Студенческий научный электронный журнал
StudArctic Forum

ПЕТРОЗАВОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

http://saf.petrsu.ru **http://petrsu.ru**

Издатель
ФГБОУ «Петрозаводский государственный университет»
Российская Федерация, г. Петрозаводск, пр. Ленина, 33

Студенческий научный электронный журнал

StudArctic Forum

http://saf.petrsu.ru

№ 4(8), 2017

Главный редактор
И. В. Савицкий

Редакционный совет
С. Б. Васильев
Г. Н. Колесников
А. Н. Петров

Редакционная коллегия
М. И. Зайцева
А. Ю. Борисов
Т. А. Гаврилов
А. Ф. Кривоноженко
Е. И. Соколова
Л. А. Девятникова
Ю. В. Никонова
Е. О. Графова
А. А. Кузьменков
Р. В. Воронов
М. И. Раковская

Службы поддержки
А. Г. Марахтанов
А. А. Чалкин
Э. М. Осипов
Е. П. Копалева

ISSN 2500-140X

Адрес редакции
185910, Республика Карелия, г. Петрозаводск, ул. Ленина, 33.
E-mail: saf@petrsu.ru
http://saf.petrsu.ru

© ФГБОУ «Петрозаводский государственный университет», 2012

Студенческий научный электронный журнал
StudArctic Forum

ПЕТРОЗАВОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

http://saf.petrsu.ru **http://petrsu.ru**

Техника и технологии строительства

Анализ современного состояния BIM-технологии в строительной индустрии для моделирования нестационарных воздействий

РАХИМОВ Артур Рустемович — *Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, artuurr94@gmail.com*

ПЕРЦЕВА Ольга Николаевна — *Аспирант, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, olya_perceva@mail.ru*

Ключевые слова:
Информационное моделирование зданий
система автоматизированного проектирования; метод конечных элементов; SOFISTIK; CADINP

Аннотация:
В условиях интенсивно развивающейся строительной индустрии наиболее важным аспектом для обеспечения качественного строительного процесса является автоматизация рабочих процессов на всех стадиях строительного цикла. В случае работы с уникальными зданиями и сооружениями и необходимостью решения нетиповых задач, например, задач, связанных с нестационарными воздействиями, особенно важно найти такой инструмент моделирования, который максимально упростит процедуру проектирования и позволит разработать качественные проектные решения с минимальными затратами времени и ресурсов. Другими словами, необходимо применение и развитие различных средств для автоматизации проектных работ, которые сокращенно носят название САПР (от англ. CAD - Computer-Aided Design).

Основной текст

1. Анализ современного состояния BIM-технологии в строительной индустрии

Концепция информационного моделирования в строительстве (BIM) впервые была сформулирована в 1970х годах американским учёным Чарльзом Эастманом [1] и уже с самого начала была направлена на решение проблемы сильной зависимости точности и надежности описания строительных проектов чертежами от человеческого фактора. Предложенная концепция системы описания строительства BDS (Building Descrition System) представляла собой новую, замещающую бумажные чертежи компьютерную систему, позволяющей хранить все необходимые для проектирования информационные данные и оперировать ими.

Позднее в Соединённых Штатах Америки сформировался Совет по Строительной Информации FIC (Facility Information Council), который с 2008 г. преобразовался в Национальный Комитет Соединённых Штатов Америки по BIM стандартизации NBIMS-US PC (National BIM Standard-United States Project Committee) [2]. Согласно официальному определению Комитета информационное моделирование зданий и сооружений является «цифровым представлением физических и функциональных характеристик технического сооружения». BIM предоставляет открытый доступ к полной информации о каком-либо техническом сооружении и служит надежным основанием для принятия решений, касающихся жизненного цикла данного сооружения, который включает в себя все процессы, начиная от ранних концепций до эксплуатации и снова данного сооружения.

На сегодняшний день концепция BIM технологии уже вышла за пределы простого трёхмерного моделирования 3D (три измерения: длин, ширина и высота) и включает в себя четырёхмерное

моделирование 4D с функцией времени в качестве четвёртого измерения [3], а также пятимерное 5D моделирование, где в качестве пятого измерения играют роль денежные затраты [4]. Таким образом, технология BIM охватывает не только базовые геометрические данные о проекте, а также пространственные отношения, анализ инсоляции, геодезическую информацию, а также качественные и количественные характеристики отдельных компонентов системы (например, технические характеристики дверей/окон, прочностные свойства бетона и т.д.).

