

УДК 004:69.07

ВЛИЯНИЕ ПРОЦЕССА ВОЗВЕДЕНИЯ НА ПРОСТРАНСТВЕННУЮ РАБОТУ НЕСУЩИХ СИСТЕМ ЗДАНИЙ

к.т.н., доцент **Барабаш М.С.**,

Национальный авиационный университет, г. Киев

Актуальность темы. С развитием крупных городов в строительстве выявилась тенденция к росту этажности возводимых объектов, обусловленная увеличением населения с одной стороны и ограниченностью городского пространства с другой, рост этажности, в свою очередь, усложняет архитектурные и конструктивные формы зданий. В последнее время часто возникают вопросы, связанные с реконструкцией или утилизацией жилых, общественных зданий и сооружений старой застройки. Это приводит к необходимости более точной оценки напряженно-деформированного состояния (НДС) несущих систем. Традиционные методы расчёта не всегда позволяют полностью обеспечить данные требования. В связи с этим развиваются методы расчёта максимально приближенные к реальным условиям. Большое значение приобретает выбор математических моделей, адекватно описывающих пространственную работу несущих систем высотных зданий.

Область исследований. В процессе эксплуатации жилых, общественных, зданий происходит старение конструкционных материалов, зависящее не только от времени, но и от различного рода аварийных и нештатных ситуаций, техногенных воздействий. В связи с этим часто возникают вопросы, связанные с реконструкцией, демонтажем, утилизацией и капитальным ремонтом зданий. Для оценки безопасности здания необходимо знать историю его нагружения, схемы приложения внешних нагрузок, историю формирования усилий в конструктивных элементах, иметь возможность определить его НДС в любой момент времени. Поэтому необходимо обобщить в единую информационную модель соответствующие математические модели, создать программный комплекс, обеспечивающий моделирование этих процессов. Реальное НДС несущих конструктивных элементов возможно определить при проведении на базе программного комплекса ряда численных экспериментов, моделирующих те или иные ситуации и процессы.

Таким образом, информационная поддержка жизненного цикла несущей системы производится посредством использования информационной модели конкретного здания или сооружения, отражая его свойства, состояние, взаимосвязь с внешней средой. В настоящее время, во многих отраслях промышленности, при создании информационных систем используют CALS-технологии (Continuous Acquisition and Life-cycle Support), которые позволяют в период проектирования и строительства формировать информационную модель объекта.

Поэтому обобщение в единую информационную модель математических моделей, методов, и программного обеспечения для определения напряженно-

деформированного состояния (НДС) элементов несущей системы здания, адекватно описывающих поведение несущих конструкций на любой стадии жизненного цикла объекта строительства, является актуальной задачей.

Решение проблемы. Методы расчёта, основанные на классических численных методах, не всегда позволяют полностью обеспечить выполнение данных требований. В связи с этим создаются методы расчёта максимально приближенные к реальным условиям. Поэтому большое значение приобретает выбор математических моделей адекватно описывающих пространственную работу несущих систем многоэтажных зданий.

Конструктивной основой многоэтажных зданий служит пространственная несущая система, состоящая в основном из вертикальных (колонны, пилоны, диафрагмы), горизонтальных (плиты перекрытий, фундаментные плиты) и наклонных (пандусы, лестничные марши, связи) элементов. Вертикальные несущие элементы объединены в единую пространственную систему с помощью горизонтальных несущих конструкций -перекрытий здания.

Необходимость учета совместной работы конструктивной схемы «надземная часть – фундаментная плита – грунтовое (свайное) основание, нерегулярное расположение колонн, пилонов, диафрагм, сложное очертание перекрытий в плане с наличием большого количества отверстий и много других конструктивных особенностей обуславливает применение численных методов расчета, основанных на непосредственной дискретизации конструктивных схем.

Метод конечных элементов (МКЭ) [3,4] основан на дискретизации самого объекта, который представляется в виде отдельных конечных элементов. Каждый конечный элемент имеет свои размеры, жесткостные характеристики, нагрузки, законы интерполяции узловых значений параметров НДС. В этом основное отличие конечноэлементной сетки, которая представляет конструкцию в виде набора конечных элементов от абстрактной разностной сетки, которая служит только для того, чтобы заменить дифференциальные операторы разностными аналогами. В настоящее время используется метод конечных элементов в перемещениях, т.е. в узлах сетки сначала находятся перемещения, а затем остальные параметры НДС.

