

*О.В. Кичаева, к.т.н., доцент*

*Харьковский национальный университет городского хозяйства им. А.Н. Бекетова*

## **ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ДВУХЭТАЖНОЙ ПРИСТРОЙКИ И НАДСТРОЙКИ НА КОНСТРУКЦИЮ СУЩЕСТВУЮЩЕГО ЗДАНИЯ С УСИЛЕНИЕМ ЕГО СТЕН И ФУНДАМЕНТОВ**

*На базе численного моделирования выполнена оценка изменения напряженно-деформированного состояния реконструируемого здания, к которому пристраивается двухэтажное сооружение с подвалом. По результатам численного моделирования системы «грунтовой массив – фундамент – реконструируемое здание» предложены мероприятия по усилению существующего здания и устранению взаимного влияния зданий друг на друга.*

**Ключевые слова:** *реконструкция, пристройка, напряженно-деформированное состояние, усиление, расчетная схема.*

*О.В. Кічаєва, к.т.н., доцент*

*Харківський національний університет міського господарства ім. О.М. Бекетова*

## **ОЦІНКА ВПЛИВУ ДВОПОВЕРХОВОЇ ПРИБУДОВИ ТА НАДБУДОВИ НА КОНСТРУКЦІЮ ІСНУЮЧОЇ БУДІВЛІ З ПОСИЛЕННЯМ ЇЇ СТІН І ФУНДАМЕНТІВ**

*На базі чисельного моделювання виконано оцінювання зміни напружено-деформованого стану будівлі, що реконструюється, до якої прилаштовується двоповерхова споруда з підвалом. За результатами чисельного моделювання системи «грунтовий масив – фундамент – будівля, котру реконструюють» запропоновано заходи щодо посилення існуючої будівлі та усунення взаємного впливу будівель одна на одну.*

**Ключові слова:** *реконструкція, прибудова, напружено-деформований стан, посилення, розрахункова схема.*

*O.V. Kichaeva, PhD, Associate Professor*

*O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv*

## **ASSESSMENT OF A TWO-STOREY ANNEXE AND SUPERSTRUCTURE ON THE DESIGN OF EXISTING BUILDINGS TO ENHANCE ITS WALLS AND FOUNDATIONS**

*On the basis of numerical modeling of the estimate of stress-strain state of the reconstructed building, which is attached to the two-story building with a basement. The results of numerical simulation of the system «soil massif – foundation – reconstructed building» are proposed measures to strengthen the existing building and the elimination of mutual influence on each other buildings.*

**Keywords:** *reconstruction, annexe, stress-strain state, reinforcement, analytical model.*

**Введение.** При определении уровня надежности реконструируемых зданий и сооружений необходимо решать задачи по выявлению и описанию изменившихся условий работы – нагрузок, свойств строительных материалов, грунтов и пр. Основными факторами, определяющими в общем случае надежность системы «грунтовый массив – фундамент – реконструируемое здание», являются:

- максимальное соответствие принятых схем и методов расчета системы действительным условиям ее работы в каждом конкретном случае;
- достоверность описания инженерно-геологических условий строительства сооружения и данных о характеристиках материалов и грунтов оснований, получаемых в процессе изысканий и обследований;
- достоверность сведений о нагрузках и воздействиях, которым подвергается система в процессе реконструкции;
- правильность реализации проектных решений в процессе строительства, обеспечиваемая средствами контроля за качеством и предусмотренной технологией производства работ.

Количественное описание большей части из перечисленных факторов во всей сложности их взаимодействия должно производиться с учетом изменчивости как свойств грунтов оснований и материалов, так и нагрузок и воздействий. Чем выше качество исходных данных, тем с большей достоверностью проектная надежность системы в целом и составляющих её элементов в частности приближается к эксплуатационной.

Усовершенствование расчетных схем и методов получения исходных данных о свойствах материалов и грунтов, нагрузках и воздействиях является одним из факторов, способствующих установлению действительного уровня надежности системы.

**Обзор последних источников исследований и публикаций.** Проблемы взаимодействия основания и здания и пути их решения освещались в работах Ю.Л. Винникова [1], А.С. Городецкого, Б.Г. Демчины, М.Ф. Друкованного, А.А. Дыховичного, В.К. Егупова, К.В. Егупова, Н.Л. Зоценко [2], П.А. Коновалова [3], В.С. Кукунаева, А.И. Лантух-Лященко, Н.Г. Марьенкова, В.Г. Пискунова, А.А. Рассказова, В.М. Сеймова, В.Л. Седина, В.М. Улицкого [4], Г.И. Черного, В.Г. Шаповала, А.В. Шимановского, В.С. Шмуклера, В.С. Шокарева и других.

Вопросами моделирования работы строительных конструкций и формирования корректных расчетных моделей занимались такие исследователи, как В.П. Агапов, В.А. Банах, Л.Г. Батрак, А.С. Городецкий, Е.В. Горохов, А.А. Дыховичный, И.Д. Евзеров, С.Ф. Клованич, В. Комков, Е.З. Криксунов, В.В. Кулябко, А.В. Перельмутер [5], В.И. Сливкер, Е.Б. Стрелец-Стрелецкий, R. Taylor, O. Zienkiewicz и другие.