В специализированной среде разработка проекте в BIM-среде позволяет управлять общей виртуальной информационной моделью как на уровне всех специалистов проектных отделов (архитектурного, конструкторского, геодезического, отдела генпланирования, отдела инженерных систем и т.д.) так и на уровне руководящего состава (руководители отделов и руководители проектов), а также на уровне презентации проекта инвесторам. Структура построена таким образом, что каждый специалист может вносить изменения в проект только по своей дисциплине в одну общую информационную модель, что позволяет сократить потери информации при передаче разработок другому отделу, а также обеспечивает более широкую информацию о состоянии и составе модели.

1.1 Обзор строительного рынка САПР-инструментов для проектирования зданий и сооружений

Существующие САПР программы могут быть объединены в три больших группы: CAD, CAM и CAE системы. Первая группа CAD (Computer Aided Designed) продуктов относится к разработке графической составляющей проекта, например, построения 3D моделей или оформления чертежей. Следующая группа CAM (Computer Aided Manufacturing) моделей помогает решать технологические задачи производства, например, контроль работы ЧПУ, контроль производительности и т.д. Третья группа CAE (Computer Aided Engineering) модулей относится непосредственно к инженерным расчетам и структурному анализу, а также контролю и проверке разработанных решений, нахождению коллизий.

На данный момент уже разработано большое количество САПР модулей различного уровня, позволяющие решать обширное множество задач проектирования и эксплуатации зданий и сооружений. На российском рынке, а также в странах СНГ широко распространен программный продукт AutoCAD от компании Autodesk Inc., который в основном применяется только для мануальной разработки чертежей, хотя обладает широкими возможностями по созданию 3D моделей и написанию разнообразных шаблонов для оптимизации рабочего процесса, которые редко используются рядовыми проектировщиками из-за сложно устроенного мануального управления данным функционалом.

Понимая необходимость создания универсального BIM инструмента для проектирования компания Autodesk разработала несколько программных продуктов в этом направлении. Для архитектурного проектирования было создано приложение Autodesk Architectural Desktop, обладающее мощными специализированными функциями и позволяет сэкономить время, а также улучшить управление проектами. Другое подобное приложение Autodesk Building Systems было разработано для проектирования инженерных сетей и также является мощным инструментов при разработке систем вентиляции, отопления и других инженерных систем.

Но самое большое распространение среди проектировщиков всего мира получило приложение компании Autodesk для непосредственного BIM моделирования Autodesk Revit Structure, которое является универсальным продуктом, состоящим не только из функционала всех вышеперечисленных продуктов, а также позволяющего разработать аналитическую модель для конструктивного анализа, в частности, разработки чертежей армирования. Более того Revit Structure позволяет создать полноценную информационную модель путём назначения к каждому элементу параметрических атрибутов, помогающий быстро создавать ведомости для дальнейшей работы со сметами и календарными графиками.

Из других программных продуктов, популярных на российском рынке можно выделить приложение ArhiCAD от компании Graphisoft, которое является мощным продуктом для реализации архитектурных решений в BIM среде. Также большой популярностью пользуется программный комплекс КОМПАС от российской компании АСКОН. Из преимуществ КОМПАСа можно выделить полную интеграцию данного комплекса с российскими стандартами серии ЕСКД и СПДС, что намного упрощает работу проектировщиков. Именно из-за данного преимущества ПК КОМПАС получил широкое распространение в сфере машиностроения и мануфактурного производства.

Безусловно, список систем автоматизации для строительства зданий и сооружений не ограничивается вышеперечисленными программными комплексами. На современном рынке существует большое множество систем для решения разных производственных задач, как от отечественных, так и от иностранных производителей [5]. Стоит отметить, что выбор программного обеспечения зависит от множества факторов, основными из которых являются соответствие функциональных возможностей для

решения поставленных задач, доступность приобретения продукта (в том числе, возможность бесплатного использования), доступность получения технической поддержки для пользователей, а также интеграция для конкретных норм и стандартов.

1.2 Анализ проблем и основных задач применения инструментов для динамического анализа ЗиС

Отдельную большую группу программных комплексов, которая пока ещё не была интегрирована в BIM продукты, составляют пакеты для структурного анализа модели путём применения метода конечных элементов. Одной из проблем существующих BIM продуктов является то, что ни один такой продукт не способен произвести МКЭ анализ самостоятельно, поэтому существует необходимость использовать сторонний программный комплекс. Такими программными комплексами являются расчетные комплексы, основанные на конечно-элементном моделировании МКЭ или FEM (Finite Element Method).

