

УДК: 624.07: 004.921: 004.942

© *М.С. Барабаш*, докторант  
(Национальный авиационный  
университет)  
*E-mail: bmari@ukr.net*

© *M. Barabash*, doctoral candidate  
(National Aviation University)  
*E-mail: bmari@ukr.net*

## **Комплексные системы проектирования и управления строительством с использованием полнофункциональной информационной модели здания (BIM). Зарубежный и отечественный опыт, перспективы развития**

Статья посвящена актуальной проблеме комплексного проектирования и управления в строительной отрасли, вопросам информационного моделирования зданий с несущим каркасом из монолитного железобетона, на примере реализации в программе САПФИР-ЖБК. Рассматриваются процедуры динамического контроля проектных решений, принимаемых в режиме интерактивного взаимодействия проектировщика и САПР, перспективам развития таких технологий.

*Ключевые слова:* интегрированные системы, информационная модель строительного объекта (BIM), САПР, АСУ, монолитный железобетон, несущий каркас, прочностной расчёт, армирование, конструирование, информационное моделирование, жизненный цикл объекта строительства

Article is devoted to the issue of integrated design and management in the construction industry, building information modeling issues with the supporting framework of reinforced concrete, for example, the implementation of the program САПФИР-ЖБК. Procedures of the dynamic control of the design decisions taken in Interactive mode designer and CAD, development prospects of such technologies.

*Key words:* integrated systems, building information model object (BIM), CAD, reinforced concrete, supporting frame, strength calculation, reinforcement, engineering, information modeling, life cycle of the construction project

**Состояние проблемы.** Информационное моделирование здания - это подход к проектированию, возведению, оснащению, эксплуатации и ремонту здания (управлению жизненным циклом объекта), который предполагает комплексную обработку всей архитектурно-конструкторской, технологической, экономической и иной информации о

здании со всеми ее взаимосвязями и зависимостями в единой информационной структуре.

Информационная структура (база данных), основанная на 3-D модели, содержит описание топологии и пространственного расположения всех элементов здания (стен, колонн, диафрагм, перекрытий, окон, дверей и т.д.). Подробная информация об элементе (специфическая для каждого элемента) – это тип элемента, высота, ширина, толщина, сечение, координаты отверстий, привязки, углы поворота и т.д.

В мировой практике принят устойчивый термин: Building Information Model – BIM (информационная модель объекта). Рынок программного обеспечения для строительства предлагает достаточно широкий выбор средств автоматизации для разных частей проекта, от разных производителей разных стран. Все программные комплексы, представленные на рынке, являются автономными продуктами, не связанными друг с другом.

**Актуальность.** Все ведущие зарубежные разработчики строительных САПР – Autodesk (AutoCAD, Revit и др.), Nemetschek (Allplan), Graphisoft (ArchiCAD), IBM/Dassault Alliance (CATIA) – заявили о поддержке в своих продуктах технологии BIM.

Таким образом, зарубежные тенденции комплексной автоматизации строительной отрасли предполагают:

- покупку всей (дорогостоящей) линейки продуктов одного производителя (или связанных компаний);
- необходимость специалистам всех профилей (не только архитекторам и конструкторам) для выполнения своей работы свободно ориентироваться в достаточно сложных графических средах (Revit, Allplan, ArchiCAD и т.д.).

Особое место занимает программный комплекс ЛИРА-САПР. При создании технологической линии проектирования и информационного моделирования на базе ПК ЛИРА-САПР основополагающим является принцип открытости и демократичности. Это позволяет коллективам проектировщиков использовать привычные программные средства, с другой стороны, обеспечить получение рабочей конструкторской документации, используя сквозную линию проектирования – от архитектурной модели до рабочего чертежа.

Следует отметить, что наиболее трудоемкая операция – подсчет объемов работ в терминах тех или иных технологических нормативов - до последнего времени оставалась вне поля зрения разработчиков программного обеспечения, также как и этап планирования и управления строительством.

При переходе к управлению проектами всю сметную информацию необходимо преобразовывать в технологическую, создавая технологические комплексы работ на конструктивные элементы, чтобы эта информация стала исходной информацией для операций планирования и управления проектами, с использованием соответствующих программных комплексов.

Таким образом, актуальным представляется разработка технологии, позволяющей объединить программное обеспечение всех частей строительного проекта в единую технологическую линию, исключая дублирование работ, повышающую эффективность труда специалистов и снижающую затраты на разработку и реализацию строительного проекта.

