

УДК 624.04: 69.059:624.131.5

*О.В. Кичаева, к.т.н., доцент  
С.Д. Михалёв, магистр*

*Харьковский национальный университет строительства и архитектуры*

## **ВЛИЯНИЕ ПОВРЕЖДЕНИЙ НА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ЗДАНИЯ ПРИ СТАТИЧЕСКИХ И ДИНАМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ**

*Проанализированы результаты численного исследования напряженно-деформированного состояния здания с повреждениями при статических и динамических нагрузках.*

**Ключевые слова:** *напряженно-деформированное состояние, повреждения, численные исследования.*

УДК 624.04: 69.059:624.131.5

*О.В. Кічаєва, к.т.н., доцент  
С.Д. Михальов, магістр*

*Харківський національний університет будівництва та архітектури*

## **ВПЛИВ ПОШКОДЖЕНЬ НА НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН БУДІВЛІ ПРИ СТАТИЧНИХ ТА ДИНАМІЧНИХ ВПЛИВАХ**

*Проаналізовані результати чисельного дослідження напружено-деформованого стану будівлі з пошкодженнями при статичних і динамічних навантаженнях.*

**Ключові слова:** *напружено-деформований стан, пошкодження, чисельні дослідження.*

UDK 624.04: 69.059:624.131.5

*O.V. Kichaeva, PhD, Associate Professor  
S.D. Mihalyov, master*

*Kharkov national university of building and architecture*

## **EFFECT OF DAMAGES ON THE STRESS-STRAIN STATE OF THE BUILDING UNDER STATIC AND DYNAMIC LOADS**

*The article analyzes the results of a numerical investigation of the stress-strain state of the building damaged by the static and dynamic loads.*

**Keywords:** *stress-strain state, damage, numerical researches.*

**Введение.** Наличие повреждений и деформаций в эксплуатируемых зданиях изменяет их расчетную схему, а следовательно, и первоначальное напряженно-деформированное состояние (НДС). Очевидно, что важен характер повреждений, их количество, расположение в конструкциях зданий и степень влияния на изменение расчетной схемы конструкций и здания в целом. Установление НДС здания (сооружения) возможно с помощью адекватной расчетной модели, которая с достаточной степенью точности отображала бы работу здания. Приемлемость расчетной модели эксплуатируемого здания (сооружения, конструкции) определяется

сравнением картины повреждений с результатами силового расчета. При совпадении результатов качественного и количественного анализа возможен достаточно точный прогноз поведения здания при воздействиях того или иного характера.

**Обзор последних источников исследований и публикаций.** Работа зданий, сооружений, строительных конструкций, грунтовых оснований, моделирование их совместной работы освещалось в работах А.С. Городецкого, Б.Г. Демчины, М.Ф. Друкованного, А.А. Дыховичного, В.К. Егупова, К.В. Егупова, В.С. Кукунаева, А.И. Лантух-Лященко, Н.Г. Марьенкова, Ю.И. Немчинова, В.Г. Пискунова, А.А. Рассказова, В.М. Сеймова, В.Л. Седина, Г.И. Черного, В.Г. Шаповала, А.В. Шимановского, 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 [1], В.И. Сливкер, Е.Б. Стрелец-Стрелецкий, R.L. Taylor, O.C. Zienkiewicz [2] и другие.

**Выделение не решенных ранее частей общей проблемы.** В силу многочисленности факторов, влияющих на работу системы «основание – фундамент – сооружение», а особенно включенных в эту систему зданий с имеющимися повреждениями и деформациями, строгие аналитические подходы не могут с достаточной степенью точности отразить механизм ее изменения. Поэтому НДС такой системы следует оценивать с помощью численных методов, совершенствуя расчетные модели, причем каждый такой случай должен рассматриваться отдельно и максимально тщательно.

**Постановка задачи.** Задачей данного исследования является установление НДС здания пожарного депо, сравнение результатов численного эксперимента здания с повреждениями и без них при статических и динамических воздействиях, а также их анализ.