**Выделение не решенных ранее частей общей проблемы.** Задачи реконструкции интересны тем, что каждый конкретный случай является уникальным, т.к. не существует абсолютно одинаковых зданий, грунтовых условий, аналогичных условий эксплуатации и типовых проектов. Имеются лишь типовые, проверенные практикой приемы усиления отдельных частей системы «грунтовый массив – фундамент – реконструируемое здание»: обоймы, закрепление оснований, наращивание и т. пр. При реконструкции (надстройке, пристройке, перепланировке, усилении) значительно возрастает взаимное влияние частей указанной системы друг на друга. Учет этого взаимодействия возможен только с помощью корректной расчетной модели, адекватно отображающей изменения напряженно-деформированного состояния системы при реконструкции и особенности эксплуатации (повреждения, замачивание или уплотнение грунтов и т.д.). Следует отметить, что в таком случае возникают эффекты

взаимодействия, которые не всегда лежат на поверхности при привычном рассмотрении ситуации [6 – 8]. Учет таких эффектов является залогом оптимального усиления поврежденных конструкций и основания (тем или иным способом), а также корректного выбора строительных материалов и соответствующей конкретному случаю технологии возведения строительных конструкций и сопутствующей ей экономии материально-технических ресурсов.

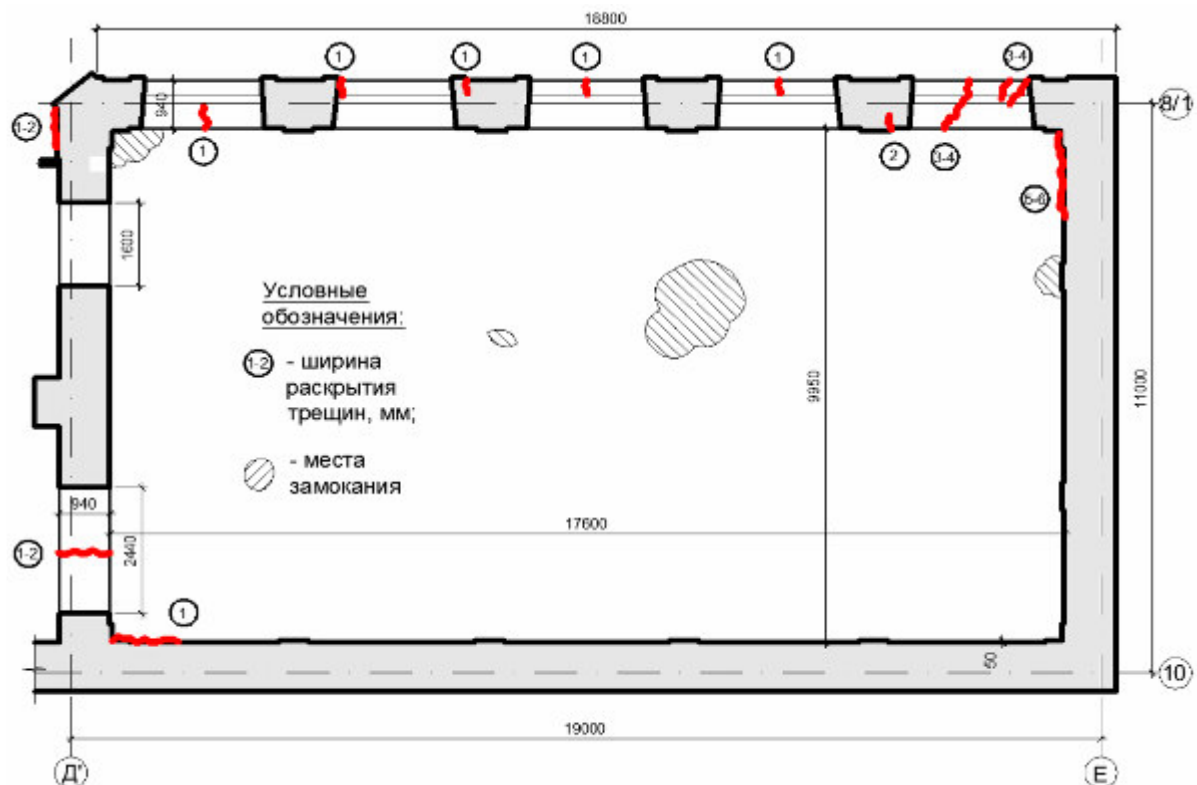
В связи с вышеизложенным, **целью исследования** является оценка влияния двухэтажной пристройки и надстройки на конструкцию существующего здания с усилением его стен и фундаментов посредством создания корректных расчетных схем (и их анализа), отображающие все необходимые трансформации системы «грунтовый массив – фундаменты – реконструируемое здание».

Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

- моделирование и анализ напряженно деформированного состояния системы «грунтовый массив – фундаменты – надземные несущие конструкции» на первоначальном этапе (до реконструкции) и этапе, на котором выполнена надстройка и пристройка (после реконструкции);

- предложения по усилению реконструируемого здания и по устранению взаимного влияния примыкающих зданий (старого и нового).

**Основной материал и результаты.** Рассматриваемое здание рекреационного зала является одноэтажным, имеет в плане прямоугольную форму с размерами в осях 11,0×19,0 м, высота здания около 5,7 м (рис. 1). Оно пристроено к основному двухэтажному зданию лит. А-2 и выходит окнами во двор. Этому сооружению около 150 лет. Вдоль стены по оси «Е» здание примыкает к другому кирпичному сооружению. А к стене по оси «8/1» частично примыкают одноэтажные пристройки хозяйственного назначения.



