

Исследование влияния параметров триангуляции в среде ПК САПФИР на результаты расчёта.

Н.Б. Аксенов, А.В. Задорожная

Донской государственной технической университет

Аннотация: В статье рассмотрены результаты расчета различных вариантов сетки конечных элементов, генерируемой средствами ПК САПФИР. Узел опирания плиты на колонну моделировался как с использованием абсолютно жесткого тела, так и без него. Шаг триангуляции варьировался в пределах от 1/35 до 1/5 пролета. Предметом анализа выбрана площадь нижней продольной арматуры в середине пролета. Установлено, что независимо от типа и шага триангуляции использование абсолютно жестких тел ведет к снижению требуемой расчетом арматуры в среднем на 6 %. Также определено, что тип и шаг триангуляции, использованные в ПК САПФИР существенного влияния на результат подбора пролетной арматуры, не оказывают. Этот результат получен для схем, в которых обязательно есть конечные элементы, центры тяжести которых располагаются в середине пролета, к чему и нужно стремиться при проектировании.

Ключевые слова: монолитный каркас, безбалочное перекрытие, триангуляция, подбор арматуры, расчет конструкций, ПК САПФИР.

В области проектирования наблюдается тенденция широкого использования технологий информационного моделирования зданий (далее BIM). Используя набор соответствующих трёхмерных объектов, архитектор формирует 3D-модель здания, что обеспечивает наибольший комфорт и скорость при визуальной оценке полученного результата [1]. Программные комплексы, поддерживающие BIM технологии, позволяют в автоматическом режиме осуществить переход от 3D-модели здания к модели аналитической, и затем к расчетной конечно элементной модели здания, расчет которой ведется с использованием метода конечных элементов (далее МКЭ) [2 - 4]. Точность расчета с помощью МКЭ в значительной мере зависит от правильного выбора типов и размеров конечных элементов [5, 7–9]. Создание конечно элементной модели непосредственно в Лире является весьма кропотливым и трудоемким процессом, поэтому возможность импорта готовой схемы из ПК САПФИР представляется весьма заманчивой

перспективой упрощения процесса расчета здания. Однако, к полученной таким образом схеме следует относиться с известной осторожностью. Ниже рассмотрены результаты расчета различных вариантов сетки КЭ, генерируемой средствами ПК САПФИР. В качестве модели для вычислительного эксперимента (рис.1) принят фрагмент монолитного многоэтажного безбалочного каркаса, поскольку в практике строительства такие здания, в том числе и с использованием высокопрочных бетонов [6], а также композитных материалов [10], встречаются весьма часто.

Основные параметры модели: шаг колонн 6 м; колонны 0,4x0,4 м; толщина плиты 0,2 м; бетон класса В25; арматура А400; колонны жестко защемлены. На каркас действует собственный вес и распределенная по площади нагрузка 10 кН/м². Схема имеет две оси симметрии – ось «В» и середина пролета между осями 2 и 3 (рис.1, в).

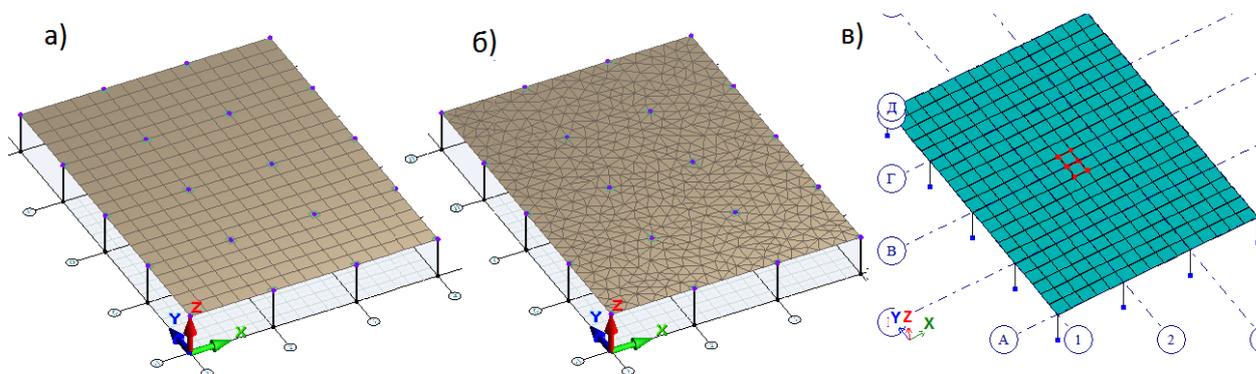


Рис.1. Используемая в расчетах компьютерная модель.