**Основной материал и результаты.** Здание пожарного депо состоит из двух примыкающих друг к другу объемов: основной прямоугольной 3-этажной части с размерами в осях 66,1 x 17,6 м и одноэтажной пристройки, расположенной со стороны дворового фасада здания, имеется подвал в разных частях здания. Шаг колонн в продольном направлении – 9 ; 11,28; 6 м, в поперечном направлении – 6 м. Несущими стенами в бескаркасной части здания являются, главным образом, стены продольные.

В здании пожарного депо имеет место соединение двух конструктивных схем: бескаркасной (с несущими стенами) и каркасной с неполным каркасом. Устойчивость наружных стен в зданиях с неполным каркасом обеспечивают в основном элементы каркаса и перекрытия.

Площадка участка застройки сложена песком мелким маловлажным с модулем деформации  $E = 30$  МПа, ниже которого залегает супесь твердая с  $E = 25$  МПа. Этот грунт, как правило, и служит основанием фундаментов. Ниже расположены меловые породы, которые подстилаются базальтовыми.

Фундаменты здания и пристройки под стены – сборные железобетонные ленточные с различной глубиной заложения; под колонны кирпичные – монолитные железобетонные подушки; под колонны сборные железобетонные – монолитные железобетонные плиты и отдельно стоящие фундаменты. Стены и перегородки подвала и цоколя здания пожарной части – из керамического кирпича, стены этажей здания и кирпичные колонны – из силикатного. Конструкции перекрытия подвалов и этажей здания пожарной части и покрытия – сборные железобетонные многопустотные панели. Прогоны и ригели здания пожарной части – сборные железобетонные. Колонны здания пожарной части – сборные железобетонные и кирпичные.

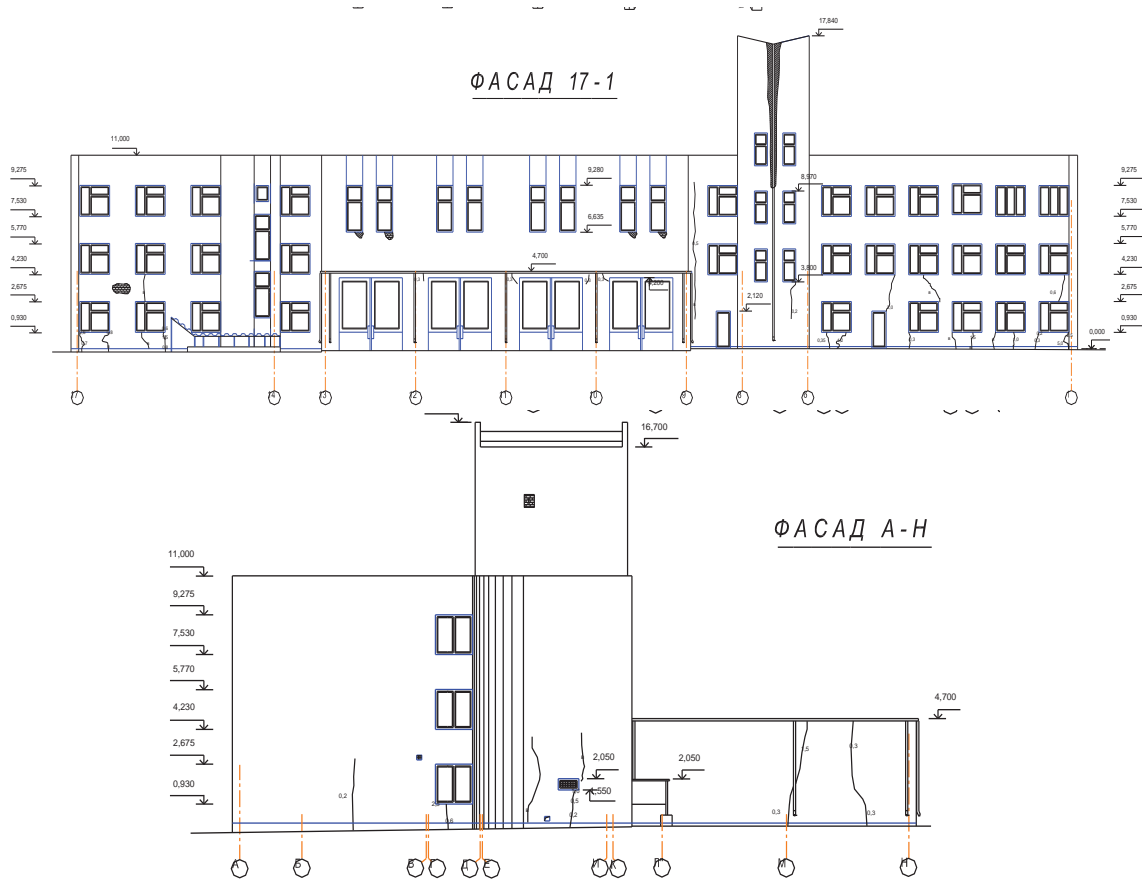
Результаты обследования показали, что имеют место повреждения и деформации некоторых строительных конструкций (рис. 1): частичное разрушение облицовки цоколя; в кирпичных стенах и перегородках – трещины шириной раскрытия от волосных до 13 мм, в том числе и сквозные; повреждение арматуры и бетона плит; коррозия арматуры плит и разрушение защитного слоя арматуры плит междуэтажных перекрытий.

