

УДК 624.012.41

**АНАЛИЗ ЗАВИСИМОСТИ
РЕЗУЛЬТАТОВ ПОДБОРА АРМАТУРЫ
ОТ ПАРАМЕТРОВ ТРИАНГУЛЯЦИИ В
СРЕДЕ ПК САПФИР.***А. В. Задорожная, М. А. Балозян,
М. Д. Семочкин, Н. Б. Аксенов*

Донской государственной технической
университет, г. Ростов-на-Дону, Российская
Федерация

ann0609z@mail.rubalozyan.jan@yandex.rumikhail.semochkin@gmail.comaksenov.n.b@mail.ru

Рассмотрены результаты расчета модели монолитного многоэтажного безбалочного каркаса с различными вариантами сетки конечных элементов, генерируемой средствами программного комплекса (ПК) САПФИР. Смоделирован узел опирания плиты на колонну как с использованием абсолютно жесткого тела, так и без него. Предметом анализа выбрана площадь нижней продольной арматуры в середине пролета. Установлено, что не зависимо от типа и шага триангуляции использование абсолютно жестких тел ведет к снижению требуемой расчетом арматуры в среднем на 6 %. Определено, что тип и шаг триангуляции, использованные в ПК САПФИР, существенного влияния на пролетную арматуру не оказывают.

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

Введение. В сфере проектирования строительных объектов все большее распространение получают технологии цифрового (информационного) моделирования — Building Information Modeling (далее BIM). Такой подход обеспечивает возможность разработать единую модель объекта, включающую все этапы: инженерно-геологические изыскания, проектирование, оснащение, устройство сетей, эксплуатация, ремонты и мониторинг состояния (управление жизненным циклом здания). В процессе проектирования проектировщик при помощи набора

UD C624.012.41

**ANALYSIS OF THE DEPENDENCE OF
REINFORCEMENT PROPORTIONING
RESULTS FROM TRIANGULATION
PARAMETERS IN THE PC SAPPHIRE.***A. V. Zadorozhnaya, M. A. Balozyan,
M. D. Semochkin, N. B. Aksenov*

Don State Technical University, Rostov-on-Don,
Russian Federation

ann0609z@mail.rubalozyan.jan@yandex.rumikhail.semochkin@gmail.comaksenov.n.b@mail.ru

The article considers the results of the model calculation of monolithic multi-storey reinforced concrete frame with different variants of the finite element mesh generated by means of the program complex (PC) SAPPHIRE. It provides the simulation of a plate bearing unit on the column with and without use of an absolutely rigid body. The subject of analysis is the area of bottom longitudinal reinforcement at midspan. It is determined that the use of perfectly rigid bodies leads to a reduction in the required by the calculation reinforcement by an average of 6 % without any dependence on the type and pitch of triangulation. It is determined that the type and pitch of triangulation used in PC SAPPHIRE has no significant influence on span reinforcement.

Keywords: Monolithic frame, flat slab construction, triangulation, reinforcement proportioning, analysis of structures, SAPPHIRE, absolutely rigid body.

соответствующих трёхмерных объектов формирует трехмерную модель здания, что обеспечивает большую скорость построения модели и визуальной оценки полученного результата [1]. Программные комплексы, поддерживающие BIM технологии, позволяют в автоматическом режиме осуществить переход от трехмерной к аналитической, и затем к конечно элементной модели здания, расчет которой ведется с использованием метода конечных элементов (далее МКЭ) [2–4]. Правильность полученного армирования в значительной мере зависит от правильного выбора типа и параметров конечных элементов, моделирующих строительную конструкцию [5, 6].

Постановка задачи. Целью данной работы является исследование влияния параметров триангуляции плоских безбалочных плит в среде ПК САПФИР на результаты подбора арматуры.

Теоретическая часть. В большинстве случаев при разбиении исследуемой области модели на конечные элементы производится деление на четырехугольные или треугольные подобласти. При разбиении необходимо выбрать определенное число узлов вдоль каждой стороны области и соединить соответствующие узлы прямыми линиями, а точки пересечения этих линий считать узлами. При этом следует избегать использования четырехугольных элементов с углами, превышающими 180° и слишком вытянутых элементов, так как элементы с примерно одинаковыми размерами сторон дают меньшую ошибку при расчетах.