**Новизна.** Технология организована таким образом, чтобы существенно облегчить решение проблем вариантного проектирования, интеграции программного обеспечения, информационного сопровождения строительного объекта в меняющихся условиях эксплуатации, приспособляемость к специализации проектных организаций и т. п.

Такая технология разработана на основе расширений архитектурной BIM для расчетно-конструктивной части (САПФИР-BIM) и для сметно-финансовой части и управления строительством (iBMS-BIM).(рис.1)

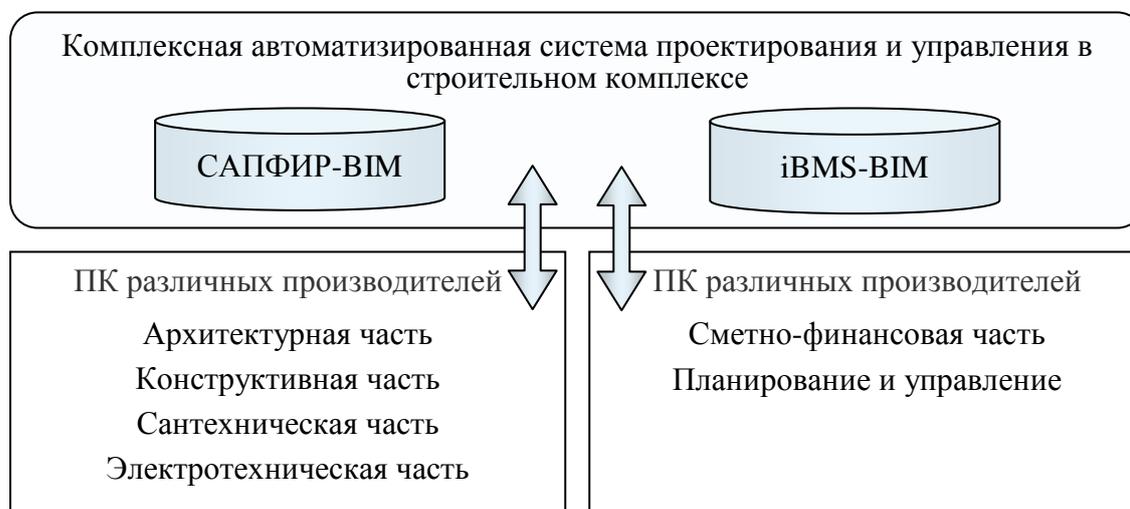


Рис.1 Комплексная автоматизированная система проектирования и управления в строительном комплексе

Технология решает 2 основные задачи:

- Интеграция на основе единой модели (САПФИР - ЛИРА-САПР - САПФИР) программных комплексов, автоматизирующих различные разделы проекта (используется на стадии проектирования здания).
- Автоматизированный подсчет объемов работ строительных объектов (на основе BIM) в терминах технологических нормативов, интеграция сметно-финансовых программных комплексов и систем управления строительством (используется сметно-финансовыми подразделениями, инжиниринговыми компаниями, участниками тендеров на строительство).

Акцентируем внимание на том факте, что архитектурная и конструктивная части проекта неразрывно и тесно взаимосвязаны. Архитектурная часть обеспечивает функциональность объекта, а конструктивная – надежность и прочность. Аналитическая модель представляет собой визуально упрощенную и геометрически идеализированную модель конструкции, в которой колонны и балки представлены одномерными стержнями, а стены и плиты перекрытий представлены двумерными пластинами. В аналитической модели

присутствуют только несущие элементы здания (рис. 2). Другие элементы либо заменяются нагрузками, либо игнорируются.

Одним из наиболее важных моментов в функционировании BIM-технологий является тесная информационная взаимосвязь между архитектурной и аналитической моделями. Архитектурная модель содержит все основные элементы, определяющие эксплуатационные качества и технологию функционирования объекта: назначение и взаиморасположение помещений, стены, колонны, балки, окна, двери, лестницы и др. Аналитическая модель включает только конструктивные элементы: несущие стены, колонны, пилоны, балки, плиты перекрытий, фундаментные плиты, т.е. элементы, которые отвечают за прочность и устойчивость сооружения.



