Список литературы

1. Ключкин В. И. Строительные конструкции зданий и сооружений. М., 2010. 112 с.
2. Силенко В. П., Ардеев В. Н., Новиньков А. Г. Учебное пособие по металлическим конструкциям. Кемерово, 2006. 148 с.
3. Малбиев С. А., Телоян А. Л., Марабаев Н. Л. Строительные конструкции: Металлические конструкции, Железобетонные и каменные конструкции, Конструкции из дерева и пластмасс. М., 2008. 173 с.
4. Смирнов В. В., Рымов А. Г. Долговечность несущих ограждающих конструкций бассейна. СПб., 2016. 77 с.

УДК 624.036.3:621.87

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ПЛОТНОСТИ СЕТКИ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ НА ТОЧНОСТЬ РАСЧЕТА КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЯ В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ «МОНОМАХ-САПР»

О. Б. Завьялова, В. В. Куликов
Астраханский государственный
архитектурно-строительный университет

Введение

Нанесение сетки конечных элементов на геометрические формы превращает их в полноценные элементы конструкции, обладающие жесткостью и другими деформационными свойствами. Предусмотрено как автоматическое разбиение геометрических форм на элементы с большей густотой сетки в местах возможной концентрации напряжений, так и заданное пользователем, который определяет либо максимальный размер элемента, либо количество разбиений каждой линии на границе объекта. Следует отметить, что автоматическое разбиение не всегда правильно срабатывает: программа может сообщить, что какой-нибудь элемент слишком вытянут или «скручен», и она не может продолжать решение. Тогда пользователь может выполнить кропотливую работу по поиску этого элемента и улучшению его формы за счет изменения координат узлов либо стереть автоматическую сетку и наносить свою пользовательскую, что более трудоемко. В этом и заключается одна из основных проблем расчета конструкций и деталей (элементов) методом конечных элементов во многих программных комплексах [1].

Построение сетки конечных элементов является основным этапом решения задачи по определению напряженно-деформированного состояния конструкций. Этот этап связан с решением ряда противоречивых требований. Метод конечных элементов является приближенным методом, используемым в компьютерных программах для моделирования строительных конструкций. Область, в которой ищется решение дифференциальных уравнений, разбивается на конечное количество подобластей (элементов) [2].

Плотная сетка позволяет достичь требуемую точность решения задачи, однако чрезмерно густая сетка конечных элементов увеличивает время решения задачи и может приводить к плохой обусловленности матрицы канонических уравнений метода конечных элементов, а также приводит к существенной загрузке процессора компьютера (ЭВМ). В случаях расчета протяженных, высотных, крупных зданий со сложными архитектурно-планировочными решениями возрастает шанс ошибки или сбоя расчета МКЭ из-за ограничений мощностей программного обеспечения и характеристик компьютера, вследствие образования большой матрицы КЭ.

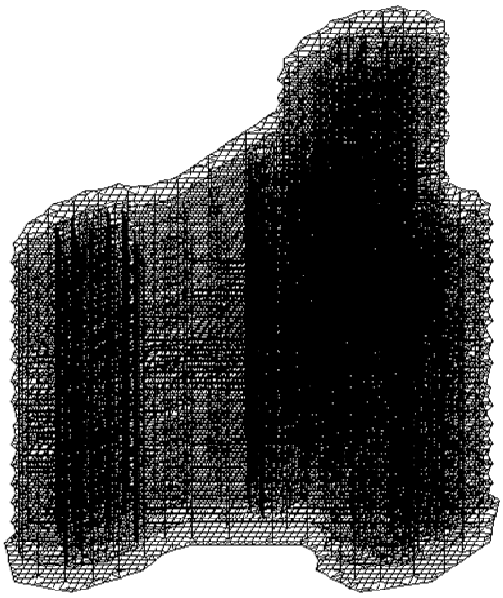

Рис. 1. Отображение сетки КЭ при формировании матрицы жесткости в ПК «Мономах-САПР»

Одним из факторов при решении матрицы КЭ является форма конечных элементов. Выделяется две основных формы КЭ – треугольные и четырехугольные. Равносторонние конечные элементы более предпочтительны по сравнению с элементами, имеющими определенно выраженную неравномерность сторон [3].

В программном комплексе «Мономах-САПР» применяется три метода триангуляции:

Первый метод - основан на применении треугольной триангуляции (при плоском отображении элементов), а для объемных конструкций их аналогом являются тетраэдры и треугольные призмы.