При инструментальном обследовании конструкций здания неразрушающими методами установлено, что среднее значение прочности кирпича и бетона конструкций соответствует проектным значениям.

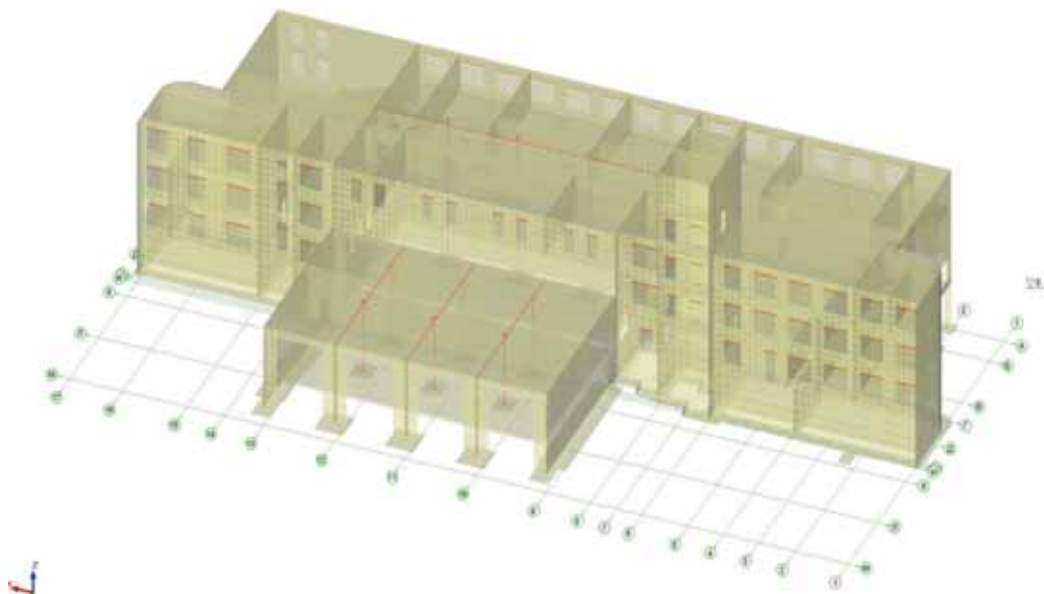
По результатам измерений горизонтальных швов кладки можно заключить, что заполнение их раствором неравномерное.

