проведенных среди экспертов, проектировщиков и заказчиков (опрошено 124 эксперта Главгосэкспертизы России и 40 сторонних организаций). По результатам опроса:

- 99% опрошенных специалистов высоко оценили актуальность и необходимость данной тематики;
- 90% специалистов считают, что необходимо предоставлять на экспертизу отчетную документацию по результатам расчетов одновременно с проектной документацией;
- 65% специалистов выступили за возможность автоматического сопоставления расчетной модели с информационной моделью.

Примерные расчетные модели зданий и сооружений, учитывающие пространственную работу строительных конструкций, в нашей стране появились гораздо раньше, чем информационные модели, но несмотря на это на экспертизу представляются результаты расчетов, оформленные на бумажном носителе или в виде статических (замерзших) изображений, вставленных в pdf-файл. Обмен данными между проектными решениями и пространственной расчетной моделью осуществляется инженерами в «ручном режиме», что не исключает ошибок при получении и последующей передаче результатов расчетов по причине человеческого фактора. Для обоснования проектных решений даже одного здания необходимо выполнить большое количество расчетов.

Отслеживать в расчетных моделях, в результатах расчетов и в проектной документации изменения, сопоставлять их друг с другом, проверять соответствие проектных решений исходным данным и результатам расчетов приходится инженеру (эксперту или проектировщику). Одной из сложностей является поиск из большого числа выполненных расчетов нужного для проверки или обоснования конкретного решения. Другая сложность — результаты расчетов, которые представляются в виде текстового документа, содержащего частичные результаты (в связи с большим объемом данных полные данные представить невозможно), или часто они представляются в нечитаемом виде из-за невозможности их визуализации в документе. Таким образом, большое количество времени проектировщиков и экспертов расходуется на поиск

и идентификацию расчетов конкретным проектными решениями и затем сопоставление результатов расчетов с проектными решениями и исходными данными. Для решения обозначенных выше проблем необходимо:

- наладить в проектах автоматизированный обмен данными между информационной моделью и расчетной моделью;
- обеспечить возможность выполнения отчетов по результатам расчетов в интерактивном трехмерном виде с применением универсального неограниченного формата, доступного для просмотра без ограничений через программу проектирования;
- скимать, аппроксимировать и обрабатывать иным способом результаты конечно-элементных расчетов при их добавлении в отчетную документацию и в расчетные модели.

Данный подход даст возможность эксперту восторженно оценивать результаты расчетов и получать ту информацию, которую сейчас представить на экспертизу трудно и сложно. Представление результатов расчетов в примерном интерактивном виде позволит устранить «бумажное посредничество» между экспертом и проектировщиком, даст возможность увидеть эксперту результаты расчетов глазами проектировщика, не вмешиваясь в работу расчетной программы и тем более в процесс проектирования. При этом эксперты и проектировщики смогут одновременно идентифицировать и оценивать получаемые результаты расчетов вне зависимости от того, в каких программных комплексах они будут выполнены. Реализованная подопредметная возможность при внедрении алгоритма данного типа результатов расчетов с использованием информационной моделирования, применяя алгоритм, представленный на рис. 1.

Для внедрения алгоритма необходимо наладить двусторонний обмен данными и интеграцию графических комплексов, в которых выполняются информационные модели и расчетных программ. Это можно сделать путем прямой передачи данных между ними или через универсальный формат обмена данными. Вышеуказанный алгоритм в настоящее время уже частично применяется в информационном моделировании с использованием иностранных программных комплексов.

Информационные модели сейчас передаются на экспертизу в универсальном неограниченном формате, аналогичный принцип необходимо применить и для результатов расчетов. Необходимо записать в нормативных документах понятие «расчетная информационная модель» и создать нормативную базу, определяющую единые требования к составу и содержанию результатов расчетов.