Рис. 2. Представление архитектурной и аналитической моделей здания

Такая информационная взаимосвязь обеспечивается программным комплексом САПФИР (ПК САПФИР) и не только определяет адекватное построение аналитической модели, но и в процессе проектирования помогает достичь компромисса между архитектором и конструктором.

Основные задачи, решаемые ПК САПФИР:

- 1) архитектурное проектирование новых объектов строительства;

2) информационное моделирование зданий и сооружений на основании уже имеющейся проектной документации;

3) информационная поддержка объекта строительства на всех этапах его жизненного цикла (от проекта до утилизации);

4) адаптация информационных моделей, в том числе, созданных с помощью других программ, к использованию для прочностного анализа.

Одной из основных функций ПК САПФИР является подготовка пространственной архитектурной модели объекта строительства для прочностных расчётов и анализа напряжённо-деформированного состояния конструкции. В основе теоретических предпосылок разработки ПК САПФИР лежит концепция дуального представления модели. Это значит, что параллельно с архитектурной моделью на программном уровне поддерживается аналитическое представление каждого конструктивного элемента. Из аналитических моделей отдельных элементов с учётом их взаимодействия формируется аналитическая модель здания в целом.

Информационная Система Управления Строительством (iBMS):

- поддерживает полноценную информационную 3D модель (iBMS-VIM) здания;
- позволяет импортировать 3D модель здания из всех наиболее распространенных систем архитектурного проектирования;
- реализует стыковку с информационной моделью (BIM) популярных расчетных комплексов (САПФИР, МОНОМАХ-САПР, ЛИРА-САПР);
- позволяет подключать любое число БД строительных нормативов;
- позволяет собирать объемы как в строительных единицах (конструктивных элементах), так и в терминах строительных нормативов. Физические объемы, собранные системой, могут быть сопоставлены с любой нормативной БД, подключенной к iBMS. Это может быть сделано как ручным способом, так и в автоматизированном режиме;

- реализует механизмы “обучения” системы правилам подбора сметных нормативов. Для реализации автоматизированного режима используется расширяемая база правил подбора сметных нормативов с алгоритмами искусственного интеллекта;
- поддерживает различные форматы экспорта сметной информации в различные сметные комплексы и системы управления строительством. Результаты работы могут быть сформированы в нормативах того сметного комплекса, в котором предполагается продолжать обработку данных.

В программе САПФИР предусмотрены средства для отдельного редактирования аналитической модели, позволяющие осуществить выборочную рассинхронизацию компонентов модели с целью достижения необходимого для прочностного расчёта качества расчётной схемы. Технология проектирования в ПК ЛИРА-САПР предусматривает дополнение информационной модели здания результатами прочностного расчёта и подбора арматуры в сечениях железобетонных элементов несущего каркаса здания. Результаты подбора арматуры графически изображаются в виде цветных мозаик или изополей совместно с изображением опалубочных контуров элементов (плит перекрытий и диафрагм жёсткости). Эта информация используется для формирования проектно-конструкторских решений в отношении армирования элементов. Решения формируются в автоматическом и в автоматизированном режимах. Автоматическое формирование предварительного решения происходит при помощи программы размещения арматурных стержней в плите перекрытия и диафрагме жёсткости. Решение корректируется проектировщиком в интерактивном режиме. Конструкторское решение может быть полностью сформировано человеком с использованием интерактивных автоматизированных инструментов размещения групп арматурных стержней и отдельных арматурных деталей. В ходе редактирования проекта динамически производится анализ

конструкторского решения на предмет соответствия требованиям расчёта. Автоматически учитывается влияние каждой группы стержней и каждого отдельного арматурного стержня на выполнение расчётных требований к армированию. Результаты анализа решения графически отображаются в виде цветовой мозаики, указывающей конструктору участки на плите перекрытия или в теле диафрагмы жёсткости, где требуется дополнительная арматура. При корректировке диаметра, длины или положения стержней, при редактировании шага расположения стержней или их количества в группе динамически производится перерасчёт их влияния и осуществляется динамическая индикация соответствия конструкции расчётным требованиям. Эта функциональность является уникальной. Она присутствует только в ПК ЛИРА-САПР, что обеспечивается компонентом САПФИР-ЖБК. В приведенной ниже таблице эта функциональная возможность коротко названа «Интеллектуальный анализ решений» (см. табл. 1).