Узел опирания плиты на колонну моделировался как с использованием абсолютно жесткого тела (далее АЖТ), так и без него. Разбиение плиты на КЭ осуществлялось средствами ПК САПФИР, при этом для варианта с АЖТ для всех внутренних колонн параметр «форма АЖТ» принят «точно по форме сечения». Всего рассчитано три серии схем, отличающихся способом триангуляции: 1 – прямоугольная (рис.1, а); 2 – адаптивная четырехугольная;

3 – треугольная (рис.1, б). Шаг триангуляции во всех сериях одинаков, и получен путем деления пролета на нечетное число КЭ, а именно – на 5, 7, 9, 11, 13, 15, 25 и 35 частей. Благодаря чему центр тяжести центральных КЭ совпадает с серединой пролета (отмечено красным на рис. 1.в).

Предметом анализа выбрана площадь нижней продольной арматуры вдоль оси «Х» в середине пролета, расположенного между осями 2 и 3 по оси «В». Результаты вычислительного эксперимента приведены в таблице №1.

Таблица №1

Площадь арматуры A_{S1} , см.кв/м в середине пролета

Шаг триангуляции, м	Вид триангуляции		
	прямоугольная	треугольная	адаптивная
Плита с использованием АЖТ			
0,17	6,60	6,64	6,60
0,24	6,59	6,65	6,58
0,40	6,50	6,40	6,54
0,46	6,57	6,57	6,53
0,55	6,54	6,55	6,47
0,67	6,40	6,60	6,41
0,86	6,26	6,41	6,40
1,20	5,79	6,30	6,19
Плита без АЖТ			
0,17	7,06	7,12	6,99
0,24	7,04	7,13	6,99
0,40	7,05	7,23	7,05
0,46	7,08	7,12	7,07
0,55	7,07	7,17	7,01
0,67	6,97	7,21	6,94
0,86	6,93	7,30	6,83
1,20	6,62	7,50	6,62

Рассмотрим диапазон шагов триангуляции (иными словами диапазон размеров конечных элементов) от 0,24 м до 0,86 м, или в относительных единицах от 1/7 до 1/25 пролета, что несколько шире общепринятого в практике, и диапазона, равного 1/10 – 1/20 пролета. Сопоставление результатов свидетельствует, что в этом диапазоне во всех схемах без АЖТ

арматуры требуется больше чем в схемах, имеющих АЖТ. А именно: на 5,9 - 6,3 %; при адаптивной триангуляции, на 6,4 – 9,6 % при прямоугольной, и на 6,8 – 12,2 % при треугольной. С определенной осторожностью можно утверждать, что использование в узлах сопряжения плит с колоннами абсолютно жестких тел ведет к снижению требуемой по расчету пролетной арматуры примерно на 6 % не зависимо от типа и шага триангуляции.

Установлено, что влияние вида и шага триангуляции на площадь арматуры в пролете не значительно (рис.2 и рис.3).

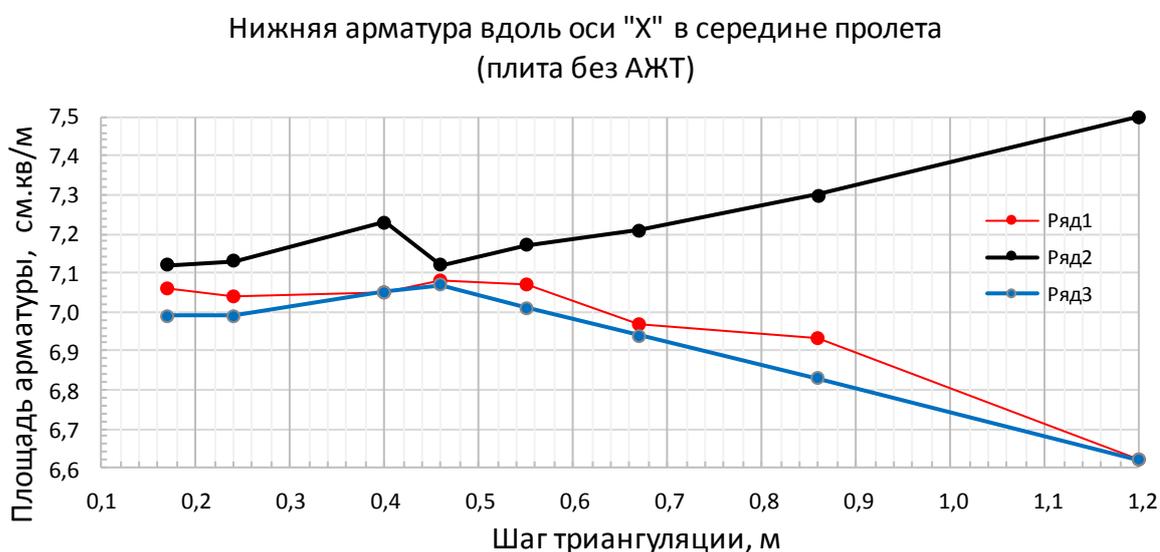


Рис. 2. Схемы без АЖТ с триангуляцией:

ряд 1 – прямоугольной; ряд 2 – треугольной; ряд 3 – адаптивной

Так, в схемах без АЖТ (рис.2) размах значений A_{S1} при изменении шага триангуляции от 0,24 м до 0,86 м составил 2,2 %, 2,3 % и 3,5 % при прямоугольной, треугольной и адаптивной триангуляции соответственно. Расчет схем с абсолютно жесткими телами в узлах показывает схожие результаты, а именно 5,2 %, 3,1 % и 2,8%.