Наиболее распространённой программой на российском рынке стал программный комплекс украинских разработчиков SCAD Office. Это очень мощный продукт для моделирования и расчета железобетонных конструкций, который полностью адаптирован под российские нормы. К сожалению, моделирование в SCAD Office сложных конструкций, которые подвержены сильным нелинейным зависимостям, может быть затруднено и связано с большим количеством мануальной работы [6]. Для криволинейных конструкций данный программный комплекс не способен автоматически сгенерировать адекватную сетку триангуляции, что вынуждает проектировщиков вручную исправлять и выравнивать сгенерированные элементы. Более того, на примере ветрового воздействия было доказано, что результаты динамического анализа в данном программном комплексе не обеспечивают сходимость с экспериментальными [7], что ставит под сомнение использование данного программного комплекса для решения сложных инженерных задач.

Другой широко известный модуль для анализа методом конечных элементов – программный комплекс ЛИРА, который является открытым ресурсом в отличие от SCAD Office. Тем не менее, данный программный комплекс не сильно отличается от предыдущего по расчетным результатам [8]. Основные отличия ПК Лира заключаются в более удобном пользовательском интерфейсе и другими функциональными возможностями.

Несмотря на вышеупомянутые недостатки, данные программные комплексы позволяют проводить динамические расчеты, например, расчет сооружений на сейсмические воздействия, на действие импульсных и ударных нагрузок, а также воздействия пульсаций ветрового потока [9]. Однако данные программные комплексы недостаточно адаптированы для решения сложных нелинейных динамических задач [10]. К таким задачам относятся случаи пластического описания материалов конструкции, нелинейные геометрические формы зданий и сооружений, а также воздействие динамической нагрузки, случайно меняющейся во времени. В таких случаях при использовании вышеупомянутых программных комплексов для решения сложных механических задач могут быть получены ошибочные результаты.

1.3 Анализ современных подходов моделирования динамических воздействий на ЗиС с помощью средств ПК SOFiSTiK

За последние несколько лет на российском рынке набирает популярность немецкий модульный продукт для МКЭ анализа SOFiSTiK FEM. Одноименная компания SOFiSTiK GmbH по разработке данного продукта была основана в 1987 г., идейным вдохновителем которой стал профессор Мюнхенского Технического университета Генрих Вернер. На сегодняшний день ПК SOFiSTiK используется проектировщиками более чем в 30-ти странах мира. В России данный продукт начал применяться с анализа геотехнических оснований, что отличается высокой степенью нелинейности. ПК SOFiSTiK отличается широкой базой стандартов, в том числе и российской, а также большой базой динамических профилей для ветровых воздействий и акселерограмм для землетрясений. Более того, триангуляция сетки элементов отличается высокой сходимостью, что, конечно, приводит к максимально точным результатам и намного упрощает работу проектировщика. Но самым главным достоинством ПК SOFiSTiK является полная двусторонняя интеграция с Autodesk Revit Structure, которая позволяет как импортировать объекты для расчёта усилий, так и экспортировать результаты обратно в Revit для оформления чертежей армирования.

Для динамического анализа ПК SOFiSTiK включает модуль DYNA, позволяющий решать большой спектр расчетных задач, таких как:

- статический анализ сочетания нагрузок, действующих на трёхмерные, плоские и осесимметричные системы;
- статический анализ сочетания нагрузок после эффектов теории, учитывающей члены второго порядка;
- вычисление собственных частот трёхмерных систем;
- вычисление собственных чисел потери устойчивости при продольном изгибе для трёхмерных систем;
- неявное прямое интегрирование уравнения движения для сооружений с произвольной амортизацией;
- явное прямое интегрирование нелинейных уравнений движений;
- взаимодействие с нагрузками от движущего состава и с ветровыми воздействиями;
- взаимодействие системы «грунт-конструкция» методом граничных элементов;
- интегрирование уравнения движений путём суперпозиции модальных форм;
- стационарные колебания и возбуждения через спектры.

Стоит также отметить, что любая задача в ПК SOFiSTiK может быть решена с помощью написания кода на внутреннем языке программирования CADINP. Более того, использование данного инструмента позволяет значительно расширить функционал интерфейса программы. Например, в текстовом файле могут быть описаны любые функции, по которым изменяется нагрузка (в т.ч. и динамическая) или могут быть написаны шаблоны или петли (команды #DO, #IF и т.д.), которые значительно ускоряют и упрощают рабочий процесс для конструктора.