Процедура решения задачи по МКЭ в перемещениях выглядит следующим образом:

- нанесение конечноэлементной сетки;
- назначение каждому конечному элементу необходимых характеристик – тип, жесткости, размеры и др.;
- построение для каждого конечного элемента матрицы жесткости;
- построение канонических уравнений МКЭ;
- решение канонических уравнений и определение перемещений в узлах сетки;
- определение параметров НДС (усилий, напряжений, перемещений) по всей области конструкции.

Эта процедура полностью соответствует механике стержневых систем.

Если в докомпьютерный период методы строительной механики стержневых систем и методы теории упругости для расчета пластинчатых и трехмерных объектов были различны, то МКЭ решает эти задачи однотипно. Следовательно, возможно решение комбинированных конструкций, например, расчет каркасного здания совместно с основанием: каркас – это стержневая система, плиты перекрытий, фундаментная плита и диафрагма – это пластинчатые системы, грунтовое основание – это трехмерный объект.

Областью применения МКЭ в строительстве являются: стальные и железобетонные мосты, каркасы зданий; пластичность и механика разрушения конструкционных материалов; композитные материалы и др. В соответствии с данным методом конструкция разбивается на ряд конечных элементов определенной формы с заданным количеством узловых точек, степеней свободы и т.д. Идеализация основывается на равенстве энергии деформации конструкции. Последовательность численного решения метода конечных элементов описана в работе [4]. Однако применение метода для расчета высотных зданий затруднено. Это связано с тем, что реальные размеры зданий не позволяют расчленить их на большое число конечных элементов, т.к. это приводит к увеличению объема исходных данных, числа уравнений и времени расчетов на компьютере. В работе [5] было предложено использовать пространственные конечные элементы, предварительно создавая библиотеки матриц жесткостей крупных элементов здания, и только затем определять перемещения всей системы. Это приводит к определенным трудностям, связанным с многообразием конструктивных решений многоэтажных зданий.

Данные и используемые методы. Для современных сложных сооружений (мосты, балки, большепролетные покрытия, высотные здания и др.), как правило, конструктивная схема обуславливается не только эксплуатационной стадией, но и стадией возведения. В процессе возведения конструктивная схема сооружения может многократно изменяться, усилия и перемещения «замораживаться», определяя сечения элементов и конструкции узлов именно на этой стадии.

На современном этапе развития компьютерной техники разработано множество программных комплексов (ЛИРА-САПР, МОНОМАХ-САПР, SCAD, STARK, COSMOS, ANSYS, NASTRAN и др.), реализующих метод конечных элементов и позволяющих производить расчеты сложных систем.

Программный комплекс ЛИРА-САПР предназначен для расчета и проектирования строительных конструкций различного назначения с реализацией метода суперэлементов и визуализацией на всех этапах, производит расчеты геометрически и физически нелинейных сложных систем. Он позволяет пользователю быстро и удобно создать расчетную схему сооружения, обладает функциями документирования, встроенной графической средой САПФИР-Конструкции, выполняющей функции препроцессора. С помощью программного комплекса МОНОМАХ-САПР рассчитываются и проектируются железобетонные конструкции многоэтажных зданий с планами произвольной конфигурации, в том числе зданий из монолитного железобетона. Автором настоящей статьи

проводились исследования каркасно-монолитных зданий. В расчетах колонны и ригели моделировались пространственными стержнями с жесткими узлами, перегородки - универсальными конечными элементами плоской задачи теории упругости, перекрытия - конечными элементами плиты, работающими в двух плоскостях.

Моделирование процесса возведения имеет большое значение для конструкций высотных зданий из монолитного железобетона, так как изготовление монолитных конструкций связано с установкой временных стоек, которые существенно изменяют конструктивную схему здания на этапах возведения.

Для учета нелинейных особенностей поведения железобетонных конструкций и процесса их монтажа, в программном комплексе ЛИРА-САПР разработана система МОНТАЖ+ [1]. В основу алгоритма нелинейного расчета программного комплекса ЛИРА-САПР положен итерационный процесс, чередующий этапы статического расчета систем при фиксированных значениях жесткости с этапами их уточнения по найденным на предыдущей итерации усилиям и деформациям. Этот метод эффективно применяется при расчете зданий с проектными и конструктивными решениями, малоэтажных зданий без диафрагм жесткости, многоэтажных зданий с зальными помещениями, рамного каркаса с упруго пластичными стыками [6].