Расчетная схема здания пожарного депо выбрана в виде пространственной трехэтажной коробки с двумя междуэтажными перекрытиями и покрытием, работающей на растяжение-сжатие и изгиб в двух плоскостях, сопровождающихся сдвигом и кручением. Коробка опирается на ленточные и отдельно стоящие фундаменты, заложенные на разной глубине, также в единой расчетной схеме учтены и подвалы. В качестве основания использована модель с двумя коэффициентами постели, которые корректировались с изменением глубины заложения фундамента [1]. Вид расчетной схемы показан на рис. 2.

В расчетную схему включены конечные элементы следующих типов: для стен, перекрытий, покрытий, кирпичных колонн и ленточных фундаментов – оболочечные элементы с 6-ю степенями свободы в каждом узле; для железобетонных колонн, ригелей, перемычек – стержневые конечные элементы с 6-ю степенями свободы в каждом узле.



**Рис. 1 – Дефекты и повреждения здания пожарного депо**



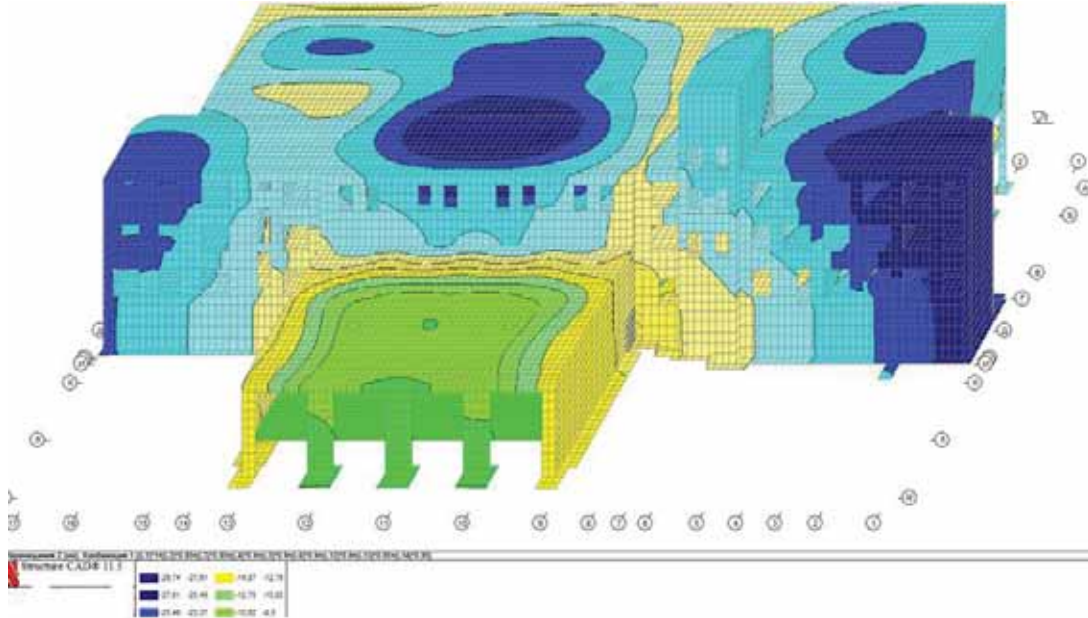
**Рис. 2 – Расчетная схема здания пожарного депо**

Жесткостные характеристики элементов задавались в соответствии с проектной документацией и результатами обследования. Для элементов, моделирующих кирпичную кладку, был определен модуль деформации по значениям расчетных сопротивлений кирпича и раствора и упругой характеристикой по нормативному документу [3]. Для железобетонных

колонн, ригелей, прогонов, плит перекрытий и покрытий, перемычек модули деформации заданы по нормам [4], а все нагрузки и воздействия – в соответствии с нормами [5].