С учетом наличия в исследуемой области концентрации напряжений, температурных градиентов и т.д., равномерное разбиение с элементами, имеющими одинаковую форму и размеры, обычно не проводится. Например, мелкая сетка КЭ требуется там, где ожидается большой градиент деформаций или напряжений (отверстие, выточка и т. п.). В этом случае возможность варьировать размеры элемента в методе конечных элементов позволяет, применяя четырехугольные подобласти с неравным числом узлов на противоположных сторонах, проводить процедуру дискретизации неравномерно.

В то же время крупная сетка КЭ может применяться в зонах с мало изменяющимися относительными деформациями или напряжениями, а также в областях, не представляющих особого интереса для проектировщика.

Перед созданием конечно-элементной сетки необходимо определить предполагаемые области концентрации напряжений. Точность расчетов уменьшается, если размеры соседних элементов существенно различаются вблизи концентратора напряжений [7-9].

Поскольку создание конечно-элементной модели в ПК ЛИРА является весьма трудоемким процессом, то целесообразно сначала создать модель в ПК САПФИР, а затем импортировать схему в ПК ЛИРА.

В статье рассматривается влияние типа и шага триангуляции на результат подбора площади пролетной арматуры для различных вариантов сетки КЭ, генерируемой средствами ПК САПФИР.

В качестве модели для вычислительного эксперимента использовалась модель фрагмента монолитного многоэтажного безбалочного каркаса (рис.1,а). В практике строительства такие здания, в том числе и с использованием высокопрочных бетонов [10] и композитных материалов[11] встречаются весьма часто.

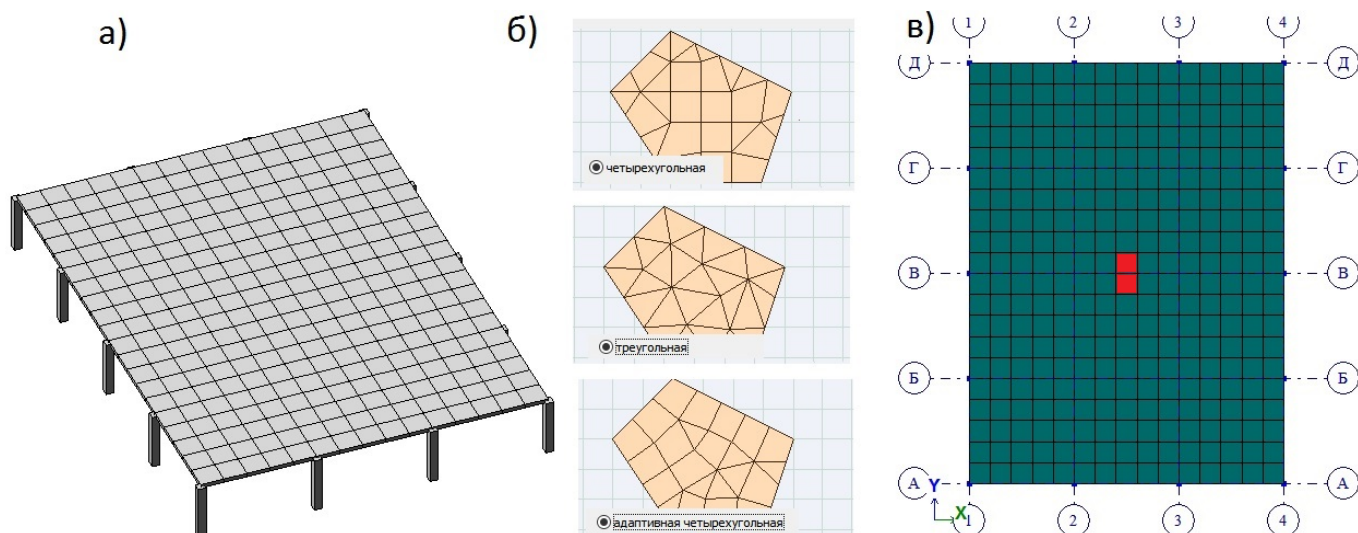


Рис.1. Модель фрагмента монолитного многоэтажного безбалочного каркаса

Параметры модели: шаг колонн 6 м; сечение колонн 0,4x0,4 м; толщина плиты 0,2 м; бетон класса В25; арматура класса А400; колонны жестко заземлены. Нагрузка – собственный вес и распределенная по площади нагрузка 10 кН/м².