Многие специалисты выражают мнение, что достаточно установить экспертам нужные расчетные программы,



Рис. 1. Алгоритм подготовки результатов расчетов с использованием информационного моделирования

предоставить расчетную схему, и вопрос об оформлении результатов расчетов будет решен.

Реализация данного подхода влечет за собой множество рисков, а именно:

- существует большое многообразие сертифицированных расчетных программных комплексов с разными системными требованиями к оборудованию, на которое оно устанавливается. Увеличение масштаба и количества проектов, которые выносятся на экспертизу, необходимо будет установить на каждый компьютер необходимый набор расчетных программ, а также их версий, что само по себе является затратным мероприятием с финансовой точки зрения;

- объем хранимой информации в базе экспертизы или в ЕРЭЗ значительно увеличится, потребуются увеличение физического объема хранения;

- прежде чем эксперт оценит результаты расчетов, необходимо выполнить этот расчет. С этого момента ответственность за выполнение расчетов с проектировщиком автоматическим образом переходит на выполняющего расчет эксперта, так как большинство программ работает с электронными ключами, в которые записывается информация о лицензиях, оборудовании, на котором выполняется расчет, дата и время выполнения расчета и т. д., таким образом, в ЕРЭЗ будут храниться результаты расчетов, выполненные экспертом, а не проектировщиком. Эксперт при этом вынужден будет стать полноценным участником процесса проектирования, что не допустимо

действующее законодательство. В случае если результаты расчетов, полученные экспертом и проектировщиком, будут отличаться, то могут возникнуть разногласия, так как расчетная схема представлена в формате, доступном для редактирования;

- перечисленные выше недостатки несет материальный и юридический характер, и их можно исключить путем использования дополнительных средств или внесением изменений в законодательство. Однако есть фактор, который в настоящее время человечество не в состоянии управлять, — это время. Большинство заявителей выступает за то, чтобы время на проведение экспертизы было сокращено. Выполнение и рассмотрение результатов расчетов непосредственно в программном комплексе увеличивает время на оценку соответствия проектных решений результатам расчетов в частности и увеличивает время, необходимое для проведения экспертизы в целом, так как с момента начала работы «исполнять расчет» до момента получения результатов расчетов проходит определенное время, необходимое программе для выполнения непосредственно расчета, и на это время повлиять никто не сможет, оно зависит от возможности расчетной программы и оборудования, на которое она установлена. Данное время может занимать от нескольких минут до нескольких дней в зависимости от сложности расчетной схемы, количества расчетных схем и т. д. Кроме того, трата неопределенного количества времени на выполнение расчета не исключает от риска того, что на определенном этапе программа

выдаст ошибку по причине некорректного ввода исходных данных, что приведет к дополнительным затратам времени, проектировщику потребуются корректировать расчетную схему, а эксперту — заново проводить проверку.

Под «расчетной» моделью конструкции понимается совокупность расчетной схемы, выполненной в виде 3D-модели в универсальном открытом формате, и базы данных с аппроксимированными результатами выполненных расчетов, также в открытом формате.

Расчетная схема — это идеализированное описание конструкции соответствует принципам строительной механики, с указанием всей необходимой для выполнения расчетов информации — геометрия, сортировка элементов, физические свойства материалов, характеристики опорных элементов, опорных закреплений и т. п.

Одним из форматов задания расчетных схем в виде 3D-моделей является широко распространенный формат IFC, в котором есть специальная группа сущностей для описания расчетных схем конструкций, обозначенная в стандарте как IfcStructuralAnalysisDomain (ГОСТ Р 10.0.02-2019 / ИСО 16799-1:2018, п. 7.7). Эта группа содержит типы объектов для задания расчетных (аналитических) моделей конструкций, отдельных элементов, опорных закреплений, нагрузок, закреплений и другой необходимой информации. Результаты расчетов могут быть сопоставлены с объектом «расчетная схема» (IfcStructuralAnalysisModel) как задание

ем информации об условиях и смещениях в отдельных стержневых элементах, так и путем задания ссылки на внешнюю базу данных, содержащую сведения о распределении усилий и деформаций в пластинчатых и объемных элементах, но формат таких данных в стандарте IFC не определен.