С точки зрения увеличения производительности для решения динамических задач в данном модуле используются линейные алгоритмы. Тем не менее, некоторые важные нелинейные эффекты могут быть описаны в данном модуле. К таким эффектам относятся условие движущихся контактов для описания взаимодействия с транспортными средствами, все нелинейные эффекты для пружинных элементов, включая явные зависимости между силами и перемещениями и модальных анализ. Для элементов балок доступны все нелинейные взаимодействия со стационарными и нестационарными (включая ветровые) нагрузочными воздействиями, а также скачкообразными (импульсными) и неустановившимися колебаниями. Более того, для двумерных и плоских элементов доступен анализ скоростей потока вдоль поверхности/стержня, а также моделирование продувки объектов аэродинамическими потоками, и соответствующая симуляция испытаний в аэродинамической трубе [11]. Для объемных элементов доступно явное интегрирование для всех нелинейных материалов.

Выводы

Современные вычислительные программные комплексы обладают широкими способами моделирования зданий и сооружений, а также их конструктивного анализа. Для комплексного проектирования ЗиС наиболее актуально использовать методы и технологии для информационного моделирования (BIM-технологии). Для динамического анализа наиболее остро стоит проблема моделирования поведения конструкции от взаимодействия с нестационарными воздействиями, неравномерно изменяющимися во времени.

К сожалению, не все вычислительные программные комплексы способны решить подобную задачу для сложных геометрических систем и больших массивов исходных данных.

Список литературы

1. Eastman C., Fisher D., Lafue G., Lividini J., Stoker D., Yessios C. An Outline of the Building Description System. (September 1974) Institute of Physical Planning, Carnegie-Mellon University. 2. About the national BIM standard-united states. [Электронный ресурс]: . 3. Hartmann T. et al. Aligning building information model tools and construction management methods //Automation in construction. – 2012. – Т. 22. – С. 605-613. 4. Mitchell D. 5D BIM: Creating cost certainty and better buildings //2012 RICS Cobra Conference, Las Vegas, Nevada USA. – 2012. 5. Обзор современных систем автоматизированного проектирования. [Электронный ресурс]: . 6. Раша И.К., Перцева О.Н., Лазарева А.Ю., Мартынов Г.В. Численное моделирование случайного распределения напряжений для деревянных конструкций // Инженерно-строительный журнал. 2017. № 1(69). С. 23–33. 7. Иоскевич А.В., Савченко А.В., Егорова Е.С., Иоскевич В.В., Полянских М.А. Пульсационные воздействия ветра на антенно-мачтовые сооружения в SCAD Office // Строительство уникальных зданий и сооружений. № 3 (30), 2015. С. 81-97. 8. Иоскевич А. В., Савченко А. В. Сравнение ПВК SCAD Office и Лира-САПР на примере расчёта башни связи // Строительство уникальных зданий и сооружений. № 10 (25), 2014. С. 7-21. 9. Перельмутер А.В., Сдивкер В.И. Расчетные модели сооружений и возможность их анализа / Изд. 4-е перераб. и доп. М.: ИАСВ, Издательство "SCAD Soft", 2011 г. - 732 с. 10. Чернуха Н.А. Особенности расчета сооружений на взрывные воздействия в среде SCAD // Инженерно-строительный журнал. № 1, 2014. С. 12-22. 11. Перцева О.Н. Моделирование нестационарных воздействий в ПК SOFiSTiK на примере многофункционального бизнес-центра / Магистерская диссертация. СПбПУ имени Петра Великого, Санкт-Петербург, 2017 г. – 127 с.

Analysis of the current state of BIM-technology in the building industry for simulation of non-stationary loadings

RAHIMOV Artur — *Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University, artuurr94@gmail.com*

PERTSEVA Olga — *Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University, olya_perceva@mail.ru*

Keywords:
Building information modelling (BIM); Computer-aided design; Finite Element Method (FEM); SOFISTIK; CADINP

Annotation:
Automatization on all stages of construction process is one of the most important aspects that provides high quality standards in conditions of actively developing building industry. Necessity of solution of non-typical cases in construction of unique buildings, for instance, the modelling of non-stationary loadings, demands a certain method of model engineering that would simplify engineering process and develop high quality design solutions with minimal time and resource consumption. In other words, application and development of different methods of computer-aided design (CAD) is required.