Узел опирания плиты на колонну моделировался как с использованием абсолютно жесткого тела (далее АЖТ), так и без него. АЖТ объединяет выбранные точки и образует объект, являющийся телом, расстояние, между узлами которого не изменяется при действии на него любых сил. При разбиении плиты на КЭ для варианта с АЖТ для всех внутренних колонн параметр «форма АЖТ» был принят «точно по форме сечения».

Рассчитано три серии схем, отличающихся между собой способом триангуляции: прямоугольная; треугольная и адаптивная четырехугольная (рис. 1,б), при прочих одинаковых параметрах.

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). В натуральном выражении шаг триангуляции составил: 0,17; 0,24; 0,4; 0,46; 0,55; 0,67; 0,86; 1,2 м.

Предметом анализа выбрана площадь нижней продольной арматуры A_{S1} , расположенной вдоль оси «Х» в середине пролета, расположенного между осями 2 и 3 по оси «В». Результаты вычислительного эксперимента для схем с шагом триангуляции, равным 1/9 пролета (0,67 м) при сопряжении плиты с колонной без использования АЖТ приведены на рис.2.

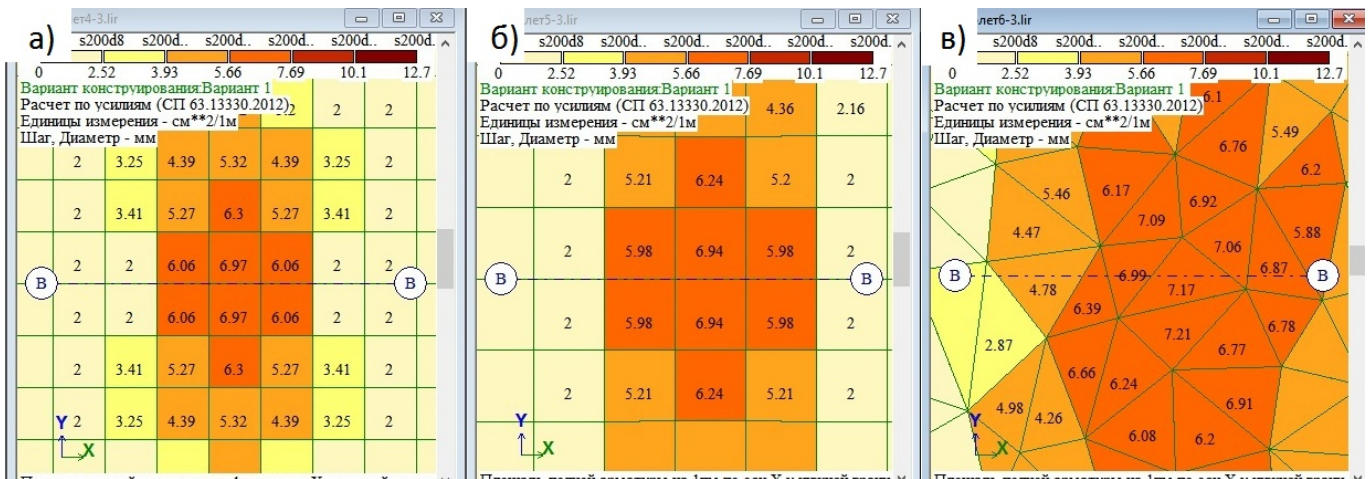


Рис.2. Узлы без АЖТ. Мозаика арматуры A_{S1} в середине пролета при триангуляции:
 а — четырехугольной, б — адаптивной четырехугольной, в — треугольной.

Результаты подбора арматуры для схем, отличающихся от приведенных на рис.2 только наличием абсолютно жестких тел в узлах сопряжения плиты с колонной показаны на рис.3.