**Рис. 1. Деформационная схема здания**

Стены здания зала выполнены из красного глиняного кирпича марки М100 на известковом растворе марки М25, толщина стен – 940 мм. Фундаменты такие же, как и стены, толщина цокольной и фундаментной части стен достигает 1100 – 1150 мм, глубина заложения фундаментов – 1,3 – 1,5 м от поверхности земли.

Продольные кирпичные стены (оси «8/1» и «10») являются основными несущими элементами, на которые опираются деревянные балки чердачного перекрытия. Кирпичные стены устроены с пристенными и угловыми пилястрами, выступающими от поверхности стен на 50 мм. Оконные перемычки кирпичные клинчатые с кирпичным замком, высокий дверной проем также имеет кирпичную перемычку. Кладка тычковая, по сторонам здания рустованная, подоконная и часть стены с двух сторон от оконных проемов украшены объемными элементами из кирпича.

Грунтовый массив представлен следующими инженерно-геологическими элементами:

- 1) насыпной слой мощностью 0,8 м, модуль деформации  $E = 10$  МПа;
- 2) суглинок лессовидный просадочный мощностью 2,6 м,  $E = 14$  МПа;
- 3) суглинок непросадочный мощностью 0,3 м,  $E = 16$  МПа;
- 4) супесь непросадочная толщиной 2,8 м,  $E = 28$  МПа;
- 5) супесь непросадочная толщиной 1 м,  $E = 19$  МПа.

Общая мощность толщ грунта, которая рассматривается и принимает участие в моделировании, составляет 7,5 м.

Натурные обследования выявили наличие в здании рекреационного зала следующих дефектов.

1. Кирпичная кладка стен имеет горизонтальные и наклонные трещины шириной раскрытия от волосных до 6 мм, в том числе и сквозные, длиной от 0,5 м и на всю высоту стен (рис. 1 – 6). Трещины отмечены, в основном, в кирпичной кладке, окружающей оконные и дверные проемы (перемычки, подоконное пространство), деформационная схема здания предлагается на рис. 1.

2. Были зафиксированы и места замкания конструкций (см. рис. 1).

3. Замечено частичное разрушение кирпичной кладки цокольной части наружной стены (по оси «8/1») (рис. 4).



**Рис. 2. Общий вид рекреационного зала, вид торцевой стены (ось «Е») и частично стены по оси «8/1»**



**Рис. 3. Трещина в клинчатой кирпичной перемычке над крайним окном стены по оси «8/1» (видно примыкание зданий)**



**Рис. 4. Сквозная трещина над дверным проемом в стене по оси «Д'» с наружной стороны зала**



**Рис. 5. Трещины в районе крайнего окна шириной раскрытия 3 ... 6 мм**



**Рис. 6. Вертикальные трещины в подоконном пространстве 3-го окна шириной раскрытия до 1 мм и частичное разрушение кирпичной кладки цоколя**

Следует отметить, что деформации носят комплексный характер: трещины, появившиеся в результате неравномерных осадок; физический износ стен ввиду почтенного возраста здания (около 150 лет); замокания, которые появились ввиду недостаточного уровня эксплуатации. Предположили, что причиной неравномерных осадок стало замачивание грунта основания, который представляет собой лессовидные просадочные суглинки, результатом чего стало частичное устранение просадочных свойств грунта основания.

В состав работ по пристройке и реконструкции входит пристройка двухэтажного здания и надстройка одного этажа над существующим зданием легкими конструкциями.

Пристраиваемое здание представляет собой прямоугольник размером 8,83×9,8 м, высота подвала составляет 2 м, высота первого этажа – 2,8 м, высота 2-го этажа – 3,6 м. Стены – кирпичные толщиной 510 мм, перекрытия – монолитные железобетонные по металлическим балкам. В процессе надстройки в существующем здании заменяется старое чердачное перекрытие на монолитное железобетонное по металлическим балкам, ограждающие конструкции надстраиваемого этажа формируются металлическими колоннами, на которые навешиваются легкие панели; стропильные конструкции – металлические.

Для избежания негативного воздействия строящегося здания на существующие, было предложено устройство шпунтовой стенки из буронабивных свай.

Оценка влияния двухэтажной пристройки и надстройки на напряженно-деформированное состояние существующего здания заключалась в сравнении уровней основных параметров напряженно-деформированного состояния системы «основание – фундамент – сооружение» для двух состояний исследуемого объекта.

Первое состояние представляет собой систему «грунтовый массив – фундамент – сооружение», объединяющую существующие здания до выполнения пристройки и

реконструкции и учитывающую наличие повреждений в кирпичных стенах существующего здания.

Второе состояние представляет также систему «грунтовый массив – фундамент – сооружение», объединяющую существующие здания уже с элементами реконструкции, а также новое здание, которое в данном случае является 2-этажной пристройкой. При этом в новой расчетной схеме учтены предложения по усилению поврежденных конструкций здания и устройству шпунтовой стенки из буронабивных свай.

Необходимые параметры напряженно-деформированного состояния двух систем получили с применением численного эксперимента на конечноэлементных моделях расчетных схем с использованием программного комплекса SCAD, версия 11.5.