Второй метод основывается на применении четырехугольной триангуляции, при этом максимально включаются в конечно-элементную сетку прямоугольные и четырехугольные КЭ (для плоских элементов) и элементов в виде параллелепипедов – для объемных моделей.

Третий метод, основан на организации как регулярных, так и нерегулярных включений в местах концентрации напряжений или усилий – так называемая адаптивная четырехугольная триангуляция.

Шаг является основным параметром при генерации сеток частей здания. Он определяет максимальную длину ребра треугольника или четырехугольника сетки. Выбор размеров шага триангуляции вызывает затруднения у многих пользователей. Уменьшение размера конечного элемента приводит к уменьшению погрешности в расчетах, но при этом приводит к возрастанию погрешностей округления и погрешностей, связанных с ухудшением обусловленности при составлении матрицы жесткости [4].

Из опыта расчетов в программных комплексах рекомендуется назначать шаг триангуляции такого размера, чтобы пролет при расчете горизонтальных, и высота при расчете вертикальных конструкций содержал минимум 10 узлов триангуляции [5].

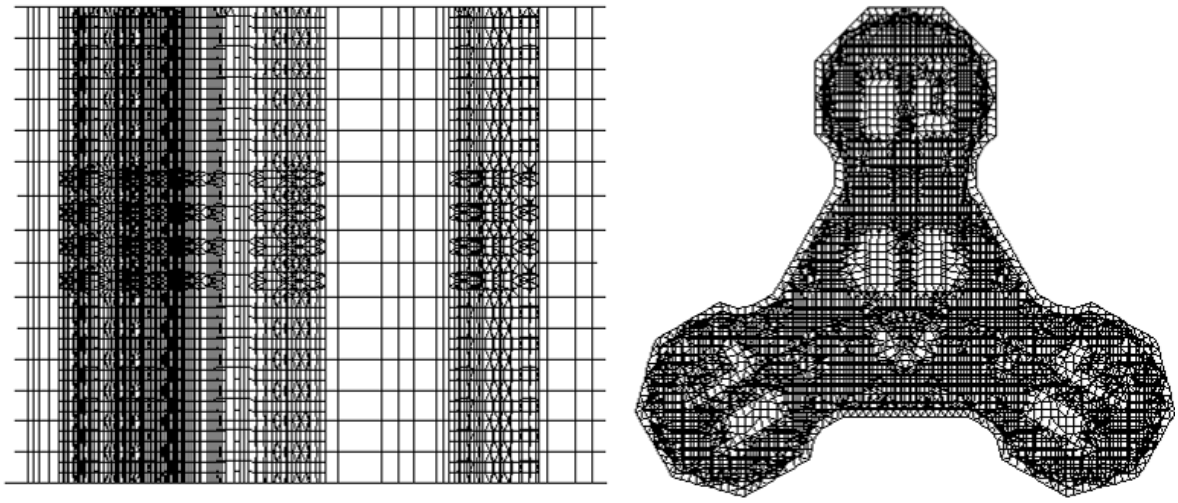

Рис. 2. Шаги узлов триангуляции в горизонтальных и вертикальных элементах

Анализ варьирования сетки конечных элементов на примере расчета монолитного железобетонного перекрытия высотной гостиницы

Цель данной работы заключается в определении влияния плотности сетки на величину точности расчета.

Основные параметры модели: пролет продольный 6 м; пролет поперечный 4,5 м; пилоны 0,8х0,4 м; толщина плиты 0,2 м; бетон класса В30; арматура А400; колонны имеют жесткое защемление (включена генерация АЖТ). На перекрытие действует собственный вес и распределенная по площади расчетная нагрузка [6].

Перекрытие в пределах выбранной ячейки разбито таким образом, чтобы сетка КЭ меньшего размера была кратной сетке большего размера и самому пролету. Делается это с целью совпадения в одних и тех же местах характерных выбранных точках, чтобы проводить анализ действующих в них усилий и проводить подбор армирования.

Полученные результаты расчетов в программном комплексе заносятся в таблицу для наглядного сравнения полученных результатов.