При этом следует отметить, что в настоящее время в распространенных программах для промонта и анализа моделей в формате IFC поддержка объектов группы IfcStructuralAnalysisDomain практически отсутствует, и рассмотреть и проанализировать такую расчетную схему сейчас не представляется возможным. Поэтому с учетом необходимости вложения расчетных схем в информационные модели зданий ответственным программистам необходимо потребовать для возможности обмена расчетными моделями в формате IFC реализация поддержки группы объектов типа IfcStructuralAnalysisDomain или разработка и поддержка каких-либо других применимых форматов данных.

Для подготовки результатов расчетов не в виде информации согласно отчетной документации, а в виде результатов расчетных моделей в открытых форматах, взаимосвязанных с базами данных результатов неочечных элементов расчетов также в открытых общедоступных форматах, программные комплексы в перспективе должны иметь функцию импорта таких расчетных схем в формат используемых в комплексе исходных данных и также функцию экспорта (преобразования) полученных результатов расчета в открытые универсальные форматы.



Рис. 2. Схема подготовки расчетной модели конструкции

Но, несмотря на то, что данная проблематика уже начала обсуждаться в сообществе разработчиков отечественных программных комплексов, данные общими мемулами пока дело не идет — практически все разработчики пока не осваивают планы по поддержке как-либо открытых форматов данных, сохраняют форматы данных результатов расчетов в закрытом, не документированном публично виде, что не позволяет обеспечить требуемую современными нормативными документами interoperability расчетов комплексов [21] и не поддерживает возможность включения результатов расчетов в информационные модели объектов строительства [8].

При этом если ориентироваться на имеющийся опыт использования расчетов комплексов зарубежных аналогов, то следует отметить, что большинство иностранных расчетных комплексов, как свободных, с открытым исходным кодом (французский Code Astar, немецкий Calculx, финский Elmer и т. д.), так и коммерческих (ANSYS, ABAQUS и т. п.), имеют открытые документированные форматы описания расчетных схем и результатов расчетов и моделирования. Также доступно достаточное число программ-конвертеров, которые переводят описание расчетных моделей из одного распространенного формата в другой аналогичный формат, что позволяет выполнять разнородные строительные расчеты и верификацию их результатов. Такая возможность у определенных пользователей пока нет.

Существенным аспектом использования моделей различных типов и баз данных с результатами расчетов в составе информационной модели объекта строительства является взаимосвязанность сведений, содержащихся в моделях и базах. Помимо взаимосвязанности сведений и информации в информационных моделях пока не детализировано в нормативных документах и стандартах и может пониматься и реализовываться различным образом. Но если понимать под моделью разработку и использование отечественных и зарубежных программных комплексов, информационных систем и систем работы с средой объекта данных для информационного моделирования объектов строительства, то взаимосвязанность, как правило, реализуется в виде прослеживаемости взаимного соответствия элементов в различных моделях, описывающих один и тот же физический элемент объекта строительства.

Для схемы подготовки расчетной модели, показанной на рис. 2, взаимосвязанность сведений в модели обеспечивается тем, что:

- ключевые элементы ключено-элементной модели содержат информацию об элементах расчетной схемы, которые она представляет, нагрузки ключено-элементной модели содержат информацию о соответствующих нагрузках расчетной схемы;

- элементы расчетной схемы содержат информацию о соответствующих элементах модели конструкции, нагрузки расчетной схемы содержат информацию об соответствующих не-исходящих элементах архитектурной моде-

ли или элементах модели инженерного оборудования, а также о принятых коэффициентах надежности по нагрузке и другим сведениям.