В качестве расчетных схем и их конечноэлементных моделей приняты:

- основание – упругое полупространство, ограниченное в плане размерами, достаточными для получения достоверных результатов (мощность сжимаемой толщи – 6 м, ограничение массива – 3 м справа и позади существующего здания); модель – объемные призматические шестигранные 8-узловые конечные элементы (КЭ);
- фундаменты и стены – трехмерные упругие тела, модель – объемные призматические шестигранные 8-узловые конечные элементы;
- перекрытия – пластины, модель – оболочечные элементы 4-узловые с шестью степенями свободы в каждом узле;
- балки перекрытий – стержни, модель – пространственный стержневой конечный элемент с шестью степенями свободы в каждом узле;
- колонны пристройки и надстройки – стержни, модель – пространственный стержневой конечный элемент с шестью степенями свободы в каждом узле;
- фермы, прогоны и другие подобные конструктивные элементы надстройки – стержни, модель – пространственной стержневой конечный элемент с шестью степенями свободы в каждом узле;
- шпунтовые стенки из буронабивных свай и стены подвала пристройки – трехмерные упругие тела, модель – объемные призматические шестигранные 8-узловые конечные элементы;
- стены пристройки и надстройки над рекреационным залом – пластины, модель – оболочечный 4-узловой элемент с шестью степенями свободы в каждом узле.

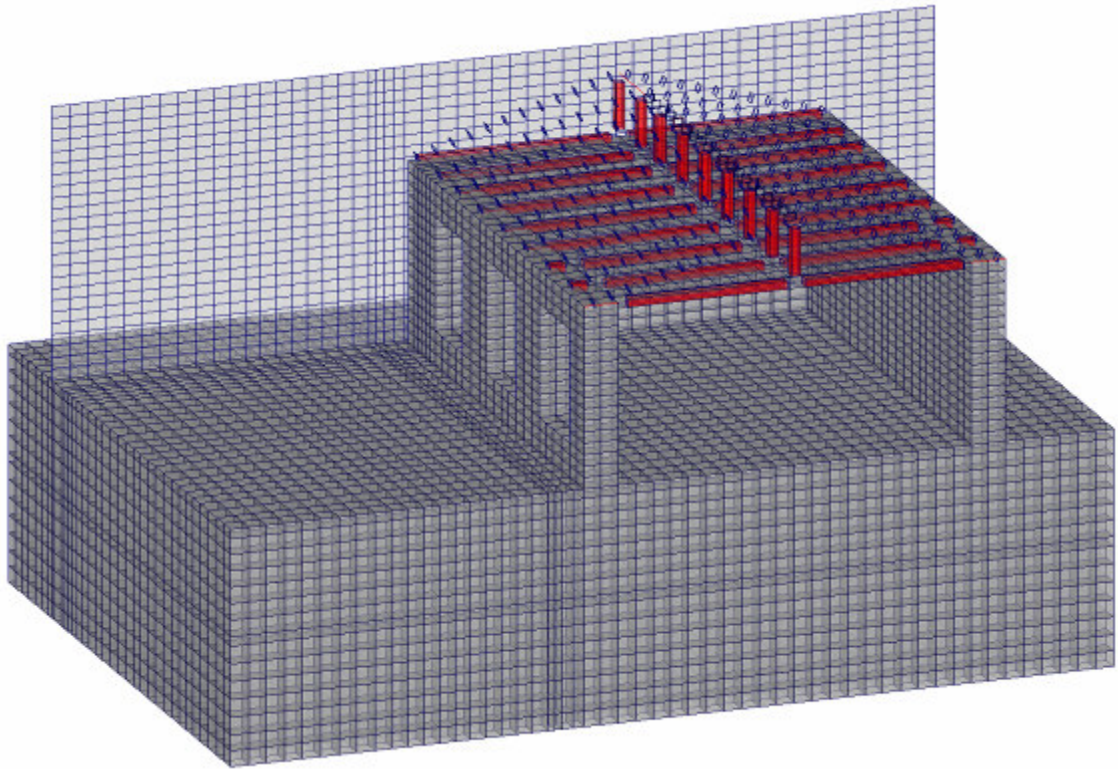
Модели расчетных схем приведены на рис. 7, 8. Размеры конечных элементов принимались не более 0,5 м для объемных 3-мерных и пластинчатых 2-мерных КЭ. Такие же размеры приняты также для стержневых конечных элементов.

Жесткостные характеристики приняты следующими:

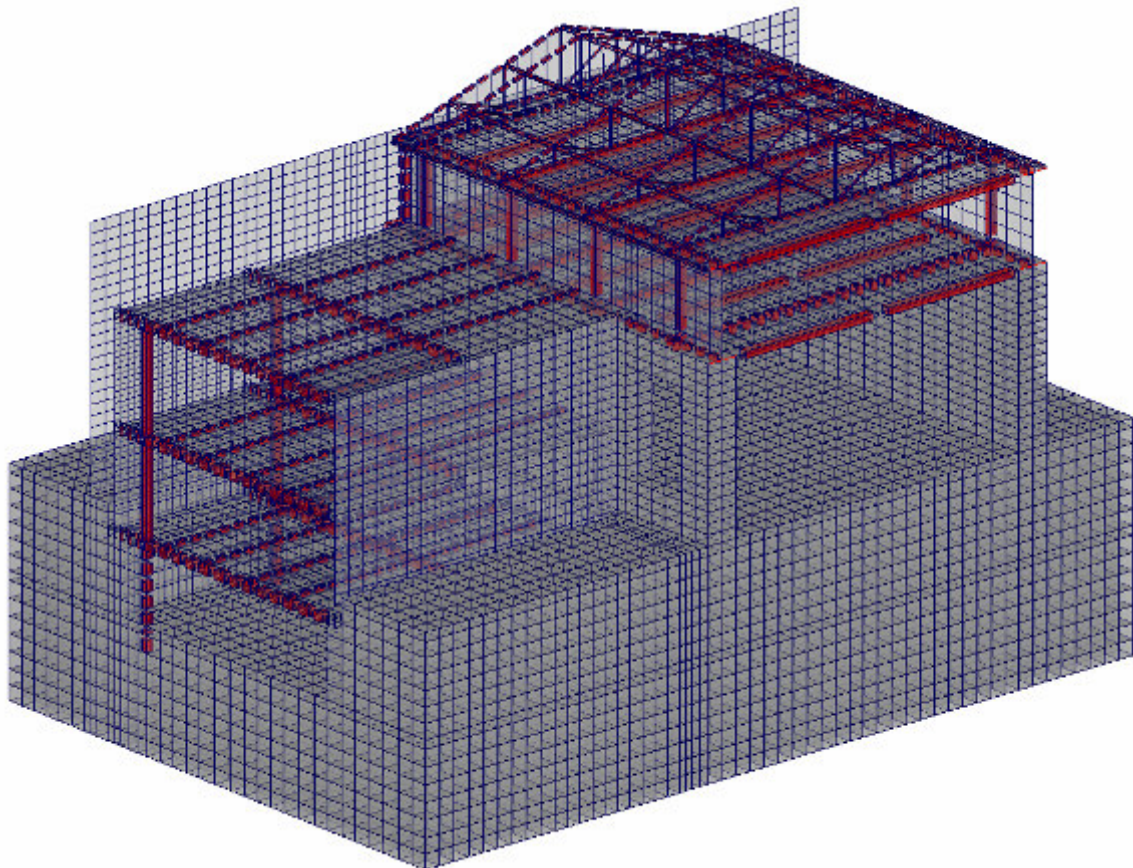
- для грунтов основания послойно, в зависимости от положения слоя на основании данных инженерно-геологических изысканий;
- для фундаментов и стен рекреационного зала – как для кладки из глиняного кирпича М100 и раствора М25 и результатов испытаний;
- для шпунтовых стен из свай принят бетон класса В20;
- для перекрытий пристройки и перекрытий реконструкции рекреационного зала принят бетон класса В25;
- для балок, ферм, колонн приняты металлические стандартные профили – швеллер, уголковая сталь, коробчатые сечения.

Нагрузки приняты нормативными на основании нормативного документа [9] в зависимости от назначения помещений.

Для конструктивных элементов из красного кирпича значение удельного веса принято  $\gamma = 18 \text{ кН/м}^3$ , для конструктивных элементов из железобетона  $\gamma = 25 \text{ кН/м}^3$ , для конструктивных элементов из металла  $\gamma = 78,5 \text{ кН/м}^3$ .



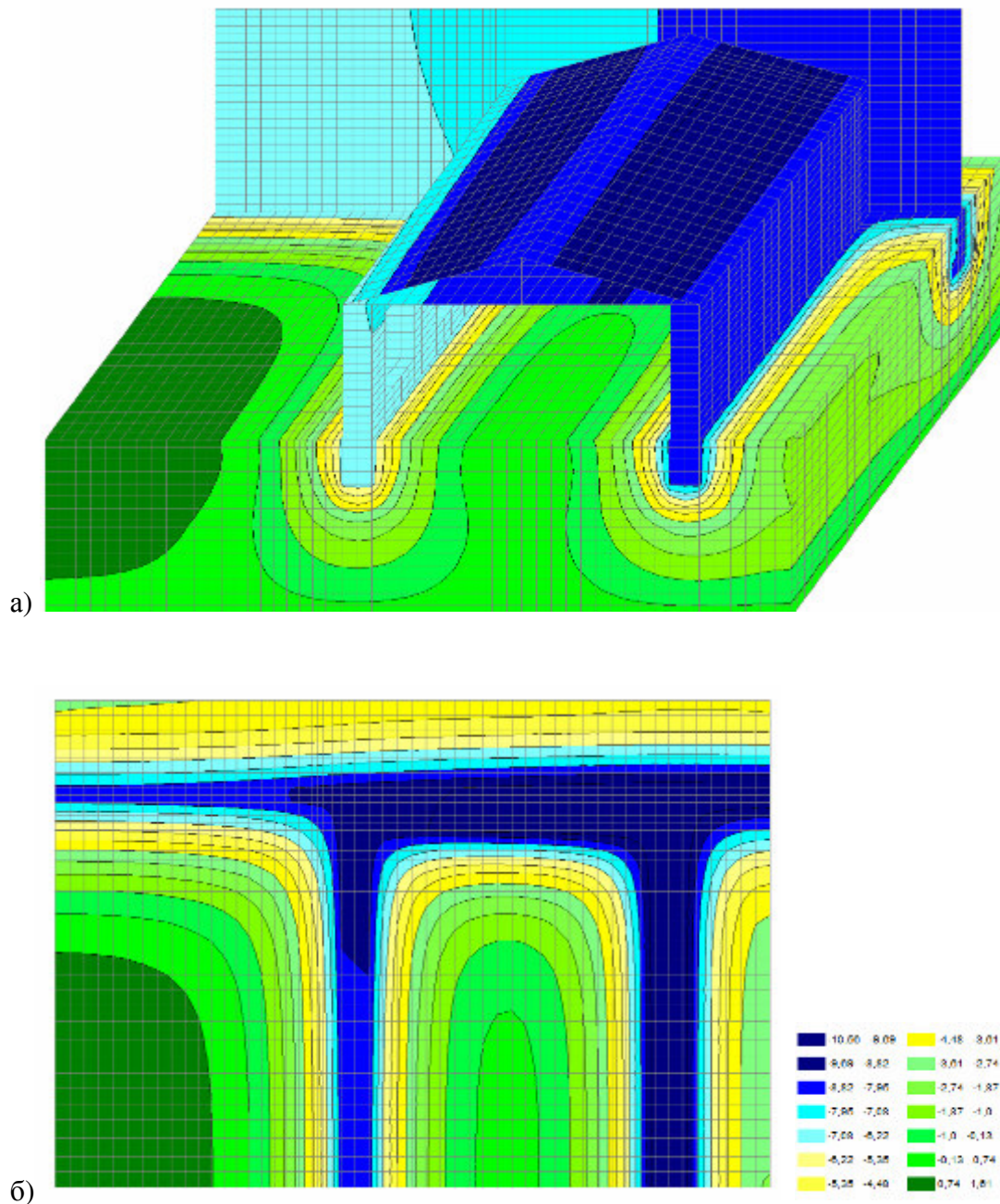
**Рис. 7. Первоначальная расчетная схема (до реконструкции)**