Существует большое число работ, авторы которых имеют разные подходы к расчету зданий и сооружений. Однако не каждый метод позволяет отразить реальную работу несущей системы здания. Большая часть этих методов предполагает определение напряженно-деформированного состояния несущих элементов, исходя из готовой расчётной схемы здания, нагруженной полной нагрузкой. Часть методов ориентирована на определение характеристик только отдельных элементов здания, что также приводит к искажению реальной работы здания. Поэтому требуется их дальнейшее развитие и доработка. Целью теоретических и экспериментальных исследований многих ученых в настоящее время является определение влияния процесса на напряженно-деформированное состояние элементов несущих систем зданий. Исследование формирования напряженно-деформированного состояния несущих систем в процессе возведения проводилось в работах Городецкого А.С., Перельмутера В.С., и других отечественных и зарубежных ученых [1,2,4]

В процессе исследований было установлено:

- монтаж элементов несущей системы приводит к изменению расчетной схемы здания, приложение увеличивающейся вертикальной нагрузки к измененной расчетной схеме здания влияет на НДС конструктивной схемы;
- формирование напряженно-деформированного состояния несущей системы в значительной степени зависит от способа монтажа;
- существенное влияние на величину усилий, возникающих в элементах несущей системы многоэтажного здания, оказывает величина податливости связей сдвига; при абсолютно жестких и гибких связях разница

между нормальными усилиями, определяемыми с учетом и без учета процесса возведения, практически утрачивается;

– напряженно-деформированное состояние элементов несущей системы многоэтажного здания изменяется в функции высоты здания, что объясняется постепенным формированием расчетной схемы здания и ростом вертикальной нагрузки.

Выводы.

1. На современном этапе развития информационных технологий разработано множество программных комплексов, позволяющих производить расчеты сложных систем. Все они реализуют метод конечных элементов. Наиболее развитым программным комплексом, учитывающим реальную пространственную работу конструктивных элементов в процессе возведения, является ПК ЛИРА-САПР.

2. Большое число проведенных экспериментальных исследований пространственной работы несущих систем многоэтажных зданий дает возможность использовать существующие математические модели, и, используя разработанное на их основе программное обеспечение, проводить серии численных экспериментов.

3. Для определения напряженно-деформированного состояния несущей системы здания и обеспечения его информационной поддержки на протяжении всего жизненного цикла необходимо создание информационной модели объекта строительства, которая должна основываться на математических моделях, адекватно отражающих пространственную работу несущей системы на каждой стадии жизненного цикла. Внедрение BIM-технологии проектирования в строительную индустрию позволит: оперативно реагировать на аварийные ситуации; моделировать процессы развития тех или иных негативных процессов; оценивать напряженно-деформированное состояние на любой стадии жизненного цикла; решать ряд проектных и конструкторских задач.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Городецкий А.С., Евзеров И.Д. Компьютерные модели конструкций. – М: Изд-во АСВ, 2009. – 360 с.
2. А.В. Перельмутер, В.И.Сливкер, Расчетные модели сооружений и возможность их анализа (издание 4-е переработанное и дополненное).- Москва: Изд-во СКАД СОФТ, Изд-во ДМК Пресс, Изд-во АСВ, 2011, 736 с
3. Бате К., Вилсон Э. Численные методы анализа и метод конечных элементов. Пер. с англ. - М.: Стройиздат, 1982. - 448с.
4. Вайнберг Д.В., Городецкий А.С., Киричевский В.В., Сахаров А.С. Метод конечного элемента в механике деформируемых тел // Прикл. мех. - 1972. - Т.8, №8. - с.3-28
5. Норри Д., Фриз Ж. Введение в метод конечных элементов: Пер. с англ.- М.: Мир, 1981.-304с.
6. Верюжский Ю.В., Колчунов В.И., Барабаш М.С., Гензерский Ю.В. Компьютерные технологии проектирования железобетонных конструкций. – Учебное пособие. – К.: Книжное издательство НАУ, 2006. – 808с.