

Е.В. Румянцев, инженер (ГОУ ВПО ЮУрГУ, филиал в г. Златоусте), главный конструктор (ООО «ПМ ШтриХ»), А.М. Володин, инженер (ООО «ПМ ШтриХ»)

## **ИССЛЕДОВАНИЕ СОВМЕСТНОЙ РАБОТЫ КОНСТРУКЦИИ КАРКАСНОГО АРОЧНОГО ПРОЕЗДА СБЛОКИРОВАННОГО С ПАНЕЛЬНЫМ ЗДАНИЕМ БЕЗ УСТРОЙСТВА ОСАДОЧНОГО ШВА**

Использование индустриальных методов возведения зданий на основе крупнопанельного домостроения позволяет снизить затраты на строительство, сокращает сроки возведения здания, что особенно актуально в условиях недостаточно развитой строительной инфраструктуры небольших городов Уральского Федерального Округа. Несмотря на свои преимущества, типовая крупнопанельная застройка не отличается большим разнообразием, создавая, тем самым, однотипный облик городов. Поэтому современные технологии индустриального домостроения должны быть также направлены на решение современных градостроительных и эстетических задач. Этому может способствовать научно обоснованный подход к разработке современных крупнопанельных зданий.



Рис. 1. Использование арочного проезда в панельном здании

Рассмотрим возможность блокирования двух 10-ти этажных крупнопанельных жилых секций серии 121-Т1 из изделий Челябинского завода ЖБИ-1 с каркасной вставкой-аркой пролетом 9,6м, 7 этажей которых также выполнены из панелей данной серии в два ряда (рис 1). Особенностью данного конструктивного решения стал отказ от устройства осадочного шва, обусловленный экономией сборного железобетона и снижением сроков строительства.

Очевидно, что данное решение требует качественного и количественного обоснования в части (по п. 1.17 [1]):

- обеспечения прочности конструкций здания;
- достижения деформации стыков сборных элементов и раскрытия трещин в конструкциях, не превышающих предельно допустимые значения.

Для выполнения данных требований определены задачи исследования:

- Создание адекватной расчетной схемы несущей системы панельного здания с каркасным арочным проездом на основе метода конечных элементов (МКЭ);
- Моделирование стыковых соединений конструктивных элементов, наиболее точно учитывающих реальную работу панелей и поэтажную передачу нагрузок на них;

- Создание модели грунтового основания на основе МКЭ, позволяющей учесть работу здания на деформируемом основании;
- Анализ напряженно-деформированного состояния (НДС) несущих элементов здания и их узлов для различных расчетных схем моделирования основания;
- Разработка программы геотехнического мониторинга;

#### *Создание расчетной схемы*

С использованием программного комплекса (ПК) «Ли́ра 9.4» была разработана пространственная расчетная схема панельного здания в виде КЭ-модели (рис. 2).



Рис. 2. КЭ-модель панельного здания с арочным проездом

В данной модели несущие элементы здания (панели, плиты, диафрагмы) представлены оболочечными КЭ, колонны и балки арочного проезда представлены стержневыми КЭ. Раздельная работа панелей обеспечивается за счет их геометрического разделения друг от друга и последующим объединением между собой при помощи упругих связей конечной жесткости, моделирующих работу стыков между панелями и плитами перекрытий. Жесткостные характеристики плоских и стержневых КЭ, принятые в расчете, соответствовали проектным характеристикам, за модуль упругости  $E$  принимался физический модуль материала конструкций.