**Рис. 8. Расчетная схема зданий после реконструкции**



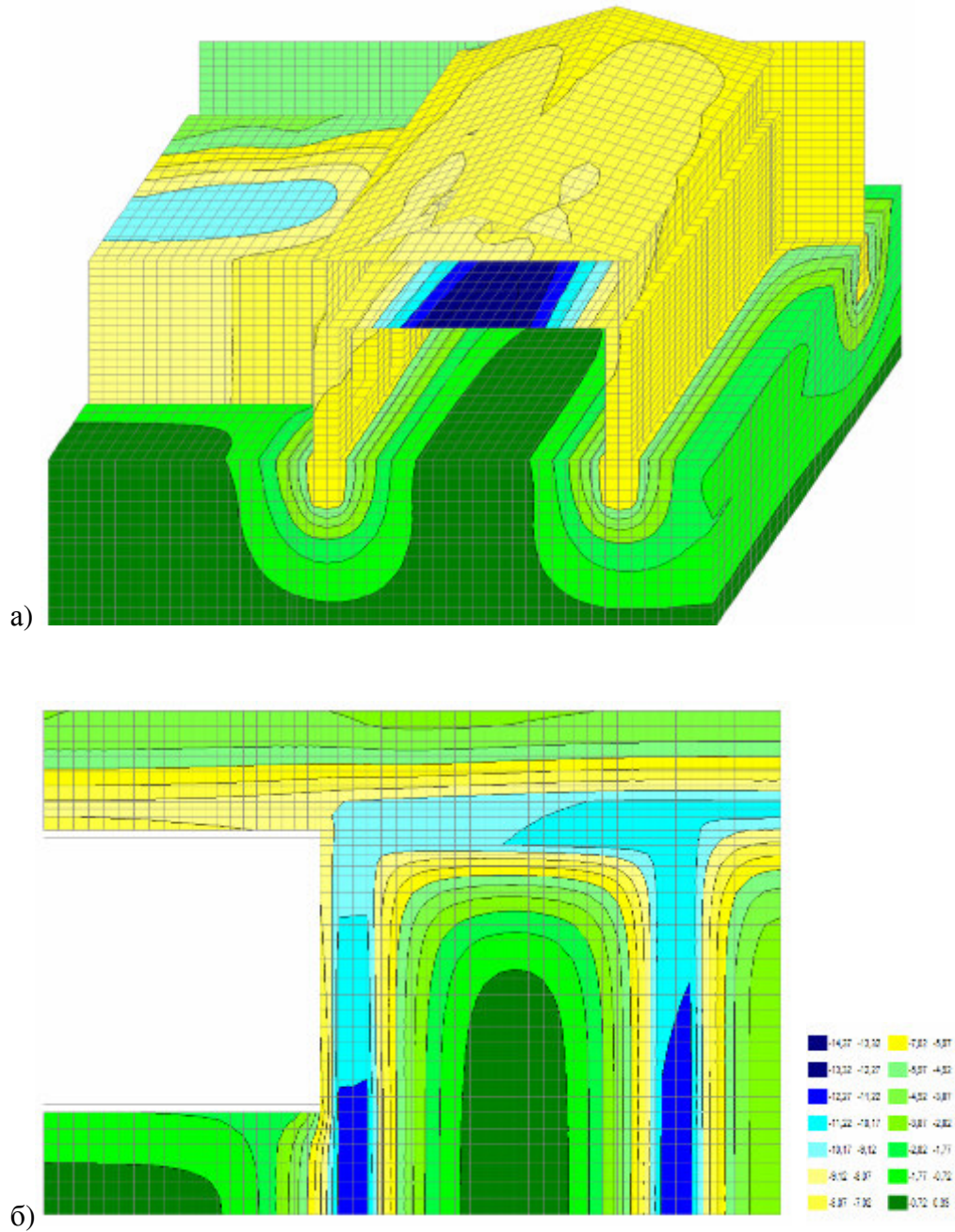
Существующие осадки основания (также фундаментов рекреационного зала) до выполнения 2-этажной пристройки к ресторану составляют максимально 10,56 мм (рис. 9, б).