- элементы модели конструкции взаимосвязаны с соответствующими им элементами архитектурной модели взаимными ссылками.

При наличии такой информации программное обеспечение для просмотра и анализа результатов расчета сможет визуализировать логическое соответствие элементов в разных моделях, что позволит сделать анализ результатов расчетов более быстрым и эффективными и более четко отслеживать соответствие расчетных схем архитектурному моделированию и моделям конструкций.

Для возможности включения результатов расчетов в состав информационных моделей объектов строительства, а затем наполнения моделей в корпоративных, региональных и федеральных информационных системах, в том числе ЕПРЭ, важным аспектом является разумный объем данных о результатах расчетов, размещаемых в расчетных моделях. Современная практика представления необработанных, «сырых», данных результатов ключено-элементных расчетов, когда для сравнительно небольших конструкций базы данных с результатами имеют размер в десятки и сотни гигабайт, не подходит для технологий информационного моделирования. Актуальной задачей является выработка форматов данных и алгоритмов аппроксимации, позволяющих аппроксимировать и сжимать данные в десятки, сотни раз при обеспечении полноты около 1–2%, что, как правило, является приемлемым для инженерных расчетов и моделирования.

По материалам публикации и докладов на научно-практических конференциях, разработано в этом направлении в ряде отечественных организаций уже выданы, и в обозримом будущем возможно появление программных продуктов, реализующих существующие сканлы «сырых» данных результатов ключено-элементных расчетов для их включения в состав информационных моделей.

Реализация идеи, заложеной в алгоритм подготовки результатов расчетов с использованием информационного моделирования, позволит создать полноценного цифрового двойника объекта капитального строительства. Если цифровой модель это, прежде всего, параметра, связанная с геометрией объекта, то расчетная информационная модель — это его физическое состояние. При наличии цифрового двойника будет возможно его помощью моделировать различные ситуации, которые могут возникнуть на любом этапе жизненного цикла реального объекта строительства. Можно будет реально оценить состояние объекта при изменениях в процессе строительства, эксплуатации, использовать в качестве исходных материалов для проведения обследований, в короткое время оценить предварительные последствия техногенных аварий. Для этого достаточно будет скомпьютеризовать исходные

данные в информационной модели, передать их в расчетный комплекс и получить результаты расчетов. Если подключить цифровой двойника и реальному объекту при помощи измерительных приборов, то будет возможно оценивать техническое состояние строительных конструкций объекта и работоспособность инженерных систем, проводить мониторинг объекта в режиме реального времени.

Выработка единых требований к составу и содержанию отчетной документации по результатам расчетов, обосновывающих проектные решения, предоставляемые на экспертизу однократно с информационными моделями, и переход на оформление результатов расчетов

в интерактивном трехмерном виде позволит сократить сроки на подготовку завершенных отчетной документации по расчетам примерно на 35% и снизить трудоемкость их рассмотрения на 15%.

Для успешной реализации идеи, заложеной в алгоритм подготовки результатов расчетов с использованием информации информационного моделирования, потребуется совместная слаженная работа Министров России, научных организаций, разработчиков отечественного программного обеспечения, сообществ экспертов и проектировщиков, жильцов заказчика.

Первые шаги в этом направлении сделаны в новых нормативных документах [16, 17, 18, 19]. ■

ПРИ ПОДГОТОВКЕ СТАТЬИ БЫЛИ ИСПОЛЬЗОВАНЫ СЛЕДУЮЩИЕ ИСТОЧНИКИ:

1. Федеральный закон от 21.12.2004 № 190-ФЗ «Об архитектурной базе: исходных данных и сооружений».
2. Федеральный закон от 30.12.2009 № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений».
3. «Положение о составе разделов проектной документации и требования к их содержанию», утвержденное Постановлением Правительства Российской Федерации от 16.02.2008 № 89.
4. «Положение об организации и проведении государственной экспертизы проектной документации и результатов инженерных изысканий», утвержденное Постановлением Правительства Российской Федерации от 08.03.2007 № 146.
5. Постановление Правительства РФ от 15 октября 2020 г. № 2311 «Об утверждении Правил формирования и ведения информационной модели объекта капитального строительства, состава сведений, документов и материалов, включенных в информационную модель объекта капитального строительства и представляемых в форме электронных документов, и требований к формату исходных электронных документов, а также о внесении изменений в Положение о выделении инженерных изысканий для подготовки проектной документации, строительства, реконструкции объектов капитального строительства».
6. Приказ Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 29.12.2014 № 104/ПР «Об утверждении Положения о порядке ведения технологической информационной моделирования в области гражданского и градостроительного строительства».
7. ГОСТ 27951-2014 «Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения и требования».
8. ГОСТ Р 21118-2010 «Основные требования к проектной и рабочей документации».
9. СП 353.132.603.2017 «Информационное моделирование в строительстве. Требования формирования информационной модели объектов на различных стадиях жизненного цикла».
10. СП 146.13330.2017 «Стальные конструкции».
11. СП 48.13330.2018 «Бетонные и железобетонные конструкции».
12. «Методические рекомендации по подготовке информационной модели объекта капитального строительства, представ-

ленной на рассмотрение в ГАУ «Госэкспертиза России» в связи с проведением государственной экспертизы проектной документации, а также по схеме информационной модели объекта капитального строительства, утвержденной приказом ГАУ «Госэкспертиза России» № 114 от 19.06.2020.

- 13. «Список терминов нормативной документации, рекомендуемой к использованию с применением терминов технологической информационной моделирования, утвержденный приказом ГАУ «Госэкспертиза России» № 240 от 22.10.2020.
- 14. СТО 1346-2019 «Состав и оформление отчетной документации по результатам расчетов строительных конструкций и оснований зданий и сооружений, предоставляемой на государственную экспертизу проектной документации, утвержденный приказом ГАУ «Госэкспертиза России» № 37 от 26.02.2019. <http://gde.ru/kpdocs/146/Изменениями по оформлению расчетов> [14, 20].
- 15. Постановление Правительства РФ от 5 марта 2021 г. № 321 «Об установлении Случаев, при которых застройщик, застройщик жилищного фонда, осуществляющий подготовку обоснования инвестиций, и (или) лицом, ответственным за эксплуатацию объекта капитального строительства, обеспечивается формирование и ведение информационной модели объекта капитального строительства».
- 16. ГОСТ Р 43.3-2020 «Информационное обеспечение техникой и операторской деятельности. Словарики и взаимосвязи».
- 17. ГОСТ Р 43.4-2020 «Информационное обеспечение техникой и операторской деятельности. Системы «человек — информация». Человеческоформационные взаимодействия в информационной деятельности».
- 18. ГОСТ Р 43.4.16-2020 «Информационное обеспечение техникой и операторской деятельности. Системы «человек — информация». Информационное информационное обеспечение».
- 19. ГОСТ Р 43.4.18-2020 «Информационное обеспечение техникой и операторской деятельности. Системы «человек — информация». Процессы информационно-обменные при осуществлении с проектной техникой-формационными взаимодействиями информационной деятельности».
- 20. ГОСТ Р 18.03.02.1010-2014 ИСО 14799-1:2018 «Строительные базовые классы (BC) для обмена и управления данными об объектах строительства. Часть 1. Схемы данных».
- 21. СП 353.132.603.2017 «Информационное моделирование в строительстве. Требования формирования информационной модели объектов на различных стадиях жизненного цикла».
- 22. СП 353.132.603.2017 «Информационное моделирование в строительстве. Требования формирования информационной модели объектов на различных стадиях жизненного цикла».
- 23. СП 353.132.603.2017 «Информационное моделирование в строительстве. Требования формирования информационной модели объектов на различных стадиях жизненного цикла».