*Таблица 1*

**Функциональные возможности современных САПР объектов строительства**

	Archicad	Allplan	Revit- Robot	Tekla	SCAD	STARK	ЛИРА- САПР- САПФИР
Поддержка BIM	+	+	+	+	-	-	+
Отечественные нормы	-	-	-	-	+	+	+
Прочностной расчёт	-	-	+	-	+	+	+
Чертежи ЖБК	+	+	+	+	-	-	+
Интеллектуальный анализ решений	-	-	-	-	-	-	+

Другие функциональные возможности, представленные в таблице, означают следующее. Поддержка BIM означает ориентацию САПР на построение и поддержку информационной модели здания [1]. Пункт «Отечественные нормы» означает поддержку в программном обеспечении требований отечественной нормативной базы, регламентирующей

проектирование в строительстве. Прочностной расчёт означает наличие в составе программного комплекса инструментария для расчёта конструкции и анализа напряжённо-деформированного состояния, а также подбора арматуры в сечениях в соответствии с требованиями актуальных нормативных документов. Пункт «Чертежи ЖБК» предполагает наличие в составе комплекса инструментария для автоматизированного формирования, редактирования и выпуска проектно-конструкторской документации разделов КЖ и КЖИ, включая средства 2D-графики и аннотирования.

Представленные в статье исследования являются дальнейшим развитием BIM-технологии в проектировании объектов строительства [2].

Разработана методика решения инженерных задач, связанных с армированием железобетонных элементов несущего каркаса здания, базирующаяся на новой функциональности САПФИР-ЖБК.

Основная идея метода состоит в том, чтобы включить в информационную модель здания результаты прочностного расчёта. При этом возникает первая проблема: модель здания представлена в терминах конструктивных элементов, а результаты расчёта соотнесены с конечными элементами. Возникает задача отображения множества конечных элементов на множество конструктивных элементов. Для решения этой задачи авторами предложен оригинальный алгоритм, выполняющий логическое связывание результатов расчёта с моделями конструктивных элементов.

Вторая проблема связана с тем, что в строительной практике принято выполнять унификацию конструктивных элементов: несколько диафрагм одинаковой конфигурации со сходными требованиями к армированию могут быть объединены под одной маркой. При этом выполняется конструирование прототипа марки, и принятое решение распространяется на все экземпляры данной марки. Однако разные экземпляры одной марки

могут иметь различную разбивку на конечные элементы. Возникает задача унификации результатов прочностного расчёта для конструктивных элементов с различными конфигурациями конечно-элементных сеток. Эта задача решается путём передискретизации результатов с использованием геометрического преобразования пространства на основе развёртки.

Методика проектирования с использованием интеллектуального графического анализа принимаемых решений предполагает выполнение проектировщиком следующих операций:

- 1) выбрать ж/б элемент для конструирования;
- 2) включить визуализацию результатов, изучить изополя площади армирования;
- 3) выбрать характеристики фонового армирования;
- 4) разместить участки дополнительного армирования;
- 5) рассмотреть и проанализировать графическую картину соответствия принятого решения требованиям расчёта;
- 6) при необходимости внести коррективы в характеристики фонового и дополнительного армирования;
- 7) получить спецификации и чертежи, отражающие принятое конструкторское решение.

Методика предусматривает итерационный поиск рационального решения: пункты 3, 4, 5, 6 могут повторяться несколько раз. В результате анализа картины, отражающей соответствие конструкторского решения и результатов расчёта, могут быть выявлены тенденции, требующие коррекции характеристик армирования таким образом, что потребуются повторный подбор арматуры в сечениях элементов. По результатам повторного подбора арматуры обновляются данные в информационной модели, и актуализируется графическая картина, характеризующая проектное решение.

На рис. 3 показаны несколько стадий работы над проектом армирования плиты перекрытия. Сначала конструктор визуально анализирует изополя площади армирования (а) совместно с чертежом опалубочного контура плиты с учётом некоторого значения фонового армирования. Затем конструктор настраивает параметры основного армирования (б) и визуально анализирует изменения изополей.