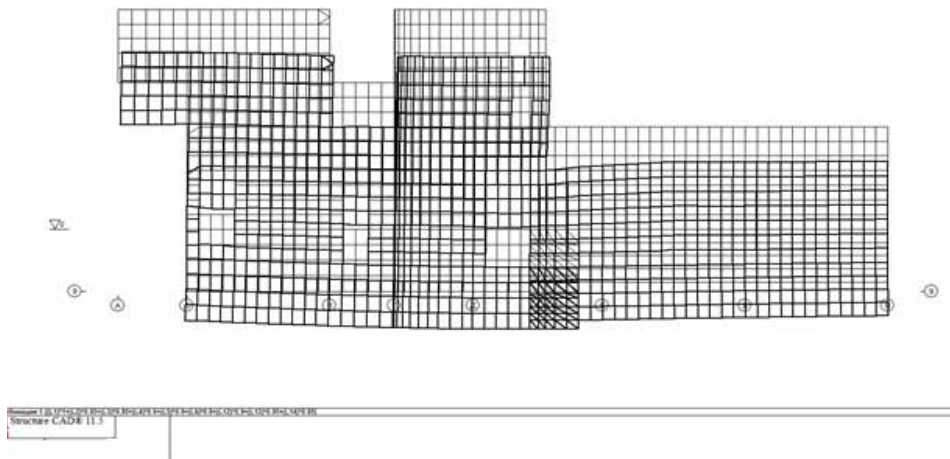
Анализ результатов статического расчета [6]:

1. Осадки фундаментов здания пождепо неравномерны (рис. 3).



**Рис. 3 – Вертикальные перемещения здания пожарного депо**

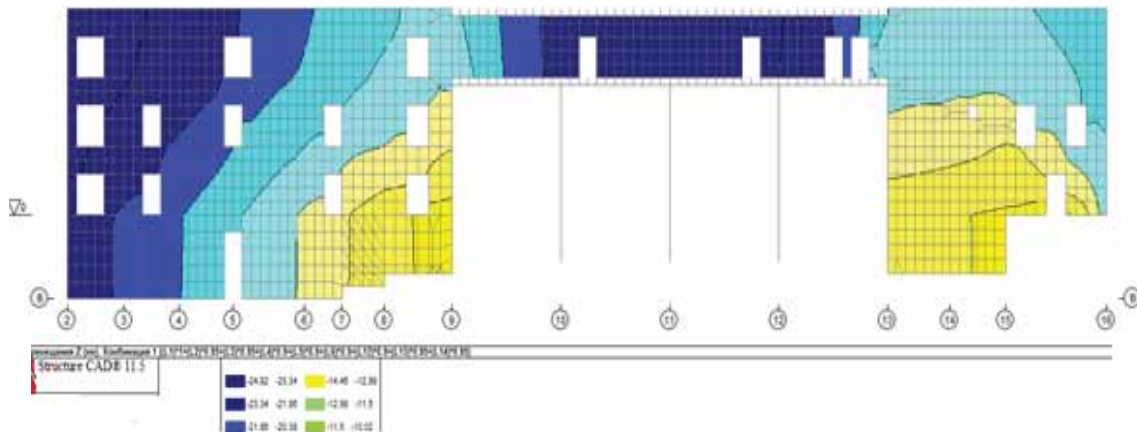
2. Фундаменты стены по ряду К имеют наибольшие значения осадок, при этом в воронку оседания вовлекаются и фундаменты здания пристройки, расположенной со стороны дворового фасада (рис. 4). Этим объясняются вертикальные сквозные трещины с большим раскрытием сверху в стенах здания пристройки.



**Рис. 4 – Деформированная схема стены по оси 9**

3. Плиты перекрытия 2-го этажа имеют значительный прогиб, который, однако, менее предельно допустимых величин. Стены 3-го этажа следуют за вертикальными деформациями плит перекрытия (рис. 5).





**Рис. 5 – Распределение вертикальных перемещений в кирпичных стенах по ряду В**

4. Вертикальные нормальные напряжения в кирпичных стенах и колоннах по ряду А ниже, чем расчетное сопротивление кладки, однако с учетом имеющихся повреждений коэффициент использования составляет 1,043.