#### *Моделирование стыковых соединений*

Одной из проблем создания расчетной схемы является сложность моделирования стыковых соединений, в частности платформенных и контактных стыков крупнопанельных зданий. В данной работе апробировались различные модели стыков на основе двухузловых КЭ упругих связей (КЭ №55), в т.ч. модель платформенного стыка в виде «ромба», предложенная в МНИИТЭП [2], [3]. Следует отметить основные особенности их моделирования:

- при построении расчетных схем платформенных стыков необходимо избегать общих узлов КЭ-сетки, когда в угловой узел плит перекрытий сходятся более двух КЭ моделирующих данный стык. Данное обстоятельство приводило к неадекватной передаче нагрузок от плит перекрытий к стеновым панелям и искажению результатов НДС, особенно при учете деформируемого основания;

- назначение жесткостей вертикальных связей стеновых панелей (бетонные и железобетонные шпоночные соединения) должно производиться с учетом образования в них наклонных трещин, например с использованием формул (13) ... (15) [1] или по результатам натурных испытаний.

Связи между плитами перекрытий, не рекомендуется считать абсолютно жесткими в горизонтальном направлении, и назначались исходя из реальной жесткости стыковых элементов.

#### Создание модели грунтового основания

Расчетная схема массива грунта разрабатывалась с учетом геологических условий площадки строительства. В качестве расчетной модели массива грунта и свайного фундамента использована пространственная КЭ-модель, выполненная в ПК «Лира 9.4» с использованием физически нелинейных объемных КЭ грунта. Фундаменты основных зданий выполнены в виде ленточных свайных ростверков с однорядным и двухрядным расположением свай. Фундамент каркасного арочного проезда выполнен в виде сплошной плиты на свайном основании. Конструктивно ленточные и плитный ростверки выполнены неразрезными. Высота ростверка составила 600 мм, ширина ленточного фундамента от 500 до 1500 мм, размеры плиты в плане составляют 11,1 x 13,92 м. Длина железобетонных забивных свай сечением 350x350 мм составляет 12 м. Основным несущим слоем является ИГЭ №6 - глина твердая с характеристиками  $E = 14 \text{ МПа}$ ,  $c = 28 \text{ кПа}$ ,  $\phi = 11^{\circ}$  (рис. 3)

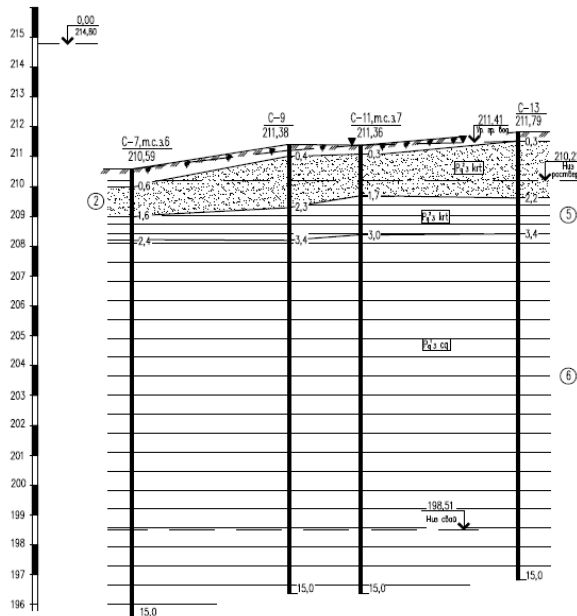


Рис. 3. Инженерно-геологический разрез

Основными предпосылками создания расчетной схемы грунтового основания и фундамента являются:

- сцепление свай с грунтом принимается жестким;
- нагрузка от веса здания воспринимается только сваями;
- грунт считается однородным в горизонтальном направлении;
- учет односторонней работы грунта на сжатие выполнялся с учетом сдвига по теории прочности Кулона- Мора;
- приложение нагрузки выполнялось поэтапно [5], что реализуется при помощи модуля Монтаж ПК «Лира 9.4»;
- расчет ведется без учета жесткости здания, вследствие высокой сложности задачи, характеризуемой большим порядком системы уравнений (~1е6);

Для снижения порядка системы уравнений для расчета принимается половина расчетной схемы грунтового массива (рис. 4) вследствие симметрии прикладываемых нагрузок, геометрии здания и основания фундамента.

Нагрузка от здания на массив грунта прикладывается в уровне обреза фундамента при помощи «фиктивных» стержней. Величины нагрузок на фундамент получены в результате статического расчета конструкции здания на жестком основании.