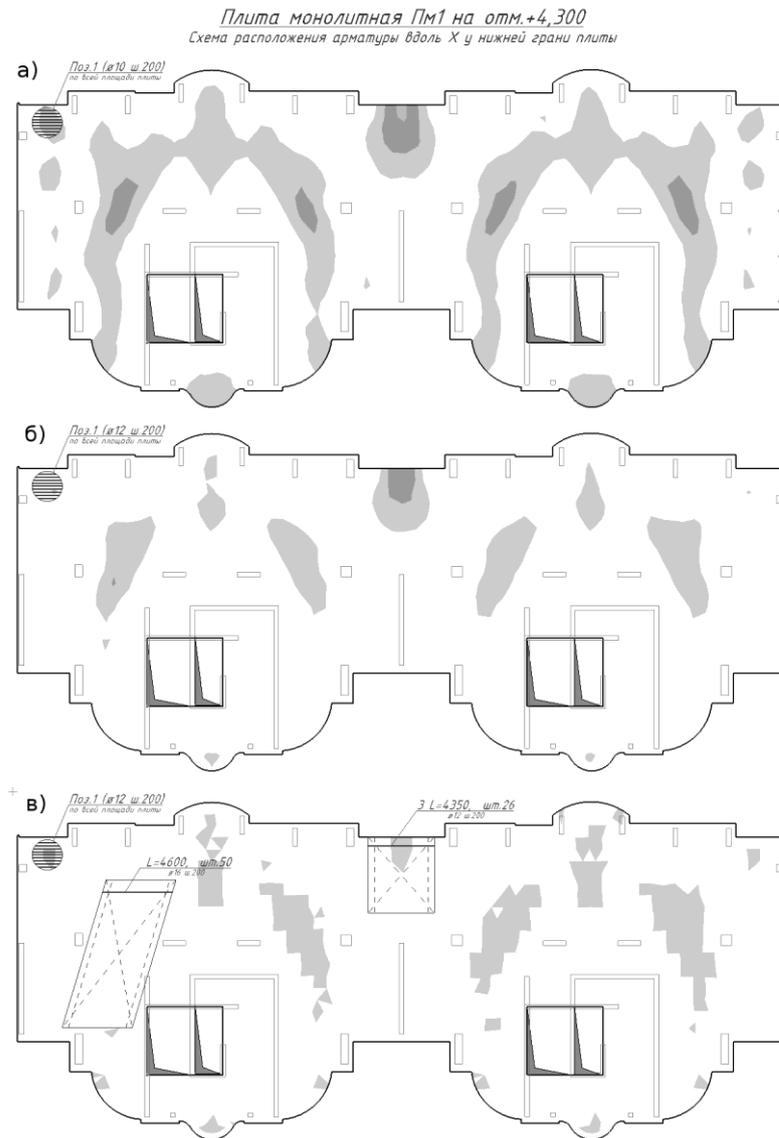


Рис.3. Графическое отображение результатов армирования плиты перекрытия; а) изополя площади армирования с учетом фонового армирования; б) изменение изополей при основном армировании; в) размещение дополнительной арматуры.

Остаточные «пятна» на изополях показывают участки плиты, где требуется дополнительное армирование. Конструктор размещает дополнительную арматуру и видит изменения в графической индикации

(в). Автоматически подсвечиваются те участки, где проектом предусмотрен недостаточный диаметр стержней или слишком большой шаг размещения. Конструктор графически редактирует положение и размеры участков, диаметр и шаг размещения арматурных стержней. Там, где армирование, представленное проектным решением достаточно, подсветка участков снимается.

**Выводы.** Предложенная методика обеспечивает динамический контроль принимаемого решения на предмет соответствия результатам расчёта, в связи с этим сокращаются трудозатраты на проектирование и уменьшается вероятность ошибки, что способствует повышению качества проектных работ. Простота и наглядность процедуры оценки корректности решения позволяет рассмотреть больше вариантов, что обеспечивает выбор рационального решения.

Компьютерное моделирование на основе информационной модели, безусловно, является новым этапом развития компьютерных технологий в архитектурно-строительном проектировании, так как, помимо интеграции разнородных по проблематике программ, исключает избыточность, повторный ввод, потерю данных при передаче и преобразовании.

### Список литературы

1. *Барабаш, М.С.* Программные комплексы САПФИР и ЛИРА-САПР – основа отечественных BIM-технологий. Монография. 2-е издание / М.С. Барабаш, Д.В. Медведенко, О.И. Медведенко. - М.: Издательство Юрайт, 2013. – 366 с.

2. *Городецкий, А.С.* Концепция интеграции систем автоматизированного проектирования с использованием технологии информационного моделирования / А. С. Городецкий, М.С. Барабаш // Нові технології в будівництві: наук.-тех. журнал. — 2011. - №1(21) - С.67 – 70.