

УДК 681.3

**ИНФОРМАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ АРМИРОВАНИЯ ДИАФРАГМЫ  
ЖЕСТКОСТИ**

*Соискатель, ведущий инженер Палиенко О.И.  
Национальный Авиационный Университет, Киев  
ООО СОФОС, Киев*

В настоящее время весьма актуальными являются вопросы автоматизированного проектирования зданий с несущим каркасом из монолитного железобетона, поскольку такая конструкция пользуется заслуженной популярностью у застройщиков. Последние тенденции в области разработки систем автоматизированного проектирования объектов строительства (САПР ОС) направлены на широкую реализацию концепций информационного моделирования зданий (ВМ), в том числе, на разных этапах жизненного цикла [1].

Информационная модель здания представляет собой сложную систему, состоящую из ряда подсистем, одной из которых является информационная модель диафрагмы жесткости. Диафрагма жесткости – это конструктивный элемент несущего каркаса здания, в котором могут возникать усилия сжатия-растяжения, перерезывающие силы и изгибающие моменты. Расход арматуры в диафрагмах обычно составляет 50-80 кг на кубометр бетона, а в сильно нагруженных экземплярах может достигать и больших значений. Соответственно, проектные действия, направленные на снижение расхода арматуры могут давать существенный экономический эффект. С другой стороны, ошибки при проектировании и возведении диафрагм могут драматически сказаться на живучести конструкции. Таким образом, актуальность проблемы создания адекватной информационной модели армирования диафрагмы жесткости весьма высока.

Вопросы информационного моделирования здания в целом достаточно широко и подробно освещаются в работах современных исследователей. В частности, отмечается возможность эффективного применения ВМ технологии на различных этапах, включая эскизное проектирование [2].

**Цель** настоящей статьи состоит в том, чтобы обозначить требования к информационной модели диафрагмы жесткости, рассматривая основные этапы её формирования и использования в технологической цепочке процесса проектирования с точки зрения разработчика САПР ОС, представить решения, найденные автором и получившие реализацию в составе САПР САПФИР-ЖБК. Особое внимание уделяется инкапсуляции в информационной модели диафрагмы результатов прочностного расчёта по методу конечных элементов и подбора арматуры.

Процесс информационного моделирования диафрагмы жесткости инициируется проектировщиком ещё на этапе эскизного проектирования. Сначала, это может быть просто стена без указания конкретной конструктивной функции. Её появление может быть связано с проработкой архитектором объёмно-планировочного решения, и она может обеспечивать

разделение пространства на некоторые функциональные зоны. Соответственно, следует предоставить пользователю инструменты геометрических построений, с помощью которых он сможет задать пространственное положение стены и предварительное значение толщины.

Затем, в процессе конструкторской проработки, может оказаться, что данную стену есть смысл использовать в качестве диафрагмы жесткости и, возможно, включить в число диафрагм, образующих ядро жёсткости здания. Здесь она уже получает предположительно подходящую марку бетона и уточнённое из соображений несущей способности и технологичности значение толщины. Такому элементу модели назначается способ интерпретации при прочностном расчёте в качестве несущего конструктива. Естественно, подразумевается, что модель стены параметрическая, её высота определяется в зависимости от высоты этажа, на котором она расположена, учитываются толщины выше- и нижележащего перекрытий. Опять же, предполагается, что в составе информационной модели, наряду с физической, поддерживается аналитическая модель диафрагмы, которая служит основой построения расчётной схемы для прочностного расчёта и анализа напряжённо-деформированного состояния по методу конечных элементов [3].

В результате прочностного расчёта получается картина усилий. На основании выбранного нормативного документа (СНиП, СП, ДСтУ, ДБН) выполняется автоматический подбор площади арматуры с учётом расчётных сочетаний усилий (PCY) в конструктивном элементе. Результаты подбора площади арматуры дополняют информационную модель диафрагмы. Качественную картину в виде мозаики с указанием числовых величин экстремальных значений площади армирования можно наблюдать в пространстве модели здания в позиционном соответствии расположению диафрагм. Эта картина служит наглядным основанием для конструктора в принятии решений об унификации армирования диафрагм. Для решения этой задачи внутренняя организация информационной модели диафрагмы должна предусматривать возможность инкапсуляции результатов расчёта арматуры.