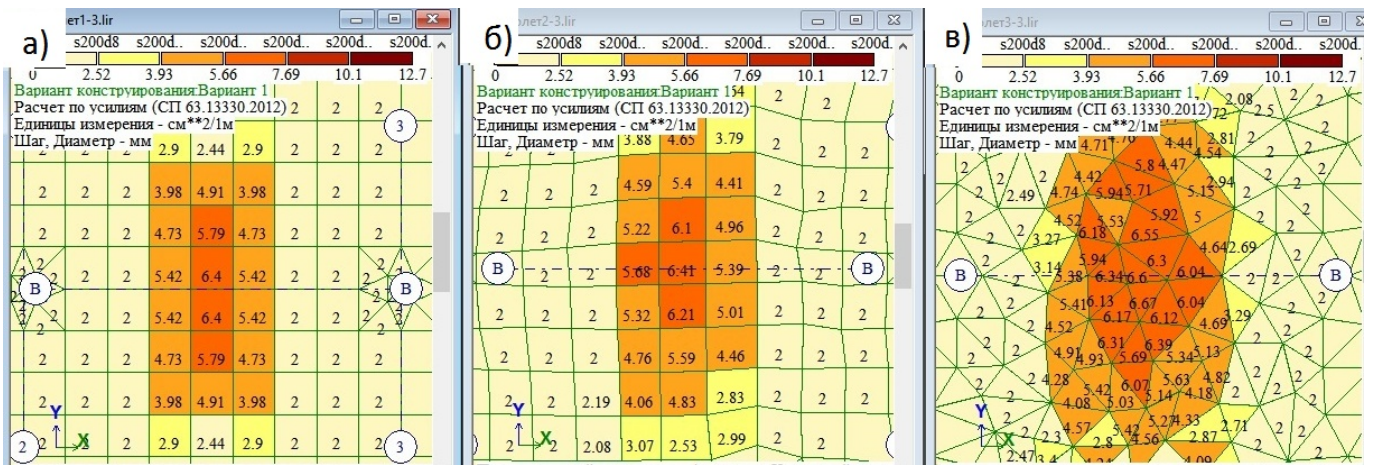


Рис.3. Узлы с АЖТ. Мозаика арматуры A_{S1} в середине пролета при триангуляции:
 а – четырехугольной, б – адаптивной четырехугольной, в – треугольной.

Сравнение результатов расчета шести упомянутых схем (рис.2 и рис. 3) свидетельствует о значительном расхождении полученного армирования. Так, для середины пролета максимальное значение A_{S1} составляет $7,21 \text{ см}^2/\text{м}$, а минимальное равно $6,6 \text{ см}^2/\text{м}$, соответственно различие составляет 10,3%. Как видим, результат расчета зависит от параметров триангуляции.

Анализ результатов свидетельствует о том, что в схемах, построенных с использованием в плите АЖТ арматуры, требуется меньше чем в схемах без АЖТ рис.4–рис.6).

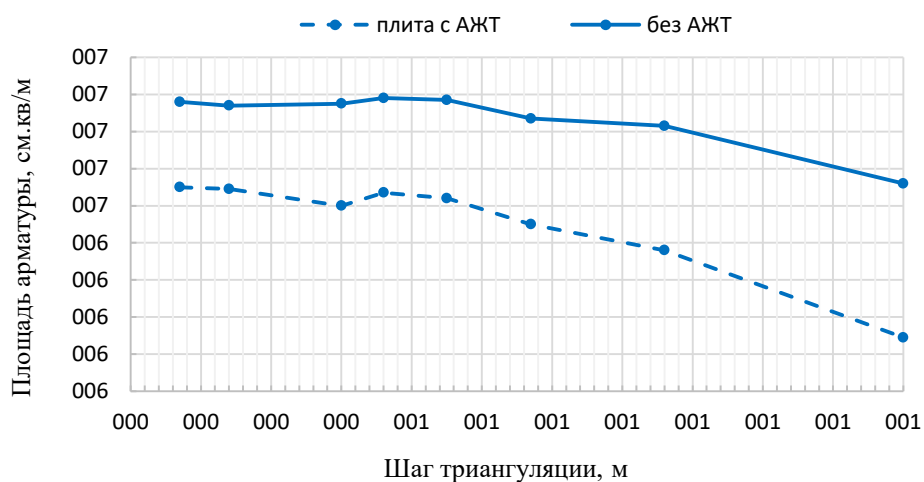


Рис.4. Площадь арматуры A_{S1} .при прямоугольной триангуляции.