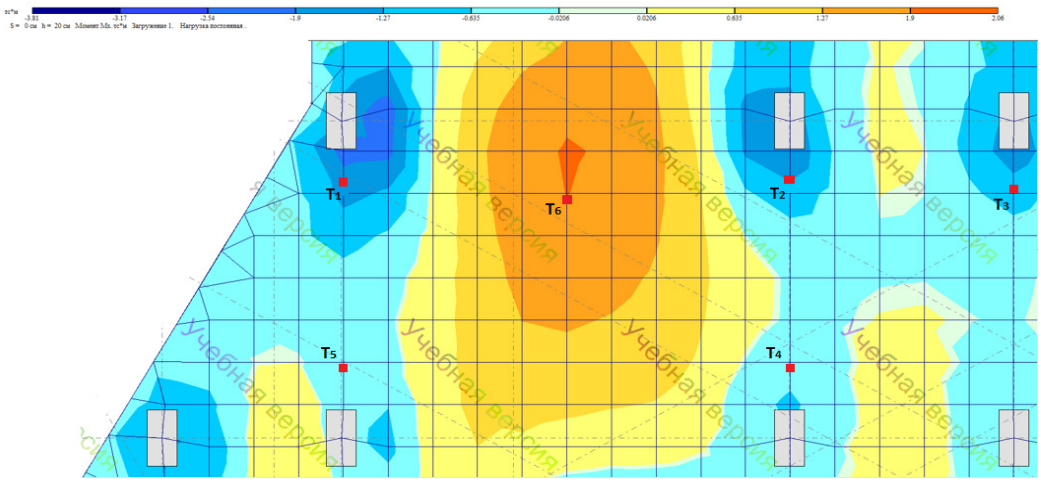

Рис. 3. Мозаика моментов относительно оси X при шаге триангуляции 0,6 м

Таблица 1

Изменение величины изгибающего момента в плите перекрытия при уменьшении сетки КЭ

Размер сетки КЭ	*Значение момента (тс*м)в узле №:*					
	1	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*
0,6 м	-1,29	-0,98	-0,81	-0,63	-0,55	+1,58
0,5 м	-1,36	-1,17	-0,92	-0,71	-0,59	+1,64
0,4 м	-1,47	-1,28	-1,08	-0,84	-0,63	+1,68
0,3 м	-1,53	-1,53	-1,18	-0,95	-0,71	+1,71
0,25 м	-1,56	-1,56	-1,21	-0,98	-0,74	+1,73
Разница значений (прирост момента относительно первого)	35,43 %	59,18 %	49,38 %	55,56 %	34,54 %	15,19 %

Из полученных результатов видно, что значения изгибающих моментов относительно оси X при уменьшении величины ячейки конечных элементов вдвое (с 0,6 до 0,3 м) значительно возрастают, достигая в отдельных сечениях прироста около 60 %. При этом моменты в разных точках изменяются на разные величины, что свидетельствует о нелинейной зависимости изменения величин.

Аналогичное сравнение проводится для значений поперечных сил, но действующих уже относительно оси У. Это делается для того чтобы убедиться, что зависимость действует независимо от направления сетки конечных элементов.

По полученным значениям видно, что значения поперечных сил, в выбранных характерных точках также возрастают, при этом разница достигает 40–50 %.