Конструктор выбирает несколько диафрагм с одинаковой геометрией и сходной картиной армирования и назначает им общую марку. Для этой марки порождается прототип информационной модели армирования диафрагмы. Свойства этого прототипа распространяются на все экземпляры данной марки. Меняя марку диафрагмы, можно связывать её модель с тем или иным прототипом армирования. Конструирование диафрагмы жёсткости далее представляет собой серию целенаправленных управляющих воздействий на информационную модель с обратной связью.

Что же должна представлять собой информационная модель армирования диафрагмы?

Во-первых, она должна накапливать, обрабатывать и предоставлять конструктору в удобной для восприятия форме результаты расчёта и подбора арматуры.

Во-вторых, она должна играть роль контейнера моделей арматурных деталей, представляющих некоторое проектно-конструкторское решение.

В-третьих, она должна соотносить текущее состояние проектно-конструкторского решения с требованиями расчёта и давать возможность наглядного анализа.

В-четвёртых, модель армирования должна предоставлять необходимые интерфейсы (методы) для количественной оценки и документирования проектного решения.

Сосредоточимся на первом требовании к модели. Проблема состоит в том, что в ходе унификации под одной маркой представлены несколько диафрагм. Каждая из них имеет свою собственную информационную модель (экземпляр), в составе которой наряду с физической имеется аналитическая модель и результаты расчёта, представленные на основе конечно-элементной модели. И, если у стен с одинаковой физической геометрией геометрия аналитической модели, чаще всего, совпадает, то конечно-элементные модели различных диафрагм одной марки, в общем случае, могут отличаться.

Чтобы решить задачу моделирования универсального прототипа для нескольких экземпляров диафрагм, автор статьи предложил выполнить передискретизацию результатов армирования. В качестве базиса новой дискретизации формируем квазирегулярную сеть в пространстве развёртки диафрагмы. Описываем геометрическое преобразование  $f$ , которое переводит каждую точку пространства экземпляра диафрагмы в пространство развёртки прототипа.

$P' = f(P)$ , где  $P$  — это вектор координат  $(x, y, z)$ .

В общем случае, такое преобразование не обладает свойствами аффинитета, и не имеет формульного выражения, однако, является вполне однозначным, благодаря свойствам реализующего его алгоритма.

Используя преобразование  $f$ , последовательно переводим геометрическое представление результатов расчёта для каждого экземпляра диафрагмы в пространство развёртки прототипа.

Задаёмся некоторым исходным дискретом сети для представления результатов армирования. При этом окончательный выбор дискрета оставляем за пользователем, предложив ему некоторое разумное значение по умолчанию, например,  $0.2m$ .

Процесс формирование сетки осуществляем в привязке к конструктивным особенностям диафрагмы (примыкающие элементы, проёмы), что нарушает регулярность, почему мы и говорим о квазирегулярной сетке. Каждый узел такой сетки получает координаты  $(x, y)$ . Используя результаты армирования, преобразованные с помощью функции  $f$  в систему координат прототипа, определяем значение  $S_a$  (площади армирования) как функции от  $(x, y)$  и используем в качестве аппликаты. Таким образом, формируем виртуальный рельеф площади армирования. Из множества значений площади армирования для каждого экземпляра определяем максимум в данной точке. В результате получаем огибающую поверхность. На её основе выполняем построение изополей путём рассечения плоскостями  $z = A_i$ , где  $z$  – аппликата пространства развёртки,  $A_i$  – очередное граничное значение шкалы армирования (рис. 1).

