

Особенности использования BIM технологий при расчёте железобетонных конструкций

А.В. Задорожная, В.М. Трофимова, Н.Б. Аксёнов
Донской государственной технической университет

Аннотация: В статье рассмотрены результаты расчёта монолитных безбалочных перекрытий. Конечноэлементные модели создавались в ПК Revit, Сапфир и Лира-САПР. Приведено описание методики создания компьютерных моделей, план вычислительного эксперимента и основные параметры рассчитанных опытных образцов.

Всего было рассчитано четыре серии образцов, отличающихся способом создания модели. В каждой серии реализованы все доступные способы триангуляции. Для сопоставимости результатов шаг триангуляции в каждой из серий принимался одинаковым: 0.17, 0.24, 0.4, 0.46, 0.55, 0.67 и 0.86 м.

Авторами выполнен сравнительный анализ качества схем после их импорта в ПК Лира-САПР. Всего был выполнен анализ 63 схем. Установлено, что при экспорте схем из разных ПК такие данные как материалы, жесткости элементов и нагрузки передаются не всегда корректно, что вынуждает выполнять детальную проверку схемы и её корректировку вручную.

Ключевые слова: BIM технология, железобетон, безбалочное перекрытие, арматура, триангуляция, конечный элемент, подбор арматуры, вычислительный эксперимент, Rewit, Сапфир, Лира-САПР.

Технология BIM (Building Information Modeling) уже сейчас показала возможность достижения высокой скорости, объема и качества строительства. В России задача внедрения технологии информационного моделирования в строительстве относится к наиболее перспективным. По поручению президента РФ правительство до 1 июля 2019 года должно обеспечить применение информационного моделирования для модернизации строительной области страны.

Такие комплексы как Revit, Лира-САПР и САПФИР, поддерживают BIM технологии и позволяют в автоматическом режиме осуществить переход от трехмерной к аналитической, и затем к конечно элементной модели [1 - 3].

Однако перенос модели из одной программы в другую может повлечь за собой потерю данных и прочие неточности, и ошибки, что особенно актуально при расчётах на прогрессирующее разрушение [4, 5] и при применении новых и композитных материалов [6, 7].

В качестве опытного образца для вычислительного эксперимента использовалась модель фрагмента монолитного перекрытия многоэтажного безбалочного каркаса. Основные параметры модели: шаг колонн 6 м; колонны 0,4х0,4 м; толщина плиты 0,2 м; бетон класса В25; арматура А400. Схема имеет две оси симметрии – ось «В» и середина пролета между осями 2 и 3 (рис.1). Кроме собственного веса приложена нагрузка 10 кН/м².

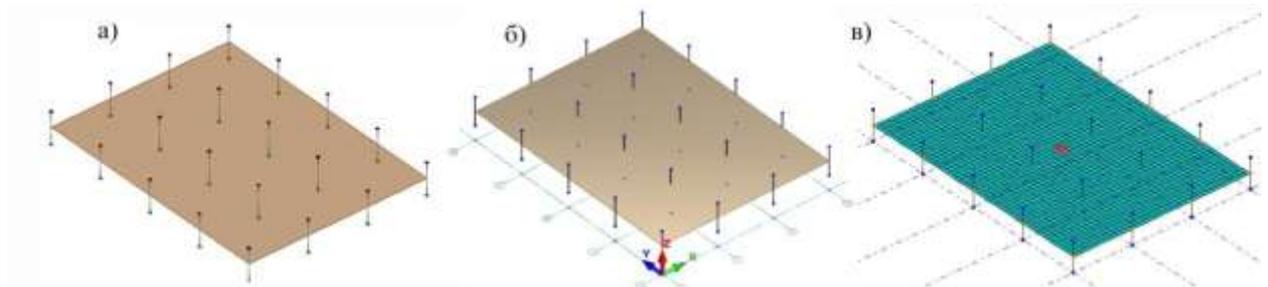


Рис.1. – Модель фрагмента монолитного многоэтажного безбалочного каркаса
а – вид в Revit, б – вид в ПК Сапфир, вид – в ПК Лира-САПР

Предметом анализа в данной статье является качество конечноэлементной сетки образца и характеристики схемы после экспорта в ПК Лира в сравнении с базовой схемой. Схемы создавались следующими четырьмя способами.