5. Горизонтальные растягивающие напряжения в стене по ряду К выше, чем расчетное сопротивление кладки на растяжение. Это повлекло за собой появление трещин в подоконных участках стены по ряду К. В стене по ряду Б значения горизонтальных растягивающих напряжений также выше, чем расчетное сопротивление кладки на растяжение.

Для исследования изменений, произошедших в НДС здания, была составлена расчетная схема, в которой учитывались сквозные трещины в кирпичной кладке стен пожарного депо. Наиболее значительные сквозные трещины находятся на стене пристройки на фасаде А – Н и Н – А (рис. 6).



**Рис. 6 – Сквозные трещины в кирпичных стенах пристройки фасадов:  
а) А – Н; б) Н – А**

Результаты сравнения на примере стены пристройки по оси 9 (фасад Н – А) показали, что разница в деформациях в месте образования трещины в обоих вариантах практически одинаковы.

Отмечено, что в модели с учетом трещин наблюдается перераспределение напряжений непосредственно в месте образования трещин (рис. 7, 10). Это отчетливо видно при сравнении с моделью без учета повреждений, в которой в месте образования трещины наблюдается концентрация напряжений. Трещины были выполнены разделением конечных элементов в узлах соединений вдоль берегов имеющих трещин. Также был проведен анализ изменения усилий и напряжений в конечных элементах в месте расположения трещин стен при задании и отсутствии повреждений в расчетной модели для статических и динамических нагрузок (рис. 8, 9, 11, 12).

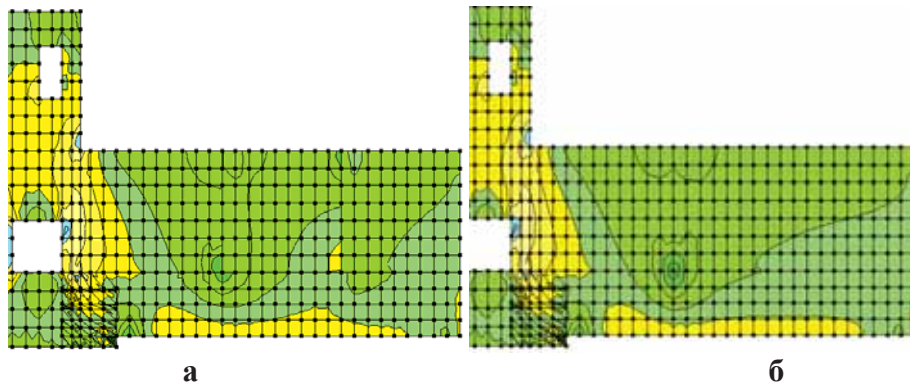


Рис. 7– Напряжения  $N_x$ (т/м<sup>2</sup>) в стене пристройки по оси 9 в модели: а) с учетом трещин; б) без учета трещин

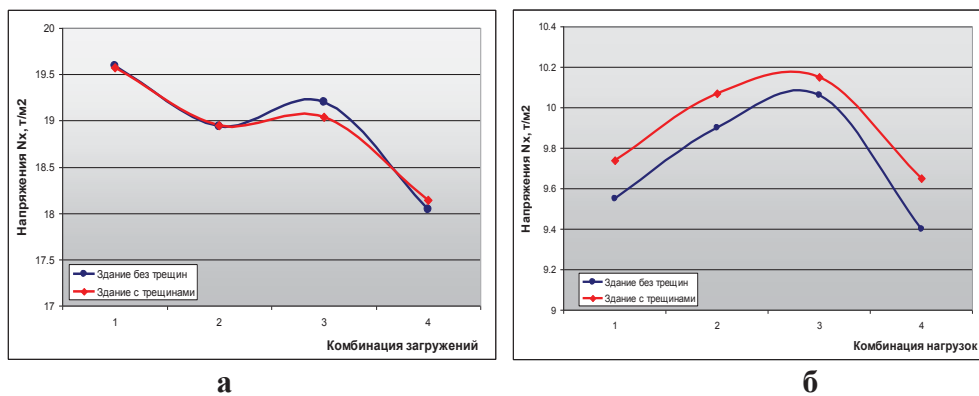


Рис. 8 – Напряжения  $N_x$ , т/м<sup>2</sup>, в стене фасада пристройки: а) по оси 9; б) по оси 13