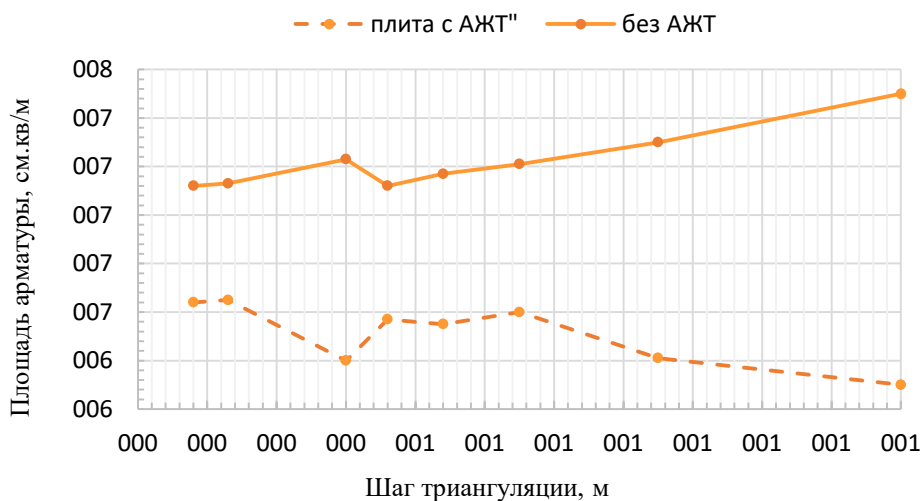


Рис.5. Площадь арматуры A_{S1} .при треугольной триангуляции.

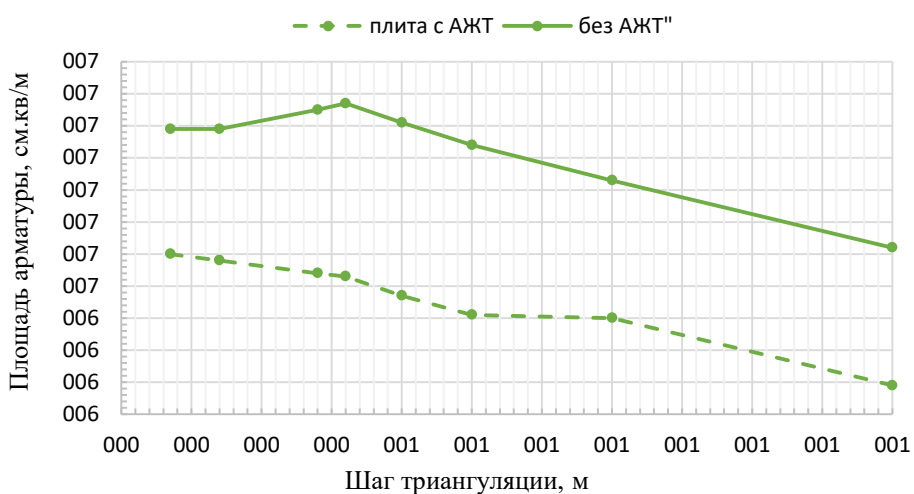


Рис.6. Площадь арматуры A_{S1} .при адаптивной триангуляции.

Подробно следует рассмотреть результаты подбора арматуры для шагов триангуляции 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 интервала, составляющего $1/10$ — $1/20$ пролета. Сопоставление результатов свидетельствует, что в этом диапазоне во всех схемах без АЖТ требуется больше арматуры, чем в схемах, имеющих в плите АЖТ. Именно: на 4,3–6,3 % — при адаптивной триангуляции, на 1,8–5,2 % — при прямоугольной, и на 6,7–12,2 % — при триангуляции треугольной.

Таким образом, можно утверждать, что использование в узлах сопряжения безбалочных плит с колоннами абсолютно жестких тел ведет к снижению требуемой по расчету пролетной арматуры в среднем, примерно на 6 % не зависимо от типа и шага триангуляции.

Влияние вида и шага триангуляции не столь явно и однозначно. Вместе с тем, установлено, что с увеличением шага прямоугольной и адаптивной триангуляции в схемах без использования АЖТ значение A_{S1} снижается на 1,62 % и 2,3 % соответственно, а при треугольной триангуляции увеличивается на 2,5 % (рис. 7).