Первый способ. Создание схемы в ПК Лира-САПР [8, 9] вручную с использованием квадратных или прямоугольных конечных элементов путём задания параметров сетки процедурой «Создание плоских фрагментов и сетей». Этот способ довольно трудоемок и требует наличия определённого опыта и практических навыков генерации сети конечных элементов, но позволяет создать качественную схему. Результаты подбора арматуры для

этой схемы приняты в качестве базовых, с которыми сравнивались результаты расчётов других схем [10, 11].

Размеры конечных элементов (шаг триангуляции) определялись делением пролёта на нечётное количество (5, 7, 9, 11, 13, 15 и 25) частей. Сделано это было для того, чтобы середина пролёта, то есть сечение с максимальным изгибающим моментом, обязательно совпадало бы с центром тяжести одного из конечных элементов. Такой подход при симметричной схеме гарантирует наибольшее значение получаемой расчётом площади арматуры.

Второй способ. Создание схемы и генерация сети конечных элементов выполняются в среде ПК Сапфир, а затем осуществляется экспорт схемы в ПК Лира. При создании схем в среде ПК Сапфир были реализованы все три из имеющихся в распоряжении пользователя способа триангуляции: треугольная, адаптивная четырехугольная и четырехугольная (рис.2). Таким образом была создана 21 схема.

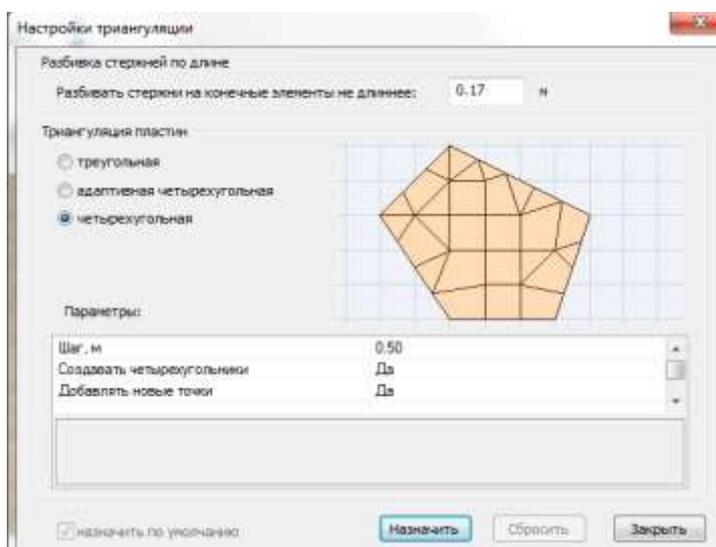


Рис. 2. – Виды триангуляции, использованные при создании схем в ПК Сапфир.

Третий способ. Создание схемы в ПК Revit с последующим экспортом в ПК Лира. Весьма перспективный способ, но в ПК Revit генерация сети конечных элементов не предусмотрена, поэтому она выполнялось

средствами ПК Лира в автоматическом режиме при помощи процедуры «Импорт конструктивной модели». Так было создано 14 схем и реализованы четырехугольная и треугольная триангуляция

Четвёртый способ. Создание схемы в ПК Revit, экспорт этой схемы в ПК Сапфир, генерация сети конечных элементов средствами ПК Сапфир и, затем экспорт аналитической модели в ПК Лира-САПР. Таким образом была создана 21 схема, с использованием трех видов триангуляции (треугольная, адаптивная четырехугольная и четырехугольная (рис.3). Всего было рассчитано 63 схемы (таблица №1).