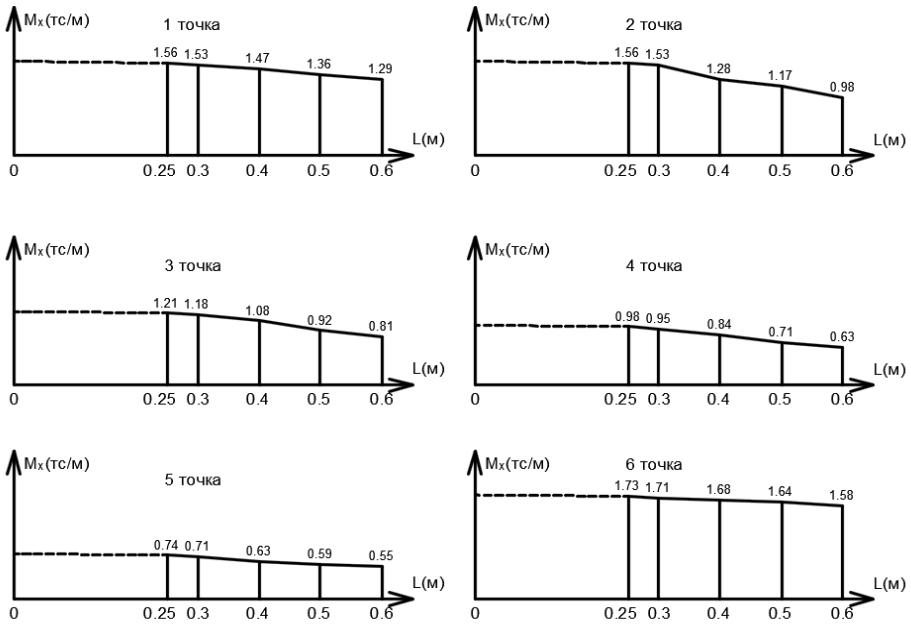

Рис. 4. График зависимости величины изгибающего момента от размера сетки

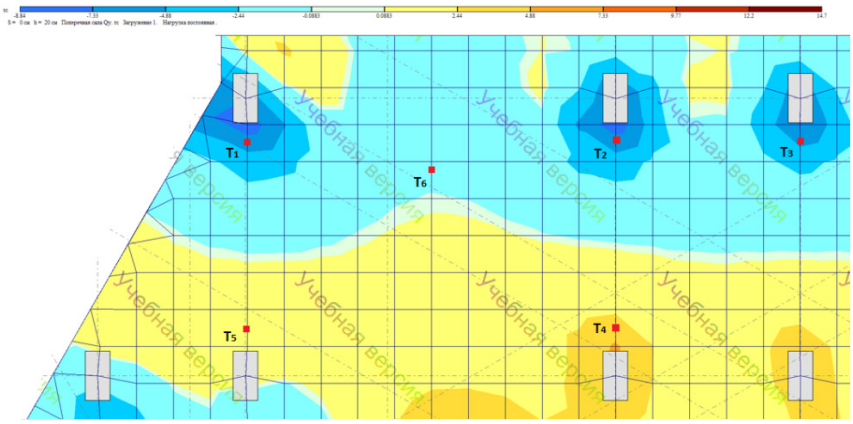

Рис. 5. Мозаика поперечных сил относительно оси У при шаге триангуляции 0,6 м

Таблица 2

Изменение величины поперечной силы в плите перекрытия при уменьшении сетки КЭ

Размер сетки КЭ	*Значение поперечной силы (тс) в точке №:*					
	1	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*
0,6 м	-3,66	-3,78	-3,58	+3,54	+1,32	-0,46
0,5 м	-3,89	-4,06	-3,82	+3,78	+1,56	-0,22
0,4 м	-4,17	-4,34	-4,07	+3,99	+1,73	+0,05
0,3 м	-4,36	-4,58	-4,32	+4,15	+1,85	+0,21
0,25 м	-4,42	-4,62	-4,38	+4,19	+1,91	+0,25
Разница значений (прирост поперечной силы относительно первого значения)	25,17 %	24,34 %	26,81 %	19,49 %	44,7 %	47,26 %