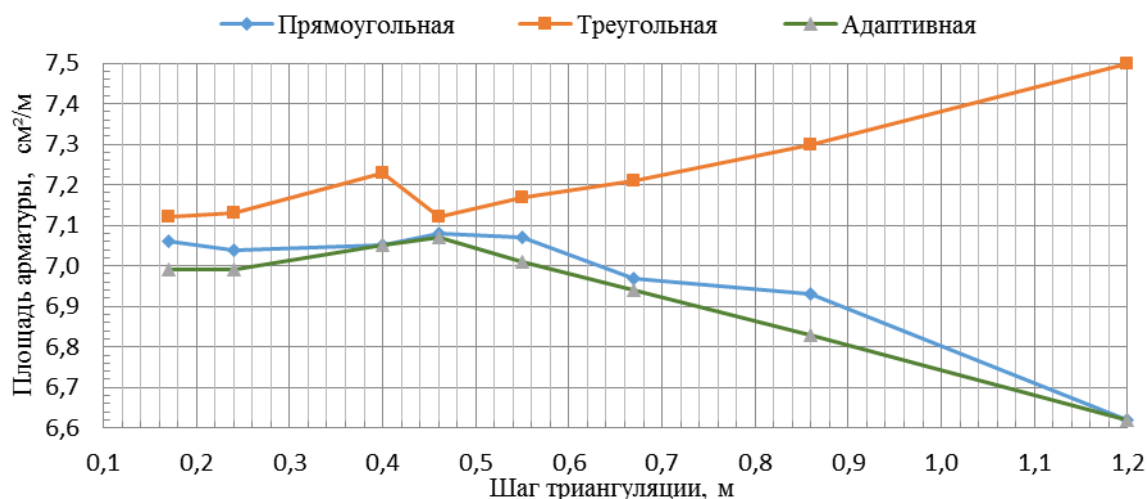


Рис. 7. Зависимость площади арматуры от шага триангуляции без АЖТ

В схемах без использования АЖТ увеличение шага триангуляции ведет к снижению площади арматуры A_{S1} на 5,3 %, 3,1 % и 3,6 % в случае прямоугольной, адаптивной треугольной триангуляции соответственно (рис. 8).

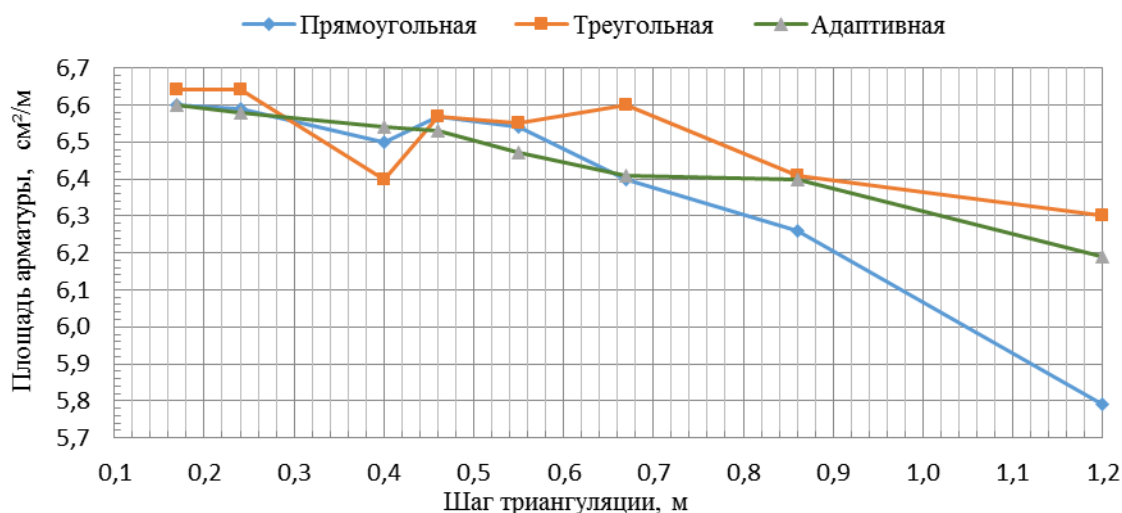


Рис. 8. Зависимость площади арматуры от шага триангуляции с использованием АЖТ.

На графиках (рис.7 и рис.8) прослеживается тенденция уменьшения требуемой по расчету площади арматуры по мере увеличения шага триангуляции, или иными словами — по мере увеличения размера КЭ. При этом в отмеченную закономерность не вписываются схемы без АЖТ с треугольной триангуляцией (рис.7).

При сопоставлении значений изгибающих моментов M_x для этих схем была обнаружена такая же особенность треугольных КЭ — с увеличением шага триангуляции моменты M_x возрастают (рис.9).