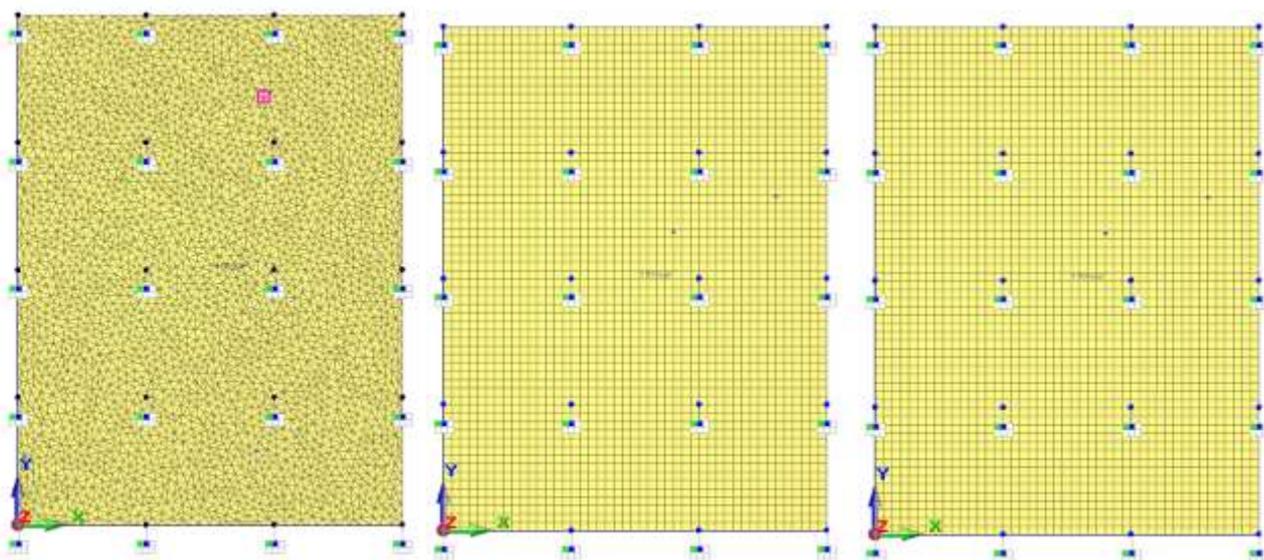


Рис. 3. Серии схем, созданные в ПК Сапфир с использованием триангуляцией:
 а) треугольной; б) четырехугольной адаптивной; в) четырехугольной.

Таблица № 1

План вычислительного эксперимента

Способ создания схемы	Способ триангуляции		Шаг триангуляции или размер КЭ						
			0.17	0.24	0.4	0.46	0.55	0.67	0.86
1	1	четырёхугольная	+	+	+	+	+	+	+
2	1	четырёхугольная	+	+	+	+	+	+	+
	2	треугольная	+	+	+	+	+	+	+

	3	четырёхугольная адаптивная.	+	+	+	+	+	+	+
3	1	четырёхугольная	+	+	+	+	+	+	+
	2	треугольная	+	+	+	+	+	+	+
4	1	четырёхугольная	+	+	+	+	+	+	+
	2	треугольная	+	+	+	+	+	+	+
	3	четырёхугольная адаптивная.	+	+	+	+	+	+	+

При экспорте схемы в разные ПК некоторые характеристики элементов передаются не полностью (таблица №2). Некорректность после экспорта в ПК Лира таких параметров как модуль упругости и удельный вес материала была выявлена при использовании способов 2, 3, 4, а параметра нагрузки - при способах 2, 4. При этом при использовании способа 3 нагрузка передается наиболее точно $q=9.99 \text{ кН/м}^2$, вместо $q=10 \text{ кН/м}^2$. При четвертом способе нагрузка не передается, но появляется собственный вес $5,82 \text{ кН/м}^2$, который создается в ПК Сапфир автоматически.

Таблица № 2

Параметры пластин после экспорта схемы в ПК Лира

Параметры	Способ 1	Способ 2	Способ 3	Способ 4
Модуль упругости, кН/м^2	3e+007	2,942e+007	2,05e+007	2,05e+007
Удельный вес, кН/м^3	27,5	24,51	26,48	26,48
Нагрузка, кН/м^2	10 (распределенная по площади)	12 (сосредоточенная)	9,99 (распределенная по площади)	0

При экспорте из ПК Revit в точках пересечения крайних колонн и плиты

создаются абсолютно жёсткие тела (АЖТ), причем ПК Сапфир создает их по всему периметру, а ПК Лира - САПР только с одной стороны плиты (рис.4, а и рис.4, б). При использовании мелкой сетки КЭ появляются вырожденные элементы, в которых подбор арматуры не возможен (рис.4, в).