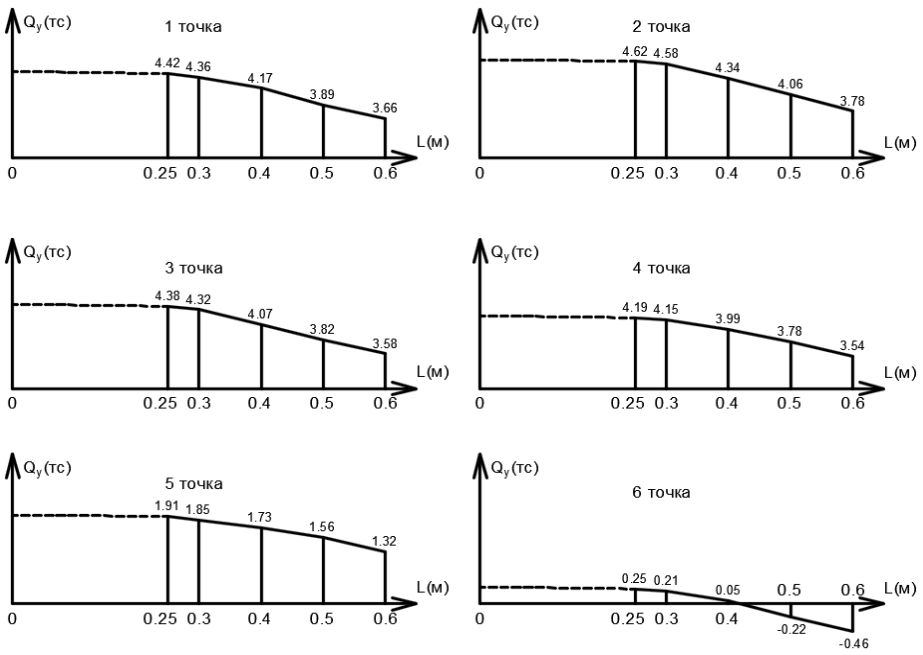

Рис. 6. График зависимости величины поперечной силы от размера сетки

Ввиду того, что введение сетки триангуляции с малыми размерами ячеек сильно усложняет решение задачи и в несколько раз увеличивает время на ее решение, то наиболее рациональным вариантом будет расчет конструкции всего здания с применением увеличенной сетки КЭ для перекрытий, и нормальной сеткой для вертикальных элементов. Применение плотной сетки триангуляции с уменьшенными размерами ячеек рациональней выполнять для отдельно взятого перекрытия, производя расчет в дополнительной программе «Плита» ПК «Мономах-САПР». Преимущество применение уменьшенной сетки конечных элементов заключается в детальной проработке отдельных частей перекрытия (усилений зон продавливания плиты, кромок технологических и конструктивных проемов, консольных частей).

Заключение

Точность расчета строительных конструкций с помощью метода конечных элементов в значительной мере зависит от правильного выбора типов и размеров КЭ. Создание конечно-элементной модели непосредственно в программном комплексе Мономах является довольно простым, полуавтоматическим процессом. Возможность импорта готовой схемы из графических программ значительно упрощает процесс построения расчетной схемы здания, особенно при сложной конфигурации несущих элементов.

В ходе проведенных исследований было выяснено, что выбор плотности сетки при расчете перекрытия оказывает заметное влияние на точность расчета, методом конечных элементов. При увеличении плотности сетки результаты численного расчета уточняют значения усилий в некоторых областях, увеличивая их значения практически в полтора раза.

Список литературы

1. Барабаш М. С., Палиенко О. И., Медведенко Д. В. Программный комплекс САПФИР – основа BIM-технологий. М. : АСВ, 2012. 56 с.
2. Перельмутер А. В., Сливкер В. И. Расчетные модели сооружений и возможности их анализа. М., 2007. 595 с.
3. ПК «ЛИРА-САПР» 2016. Проектирование и расчет строительных конструкций. URL: liraland.ru/lira/
4. Русаков А. И. Учет размера конечного элемента оболочки при расчете арматуры монолитных плит перекрытий // Промышленное и гражданское строительство. 2011. № 8. С. 57–60.
5. Голышев К. И. Рекомендации по усилению монолитных железобетонных конструкций : справ. пособие. Киев : Будивельник, 1985. С. 314–317.
6. СП 63.13330.2012. Бетонные и железобетонные конструкции. М. : Стройиздат, 2012.

УДК 624.154

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДОПУСТИМОЙ НАГРУЗКИ НА СВАИ С ПОВЕРХНОСТНЫМИ УШИРЕНИЯМИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ТЕХНОЛОГИИ ПОГРУЖЕНИЯ

Н. В. Купчикова, Е. Е. Купчиков
Астраханский государственный
архитектурно-строительный университет

Рассмотрим основные типы конструктивных решений свай с наклонными боковыми гранями, расширяющимися к верху и с поверхностными уширениями: пирамидальную, пирамидально-цилиндрическую, бипирамидальную и сваю со сборными клиньями (рис. 1).

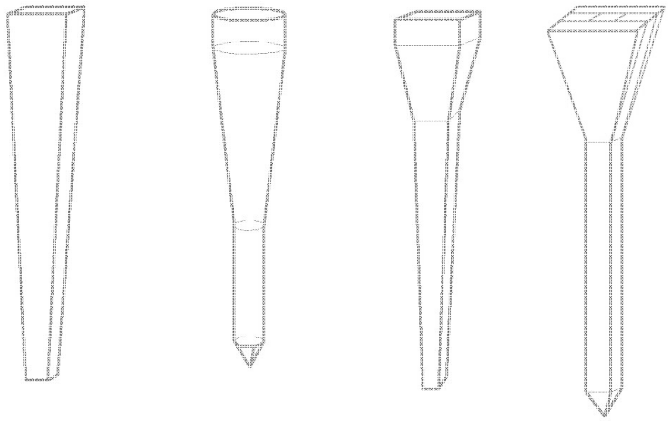

Рис. 1. Общий вид конструкций свай с поверхностными уширениями: пирамидальной, пирамидально-цилиндрической, бипирамидальной, сваи с клиньями

В работах А. И Моргуна [1, 2] на основании обобщенного опыта применения свай с забивными поверхностными уширениями и комплексных полевых испытаний предложена модель сваи, которая состоит из двух пирамидальных элементов. При их соединении образуется пирамидальная