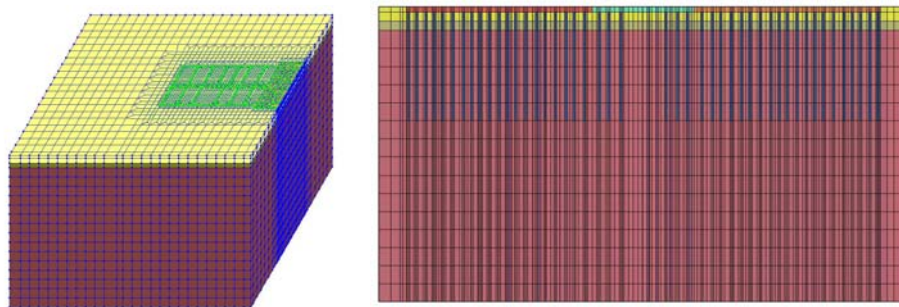


Рис. 4. Геомеханическая модель грунта основания

По результатам нелинейного расчета были получены значения осадки фундамента и массива грунта, а также значения усилий в оголовках свай от действия нормативных нагрузок (рис. 5, 6).

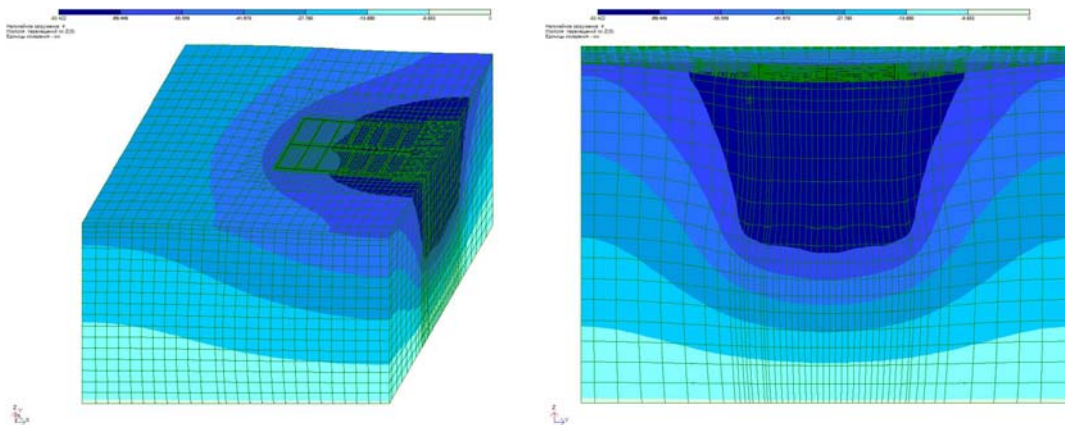


Рис. 5. Мозаика перемещений расчетной схемы вдоль оси  $Z$  от действия нормативных нагрузок (деформированная схема)