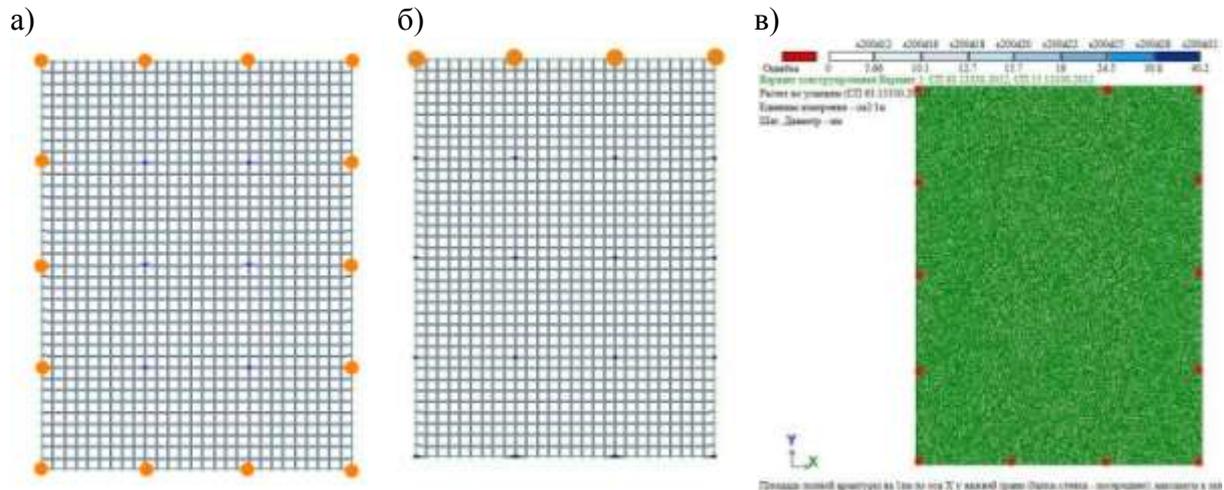


Рис. 4. – Появление в плите АЖТ и вырожденных КЭ
а) АЖТ при 4-м способе создания схемы; б) - АЖТ при способе 3;
в) - ошибки при подборе арматуры при использовании способа 2.

Данные о параметрах создания схемы, при которых возникают ошибки приведены в таблице №3. Наибольшее число ошибок и вырожденных элементов, проявившихся при подборе арматуры, имеет место при треугольной триангуляции и способах создания схемы: № 2.2; № 3.2 и № 4.2. При использовании четырехугольной адаптивной триангуляции при малых шагах ошибок не наблюдается.

Таблица № 3

Возникающие ошибки при различных вариантах экспортирования

Способы создания схемы	Шаг триангуляции, м
2.2	0,17; 0,24; 0,4
3.1	0,17; 0,24; 0,4
3.2	0,17; 0,24



4.1	0,17
4.2	0,17; 0,24

Выводы.

1. При выборе способа экспортирования расчетной схемы в ПК Лира следует учитывать, что материалы, жесткости элементов и нагрузки передаются не всегда точно, что может повлечь за собой некорректно подобранные площади арматуры при конструировании.

2. Наилучшим решением является создание схемы в ПК Revit с последующим ее экспортом в ПК Лира. При этом модель нуждается в минимальных корректировках по сравнению со способами экспорта через ПК Сапфир.

3. При треугольных конечных элементах и малом шаге триангуляции меньше 0,4 м могут появляться вырожденные конечные элементы, в которых возникают ошибки при подборе арматуры.

4. При проектировании следует выбирать наиболее рациональный способ экспорта, чтобы не выполнять детальную проверку импортированной схемы и, при необходимости, её корректировку вручную.

Литература

1. Петров К.С. Швец Ю.С, Корнилов Б.Д., Шелкоплясов А.О. Применение BIM-технологий при проектировании и реконструкции зданий и сооружений // Инженерный вестник Дона, 2018, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2018/5255

2. Burke S.D., Five Standout Features from Autodesk Revit 2017. URL: architectmagazine.com/technology/products/five-standout-features-from-the-newly-released-autodesk-revit-2017.120 с.