**Рис. 9. Вертикальные перемещения системы до надстройки:**  
**а) всего здания; б) фундаментов**

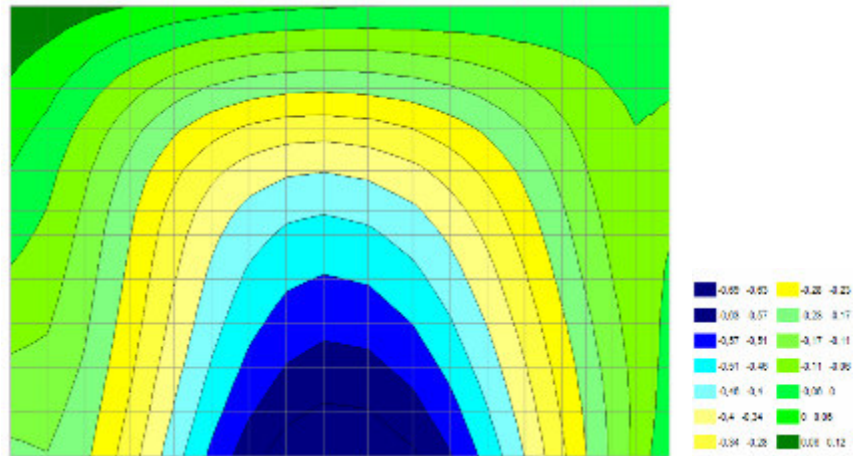
Горизонтальные поперечные перемещения шпунтовой стенки, выполненной из свай и расположенной вдоль рекреационного зала, составляют около 0,69 мм (рис. 11), такие же перемещения шпунтовой стенки, расположенной вдоль двухэтажной пристройки к ресторану, составляют около 2,02 мм и расположены на уровне пола подвального помещения двухэтажной пристройки.

Вертикальные напряжения в стене с оконными проемами, принадлежащей рекреационному залу до надстройки, представлены на рис. 12. Их величина не превышает  $-47,42 \text{ тс/м}^2$  ( $-474,2 \text{ кПа}$ ). Наиболее нагруженными являются простенки.

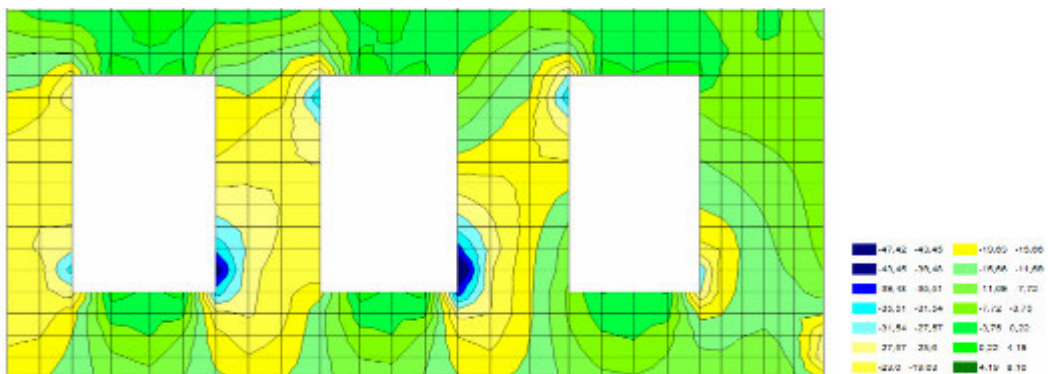


**Рис. 10. Вертикальные перемещения системы после надстройки:**  
**а) всего здания; б) фундаментов**

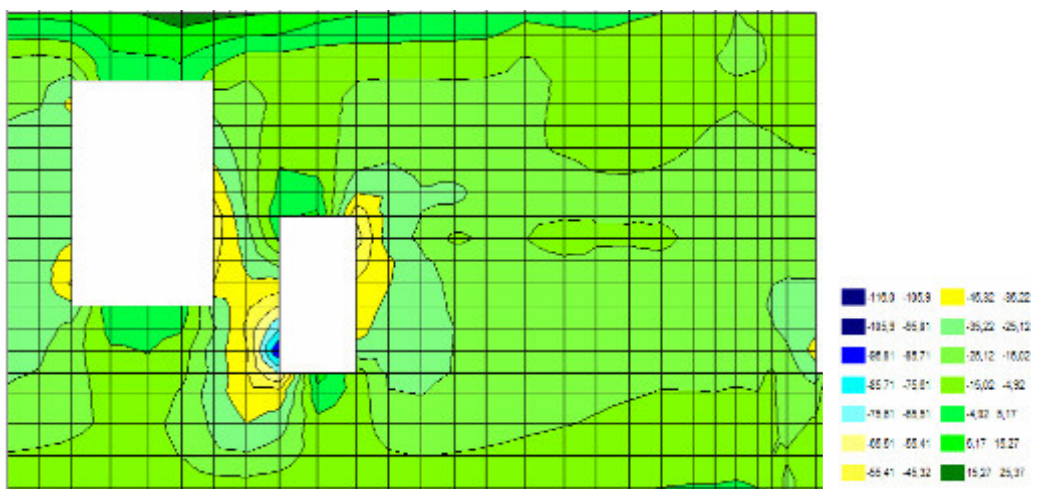
После надстройки второго этажа над рекреационным залом и заделки оконных проемов вертикальные напряжения в стене возрастают до величины  $-116 \text{ тс/м}^2$  ( $1160 \text{ кПа}$ ), оставаясь ниже расчетного сопротивления на сжатие кирпичной кладки (рис. 13).