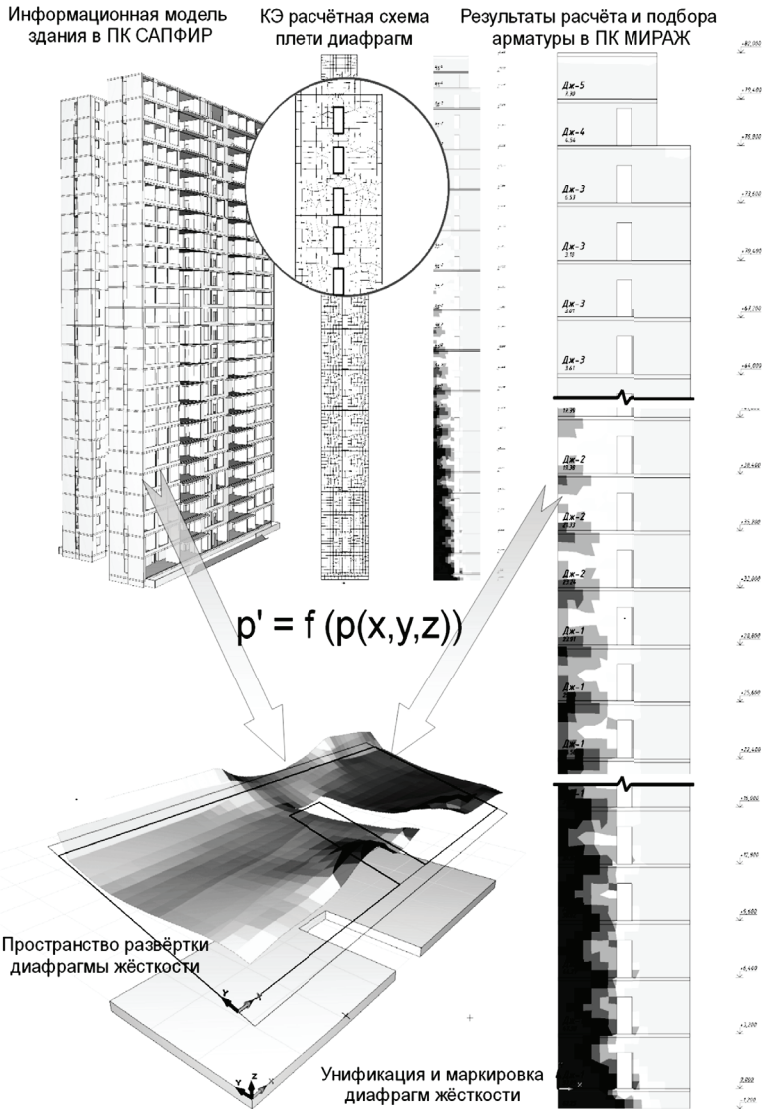


Рис.1. Построение виртуального рельефа площади армирования диафрагмы жёсткости.

Представленные в виде изополей, результаты подбора площади армирования служат наглядной основой для принятия решений проектировщиком в ходе конструирования арматуры диафрагмы жёсткости. Площадь сечения размещаемых проектировщиком арматурных стержней автоматически учитывается и вычитается из требуемой площади армирования. Таким образом, происходит динамическая индикация соответствия проектного решения требованиям прочностного расчёта в виде цветной мозаики. Это позволяет конструктору в интерактивном режиме осуществлять поиск рационального проектного решения.

Описанный в статье подход к интерпретации результатов армирования нашёл воплощение алгоритмах, реализованных в программном комплексе САПФИР-ЖБК 2013.

### ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Барабаш М.С., Бойченко В.В., Палиенко О.И. Б24 Информационные технологии интеграции на основе программного комплекса САПФИР.: Монография. - К.: Изд-во «Сталь», 2012.-485с. ISBN 978-617-676-007-8 УДК 004.896:[624.04+72.012] ББК 38.2+32.973-018.2
2. Талапов В.В. Применение BIM для начальной проработки проектной идеи. // isicad.ru 8 июля 2013г.
3. Городецкий А.С., Евзеров И.Д. Компьютерные модели конструкций.- К.:Факт,2007.-394с.