3. Мелихов Н.С., Костюченко А.Ю., Яценко А.А., Нарезная Т.К. Преимущества BIM при проведении экспертизы проектной документации // Международный научно-исследовательский журнал №5(47) 2016. С. 143-145.

4. Пайюнен С., Хаутала Дж., Хейнисуо М. Моделирование несущих ограждающих конструкций плоскими конечными элементами со свойствами метаматериала // Инженерно-строительный журнал. 2019. № 2(86). С. 20–29. DOI: 10.18720/MCE.86.3

5. Радченков А.В., Аксенов В.Н. Методы расчета каркасных зданий из монолитного железобетона на прогрессирующее обрушение на примере 17-этажного жилого дома. // Инженерный вестник Дона, 2016, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2016/3879

6. Польской П.П., Маилян Д.Р., Шилов А.А., Шевляков К.В. О результатах предварительного испытания балок на поперечную силу перед композитным усилением. // Инженерный вестник Дона, 2016, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2016/3880

7. Nesvetaev G.V., Korchagin I.V., Lopatina Yu.Yu. About influence of superplasticizers and mineral additives on creep factor of hardened cement paste and concrete // Solid State Phenomena. 2017. Vol.265. P.109-113. URL: doi.org/ 10.4028/scientific.net/SSP.265.109

8. ПК ЛИРА-САПР 2016. Проектирование и расчет строительных конструкций. [2016]. URL: liraland.ru/lira/

9. Городецкий А.С., Батрак Л.Г., Городецкий Д.А., Лазнюк М.В., Юсипенко С.В. Расчет и проектирование конструкций высотных зданий из монолитного железобетона. – Киев, 2005. –106 с.

10. Семенов А.А., Овчаров А.А. Математическая модель деформирования ортотропных конических оболочек. // Инженерный вестник Дона, 2014, №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2014/2383

11. Зотова Е.В., Панасюк Л.Н. Численное моделирование динамических



систем с большим числом степеней свободы на импульсные воздействия. // Инженерный вестник Дона, 2012, №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2012/933

References

1. Petrov K.S. Shvec Ju.S, Kornilov B.D., Shelkopljasov A.O. Inzhenernyj vestnik Dona, 2018, № 4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2018/5255
2. Burke S.D. Five Standout Features from Autodesk Revit 2017. URL: architectmagazine.com/technology/products/five-standout-features-from-the-newly-released-autodesk-revit-2017. 120p
3. Melihov N.S., Kostjuchenko A.Ju., Jashhenko A.A., Narezhnaja T.K. Mezhdunarodnyj nauchno issledovatel'skij zhurnal №5 (47) 2016. pp. 143-145.
4. Pajjunen S., Hautala Dzh., Hejnisuo M. Inzhenerno-stroitel'nyj zhurnal, 2019, № 2(86). DOI: 10.18720/MCE.86.3 pp. 20–29.
5. Radchenkov A.V., Aksenov V.N. Inzhenernyj vestnik Dona, 2016, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2016/3879
6. Pol'skoj P.P., Mailjan D.R., Shilov A.A., Shevljakov K.V. Inzhenernyj vestnik Dona, 2016, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2016/3880
7. Nesvetaev G.V., Korchagin I.V., Lopatina Yu.Yu. About influence of superplasticizers and mineral additives on creep factor of hardened cement paste and concrete. Solid State Phenomena. 2017. Vol.265. P.109-113. URL: doi.org/ 10.4028/scientific.net/SSP.265.109
8. PK LIRA-SAPR 2016. Proektirovanie i raschet stroitel'nykh konstruktsiy. LIRA-SAPR 2016. Design and calculation of building structures. URL: liraland.ru/lira/.
9. Gorodeckij A.S., Batrak L.G., Gorodeckij D.A., Laznjuk M.V., Jusipenko S.V. Raschet i proektirovanie konstrukcij vysotnyh zdanij iz monolitnogo zhelezobetona. [Calculation and design of construction of high-rise buildings made of reinforced concrete] Kiev, 2004. 106 p.

10. Semenov A.A., Ovcharov A.A. Inzhenernyj vestnik Dona, 2014, №2.
URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2014/2383

11. Zotova E.V., Panasjuk L.N. Inzhenernyj vestnik Dona, 2012, №3
URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2012/933