На графиках (рис.2 и рис.3) прослеживается тенденция уменьшения требуемой по расчету площади арматуры по мере увеличения шага триангуляции, или иными словами – по мере увеличения размера КЭ.

Обращает на себя внимание тот факт, что в отмеченную закономерность не вписываются схемы без АЖТ с треугольной триангуляцией (ряд 2 на рис.2).

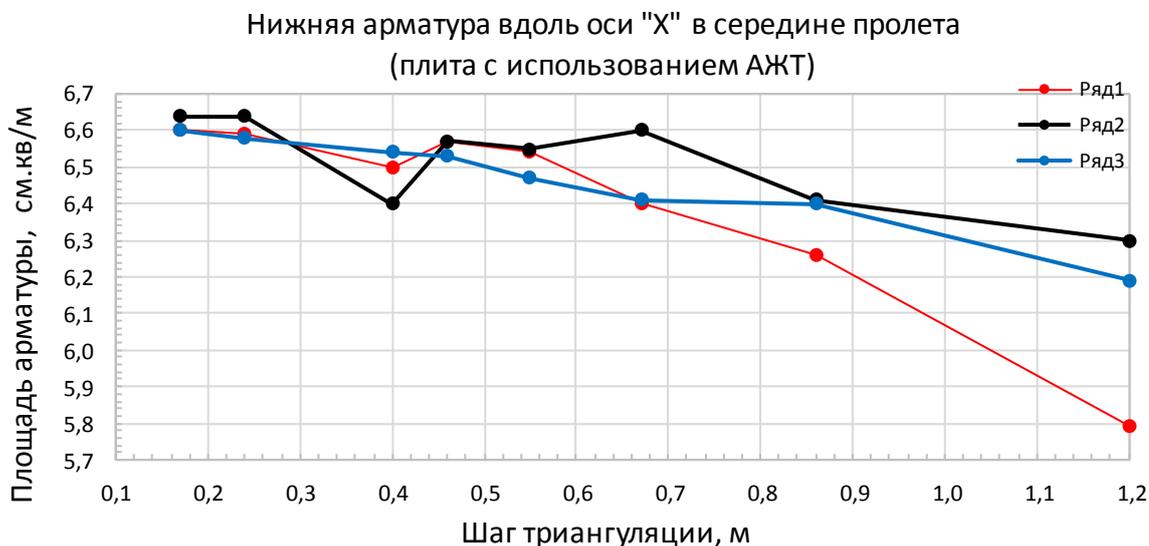


Рис. 3. Схемы использованием АЖТ с триангуляцией:
ряд 1 – прямоугольной; ряд 2 – треугольной; ряд 3 – адаптивной

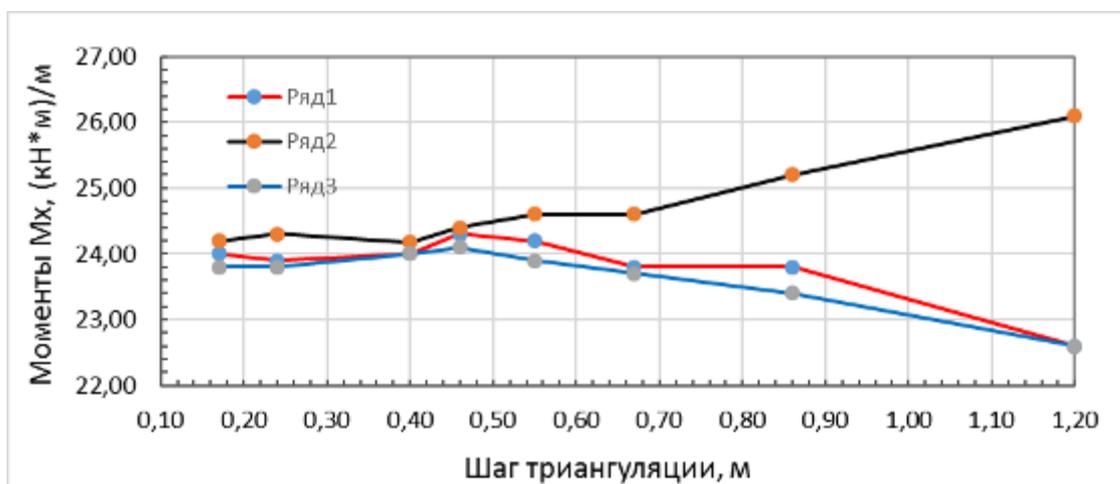


Рис. 4. Изгибающие моменты M_x в схемах без АЖТ при триангуляции:
ряд 1 – прямоугольной; ряд 2 – треугольной; ряд 3 – адаптивной.