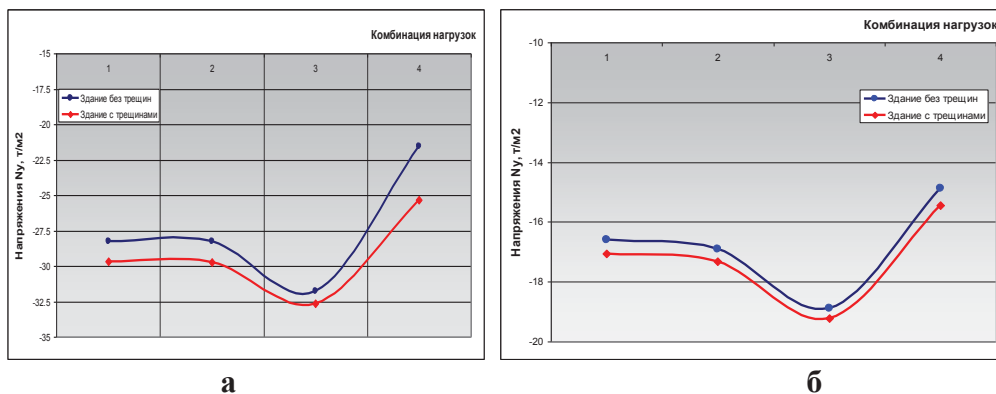


Рис. 9 – Напряжения  $N_y$ , т/м<sup>2</sup>, в стене фасада пристройки: а) по оси 9; б) по оси 13

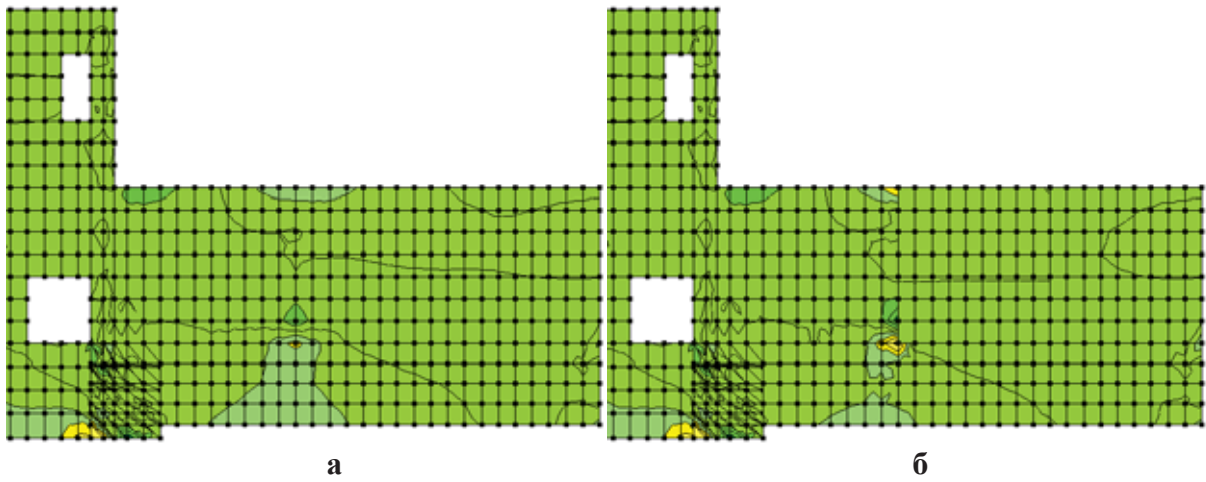


Рис. 10 – Напряжения  $M_x$ , тм, в стене пристройки Н – А по оси 9 в модели:  
а) с учетом трещин; б) без учета трещин