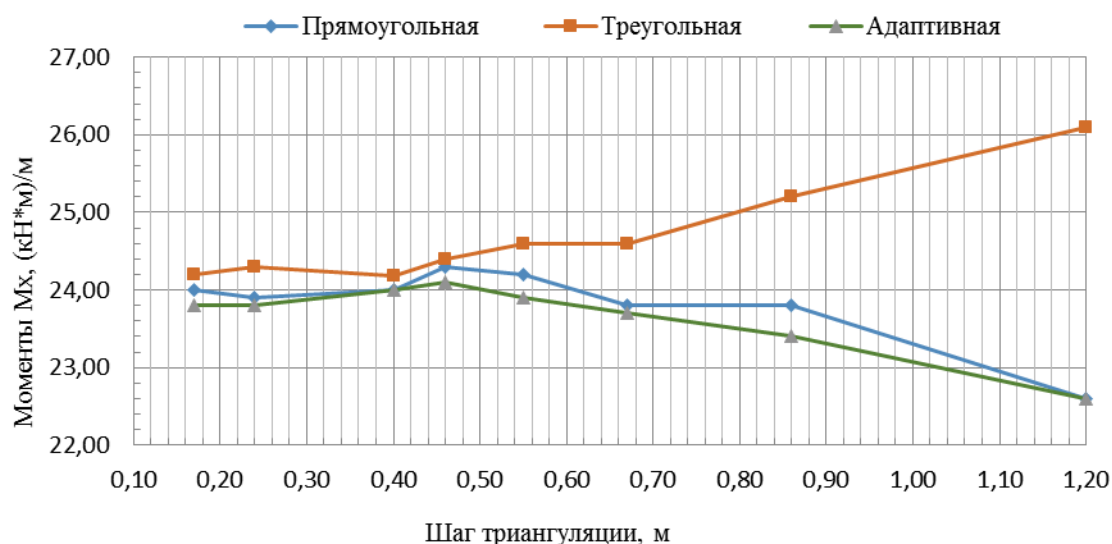


Рис. 9. Зависимость изгибающих моментов M_x от шага триангуляции в моделях без АЖТ.

Заключение. В результате выполненного вычислительного эксперимента установлено, что при создании схемы в ПК САПФИР предпочтительнее использование прямоугольной или адаптивной триангуляции. Вместе с тем, учитывая незначительную разницу результатов подбора арматуры (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, то есть в сечении с максимальным изгибающим моментом. Эти КЭ определяли анализируемые значения A_{S1} , и именно к такому расположению КЭ следует стремиться в процессе создания компьютерной модели здания.

Библиографический список

1. Барабаш, М. С. Программный комплекс САПФИР — основа BIM-технологий / М. С. Барабаш, О. И. Палиенко, Д. В. Медведенко — Москва : АСВ, 2012. — 356 с.
2. ПК ЛИРА-САПР 2016. Проектирование и расчет строительных конструкций. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://www.liraland.ru/lira/> (дата обращения 15.04.2017).
3. Перельмутер, А. В. Расчетные модели сооружений и возможности их анализа / А. В. Перельмутер, В. И. Сливкер — Москва : ДМК Пресс, 2007. — 595 с.
4. Городецкий, А. С. Расчет и проектирование конструкций высотных зданий из монолитного железобетона. / А. С. Городецкий, Л. Г. Батрак, Д. А. Городецкий, М. В. Лазнюк, С. В. Юсипенко — Киев : Факт, 2005. — 106 с.

5. Городецкий, А. С. Компьютерные модели конструкций / А. С. Городецкий, И. Д. Евзеров — Киев : Факт, 2004. — 344 с.

6. Мкртчян, А. М. Отличия расчета колонн из высокопрочного бетона по нормам [Электронный ресурс] / А. М. Мкртчян, В. Н. Аксенов // Инженерный вестник Дона — 2013 — №4 — Режим доступа : <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2131> (дата обращения 10.04.2017).

7. Русаков, А. И. Учет размера конечного элемента оболочки при расчете арматуры монолитных плит перекрытий / А. И. Русаков // Промышленное и гражданское строительство. — 2011. — № 8. — С. 57–60.

8. Metin, H. Investigation of strain models for confined high strength concrete / H. Metin, P. Selim // «Sadhana» Vol. 32, Part 3 — June 2007, pp 243–253. — India.

9. James, K. Wight. Reinforced Concrete Mechanics and Design: Pearson / James K. Wight — 2009. — 113 p.

10. Польской, П. П. О влиянии гибкости стоек на эффективность композитного усиления [Электронный ресурс] / П. П. Польской, Д. Р. Маилян, С. В. Георгиев // Инженерный вестник Дона — 2015 — Режим доступа : <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2094> (Дата обращения 14.04.2017).

11. Шимановский, А. О. Применение метода конечных элементов в решении задач прикладной механики / А. О. Шимановский, А. В. Пулято — Гомель : БелГУТ, 2008. — 61 с.