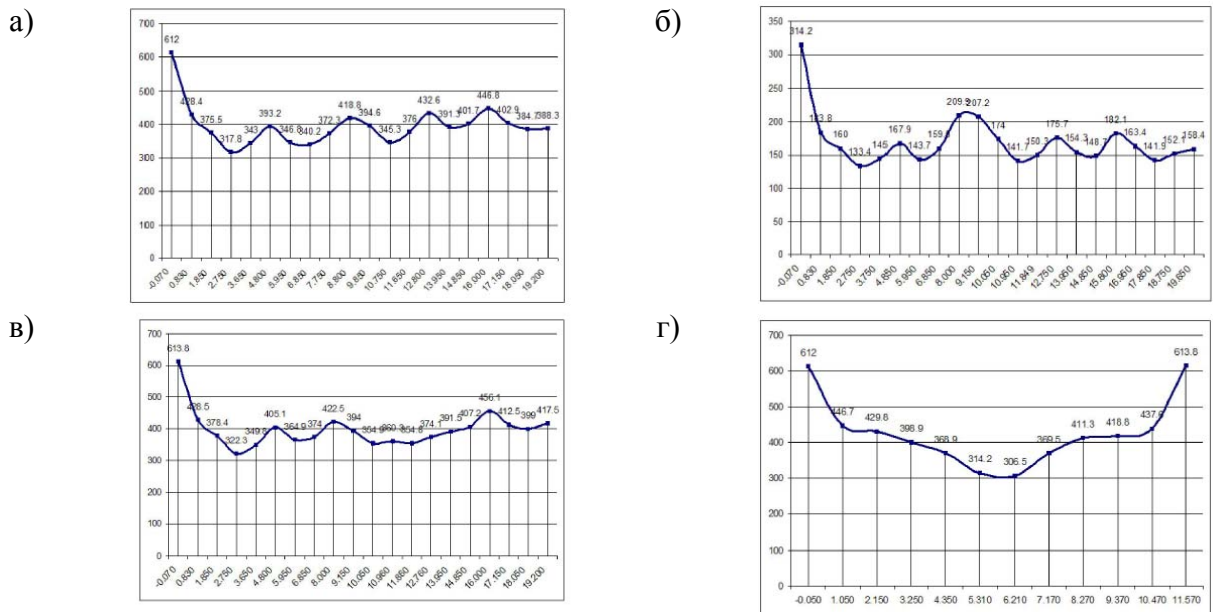


Рис. 6. Эпюры распределения максимальных усилий в сваях ростверка  
а- по оси «Ас»; б – по оси «Бс»; в – по оси «Вс»; г – по оси «1с»

На основании полученных в результате расчета данных можно определить жесткость основания по формуле:

$$K_z = \frac{P}{S},$$

где  $K_z$  – коэффициент жесткости, кН/м;

$P$  – среднее усилие в сваях, кН;

$S$  – средняя осадка свай, м.

Результаты расчета и их нормативные значения представлены в табл. 2.

Таблица 2 – Результаты статического расчета модели грунтового основания

	$S_{\max}$ , см	$S$ , см	$\Delta S/L$	$S_u$ , см	$(\Delta S/L)_u$	$P$ , кН	$K_z$ , кН/м
Ростверк по оси Ас	8,46	7,37	0,000986	12	0,0016	395,6	5368
... Бс	8,58	7,66	0,000933			170,0	2219
... Вс	8,46	7,46	0,000976			399,1	5350
... 1с	6,62	6,51	0,000361			427,3	6564
Плитный фундамент	8,70	8,57	-			260,7	3042

Полученные значения коэффициента жесткости дают возможность произвести расчет здания с учетом деформируемого основания, как единой системы Здание-основание.

Учет свайного основания в данной системе выполнен при помощи податливого закрепления фундаментной плиты и ленточного ростверка с использованием упругих связей соответствующих жесткостей (КЭ №51).

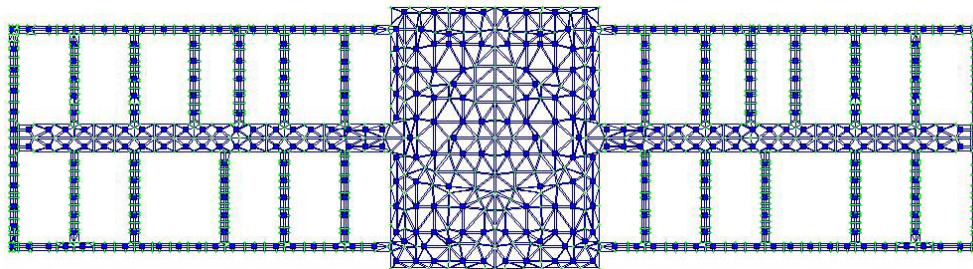


Рис. 7. КЭ-модель свайного ростверка единой системы Здание-основание

На рис. 7 представлена модель свайного ростверка и плитного фундамента единой системы Здание-основание, выполненная в ПК «Лири 9.4». Жесткостные характеристики ростверка и плиты соответствуют проектным характеристикам материалов. Жесткости упругих связей, моделирующих работу свай, задавались на основании данных, полученных в результате статического расчета основания (табл. 2).