Сопоставление значений изгибающих моментов M_x для этих схем (рис.4) обнаруживает такую же особенность треугольных КЭ и для моментов. Таким образом, при создании схемы в ПК САПФИР предпочтительнее использование прямоугольной или адаптивной триангуляции. Вместе с тем,

учитывая незначительную разницу результатов подбора арматуры (от 2,2% до 5,2%), можно утверждать, что тип и шаг триангуляции, использованные в ПК САПФИР существенного влияния на результат подбора пролетной арматуры, не оказывают. Однако следует учесть, что этот результат получен для схем, в которых обязательно есть конечные элементы, центры тяжести которых располагаются в середине пролета, к чему и нужно стремиться в процессе в процессе создания компьютерной модели здания.

Литература

1. Барабаш М.С., Палиенко О.И., Медведенко Д.В. Программный комплекс САПФИР – основа BIM-технологий. М.: АСВ, 2012. -356с.
2. ПК ЛИРА-САПР 2016. Проектирование и расчет строительных конструкций. [2016]. URL: liraland.ru/lira/
3. Перельмутер А.В., Сливкер В.И. Расчетные модели сооружений и возможности их анализа. – М, 2007. – 595 с.
4. А.С. Городецкий, Л.Г. Батрак, Д.А. Городецкий, М.В. Лазнюк, С.В. Юсипенко. Расчет и проектирование конструкций высотных зданий из монолитного железобетона. – Киев, 2005. –106 с.
5. А.С. Городецкий, И.Д., Евзеров И.Д. Компьютерные модели конструкций. – Киев, 2004. – 344 с.
6. Мкртчян А.М., Аксенов В.Н. Отличия расчета колонн из высокопрочного бетона по нормам // Инженерный вестник Дона, 2013, №4 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2131
7. Русаков А. И. Учет размера конечного элемента оболочки при расчете арматуры монолитных плит перекрытий // Промышленное и гражданское строительство. - 2011. - N 8. - С. 57-60.
8. Metin Husem, Selim Pul. Investigation of strain models for confined high strength concrete // «Sadhama» Vol. 32, Part 3, June 2007, pp 243-253. –India.
9. James K. Wight. Reinforced Concrete Mechanics and Design. 2009. –113р.



10. П.П. Польской, Д.Р. Маилян, С.В. Георгиев. О влиянии гибкости стоек на эффективность композитного усиления // Инженерный вестник Дона, 2015. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2094.

References

1. Barabash M.S., Palienco O.I., Medvedenko D.V. Programmnyj kompleks SAPFIR – osnova BIM-tehnologij [A programmatic complex SAPPHIRE is basis of BIM- of technologies].: M.: ASV, 2012. 356 p.

2. PK LIRA-SAPR 2016. Proektirovanie i raschet stroitel'nykh konstruksiy [LIRA-SAPR 2016. Design and calculation of building structures]. URL: liraland.ru/lira/.

3. Perel'muter A.V., Slivker V.I. Raschetnye modeli sooruzhenij i vozmozhnosti ih analiza [Calculation models of building and possibility of their analysis.]. M, 2007. 595 p.

4. A.S. Gorodeckij, L.G. Batrak, D.A. Gorodeckij, M.V. Laznjuk, S.V. Jusipenko Raschet i proektirovanie konstruksij vysotnyh zdaniy iz monolitnogo zhelezobetona. [Calculation and design of construction of high-rise buildings made of reinforced concrete] Kiev, 2004. 106 p.

5. A.S. Gorodeckij, I.D., Evzerov I.D. Komp'juternye modeli konstruksij [Computer models of constructions]. Kiev, 2004. 344 p.

6. Mkrtchjan A.M., Aksenov V.N. Inzhenernyj vestnik Dona (RUS), 2013, №4. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n4y2013/2131

7. Rusakov A. I. Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. 2011. N 8. pp. 57-60.

8. Metin Husem, Selim Pul. Investigation of strain models for confined high strength concrete. «Sadhama» Vol. 32, Part 3, June 2007, pp. 243-253. India.

9. James K. Wight. Reinforced Concrete Mechanics and Design. 2009. 113p.

10. P.P. Pol'skoj, D.R., Mailjan, S.V. Georgiev. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2015, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2015/3374.