**Рис. 11. Горизонтальные перемещения шпунтовой стенки, расположенной вдоль рекреационного зала**



**Рис. 12. Вертикальные напряжения в кирпичной стене пристройки, тс/м<sup>2</sup>**



**Рис. 13. Вертикальные напряжения в кирпичной стене после пристройки, тс/м<sup>2</sup>**

Величина главных максимальных напряжений  $\sigma_1$  ( $S_1$ ) в стене рекреационного зала после заделки двух оконных проемов и выполнения дверного проема находится в пределах значительно ниже расчетного сопротивления на растяжение кирпичной кладки. Однако в зоне существующей трещины в перемычке и стене над крайним окном возникают положительные напряжения, равные  $\sigma_1 = 3,83 \text{ тс/м}^2$ , что может привести к раскрытию трещины даже после заделки проема окна кирпичной кладкой, поэтому необходимо выполнить конструктивные мероприятия по усилению кирпичной кладки в зоне расположения трещин. Такое же усиление необходимо выполнить в районе трещины в стене рекреационного зала под третьим окном. Значения давления под подошвой фундаментов здания после реконструкции оказывается ниже расчетного сопротивления грунта, подсчитанного с учетом возникшего со временем уплотнения.

Расчеты показали, что:

- прочность стен рекреационного зала после выполнения конструктивных мероприятий по усилению стен в районе существующих трещин вполне достаточна для надстройки второго этажа, предназначенного для расположения офисных помещений;
- осадки фундаментов рекреационного зала после надстройки второго этажа возрастают незначительно и остаются ниже допустимых осадок для этого класса здания;
- усиление фундаментов стен рекреационного зала при выполнении надстройки не требуется.

После анализа результатов расчета можно сформулировать следующие рекомендации:

- выполнить усиление кирпичной кладки в зоне расположения трещин и в области трещины в стене рекреационного зала под третьим окном методами, соответствующими величине раскрытия трещин;
- для возведения двухэтажной пристройки необходимо возведение шпунтовой стенки из буронабивных (буроинъекционных) армированных свай диаметром 500 мм и длиной около 6 м, ограждающей подвальное помещение от рекреационного зала и здания на соседнем участке;
- для увеличения жесткости и уменьшения поперечных перемещений шпунтовых стен необходимо предусмотреть устройство силового пола в виде монолитной железобетонной плиты на уровне низа подвального помещения здания;
- при выполнении строительных работ по возведению двухэтажной пристройки необходимо обеспечить невозможность поперечного смещения свай шпунтовой стенки после удаления грунта из подвального помещения;
  - при выполнении работ не допускать замачивания грунта основания.

**Выводы.** Проведенные численные исследования позволили оценить изменения НДС системы «грунтовый массив – фундамент – реконструируемое здание» во всей их полноте и дать широкий спектр максимально точных рекомендаций в условиях достаточно сложной реконструкции.

### *Литература*

1. Vynnykov Y. *The Use of Reserves of Bearing Capacity of Base and Foundations During Reconstruction of Buildings* / Y. Vynnykov, N. Zotsenko, A. Yakovlev // *Reconstruction of Historical Cities and Geotechnical Engineering. – Proc. of Intern. Geotechnical Conf. Dedicated to Tercentenary of Saint Petersburg. – SPtb. – M.: ASV Publishers, 2003. – Vol. 1. – P. 367 – 370.*
2. Зоценко Н.Л. *Современная практика моделирования взаимодействия фундаментов с уплотненными основаниями при их возведении и последующей работе* // Н.Л. Зоценко,

- Ю.Л. Винников // Численные методы расчетов в практической геотехнике: сб. статей науч.-техн. конф. – СПб.: СПбГАСУ, 2012. – С. 164 – 171.
3. Коновалов П.А. Основания и фундаменты реконструируемых зданий: монография / П.А. Коновалов, В.П. Коновалов. – М.: Изд-во АСВ, 2011. – 384 с.
4. Улицкий В.М. Геотехническое сопровождение развития городов / В.М. Улицкий, А.Г. Шашкин, К.Г. Шашкин. – СПб.: Стройиздат Северо-Запад, Группа компаний «Геореконструкция», 2010. – 551 с.
5. Перельмутер А.В. Расчетные модели сооружений и возможность их анализа / А.В. Перельмутер, В.И. Сливкер. – М.: Изд-во СКАД СОФТ, 2011. – 736 с.
6. Кичаева О.В. Моделирование зданий, эксплуатируемых в сложных инженерно-геологических условиях, при статических и динамических воздействиях / О.В. Кичаева // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі і споруди: зб. наук. праць. – Рівне. – Вип. 28. – 2014. – С. 376 – 386.
7. Кичаева О.В. Оценка рисков при реконструкции зданий / О.В. Кичаева. – Зб. наук. праць. Сер.: Галузеве машинобудування, будівництво. – Полтава: ПолтНТУ, 2013. – Вип. 3(38). – С. 161 – 174.
8. Кичаева О.В. Влияние повреждений на напряженно-деформированное состояние здания при статических и динамических воздействиях / О.В. Кичаева, С.Д. Михалев. – Зб. наук. праць. Сер.: Галузеве машинобудування, будівництво. – Полтава: ПолтНТУ, 2014. – Вип. 1(40). – С. 293 – 301.
9. ДБН В.1.2-2:2006. Навантаження і впливи. – К.: Мінбуд України, 2006. – 59 с.

© О.В. Кичаева  
Надійшла до редакції 19.05.2015