По результатам расчета единой системы Здание-основание получены значения осадок, их относительной разности и усилий в сваях фундамента от эксплуатационных нагрузок с учетом жесткости конструкции здания, выполнено их сравнение с нормативными показателями по СП [4] (табл. 3).

Таблица 3 – Результаты статического расчета единой системы Здание-основание

	$S_{max}$ , см	$S$ , см	$\Delta S/L$	$S_u$ , см	$(\Delta S/L)_u$	$P$ , кН
Ростверк по оси Ас	6,0	5,88	0,00008	12	0,0016	345
... Бс	6,12	6,0	0,00009			136
... Вс	6,12	5,99	0,000075			353
... 1с	5,97	5,93	0,0001			344
КСП фундамент	6,21	6,15	-			240

#### *Результаты исследования*

С использованием данных расчетных схем выполнены проверочные расчеты несущей способности и трещиностойкости простенков, перемычек, горизонтальных и вертикальных стыков стеновых панелей здания, монолитных конструкций арочного проезда. Выполнена оценка результатов в сравнении с показателями, полученными при расчете здания на недеформируемом (жестком) основании. Данное сравнение показывает, что НДС единой системы Здание-основание качественно и количественно отличается от НДС расчетной схемы, выполненной на недеформируемом основании.

В конструкциях схемы единой системы Здание-основание, примыкающих к арочному проезду, по сравнению с расчетной схемой здания на недеформируемом основании наблюдается:

- увеличение сжимающих напряжений в простенках наружных стеновых панелей в среднем на 30%;
- увеличение перерезывающих усилий в вертикальных стыках стеновых панелей в среднем на 32-35%.

#### *Заключение*

Выполненное исследование работы конструкций каркасного арочного проезда сблокированного с панельным зданием серии 121Т1 без устройства осадочного шва позволяет сделать вывод о возможности использования данного конструктивного

решения в крупнопанельном домостроении только с учетом грунтовых условий площадки строительства и особенностей конструкций фундаментов.

Предлагаемый отдельный метод расчета здания позволяет оценить влияние расчетных схем на НДС конструкций и основание, позволяет снизить сложность и порядок систем уравнений при расчете. При этом требуется выполнять достаточное количество итераций для получения более адекватных результатов.

Для подтверждения расчетных предпосылок была разработана и в настоящее время используется программа геотехнического мониторинга. Данная программа позволяет отследить изменение НДС конструкции в период его возведения, в последующее время его эксплуатации, а также принять необходимые меры при возникновении чрезмерных деформаций и других явлений, отличающихся от прогнозируемых и представляющих опасность для окружающей застройки или нового строительства.

## ЛИТЕРАТУРА

- 1 Пособие по проектированию жилых зданий. Вып. 3. Конструкции жилых зданий (к СНиП 2.08.01-85). – М.: Стройиздат, 1986
- 2 Шапиро Г.И. К вопросу о построении расчетной модели панельного здания / Г.И. Шапиро, Р.В. Юрьев // Промышленное и гражданское строительство. – 2004, № 12.
- 3 Шапиро Г.И. Расчет зданий и сооружений в МНИИТЭП / Г.И. Шапиро, А.А. Гасанов, Р.В. Юрьев // Промышленное и гражданское строительство. – 2007, № 5
- 4 СП 50-101-2004. Проектирование и устройство оснований и фундаментов зданий и сооружений. – М.: ФГУП ЦПП, 2005.–129 с.
- 5 А.В. Беспалова. Применение методики приведенного модуля деформации при расчете массивных свайных ростверков в основании высотных зданий//А.В. Беспалова, А.Е. Беспалов, А.З. Тер-Мартirosян/Вестник МГСУ, 2008.-№2