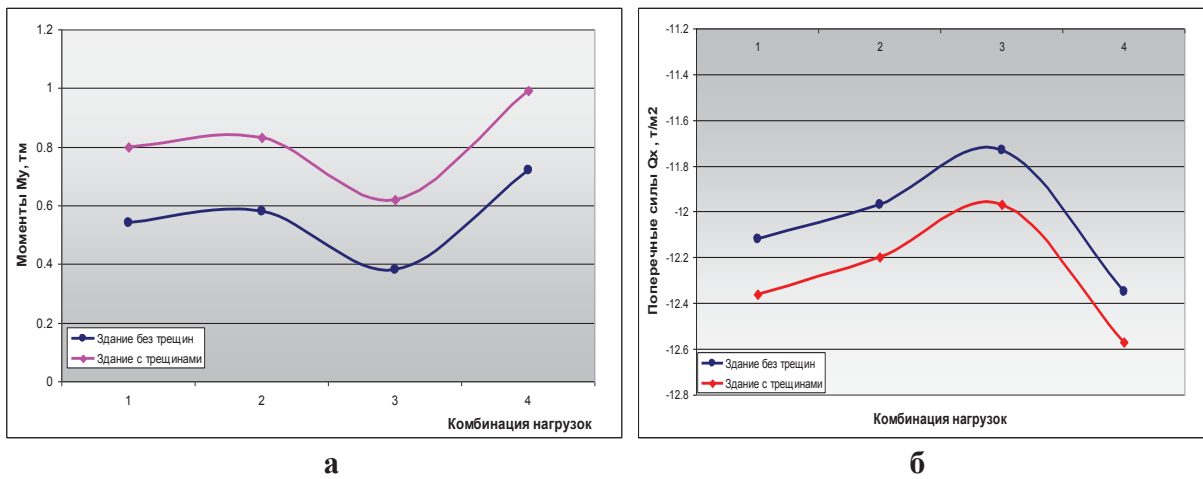


Рис. 11 – Моменты  $M_y$  (а), тм, и поперечные силы  $Q_x$  (б) в стене пристройки Н – А по оси 9 в зданиях с трещинами и без трещин

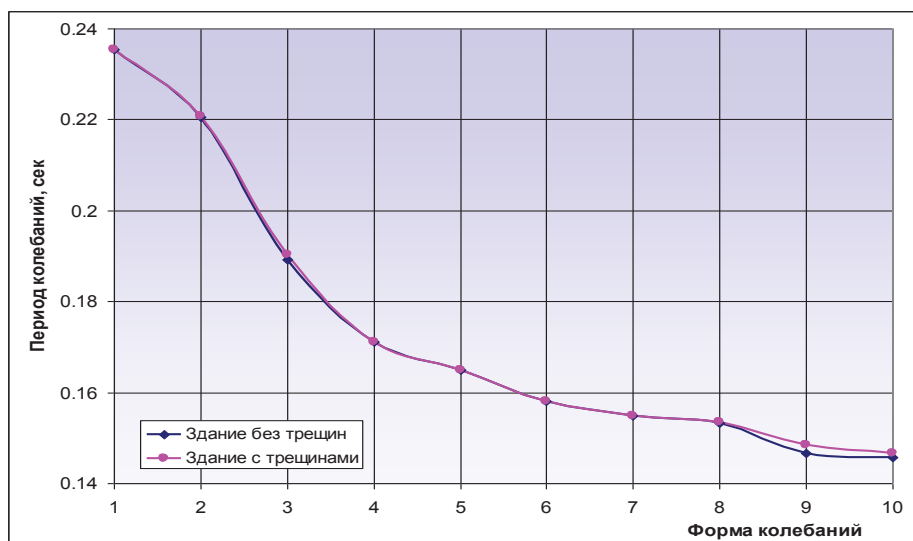


Рис. 12 – Периоды колебаний по первым 10-ти формам для здания с трещинами и без трещин



## **Выводы:**

1. Проведенные численные исследования показали адекватность принятой расчетной модели здания пожарного депо, что иллюстрируется сопоставлением реальной картины деформирования с результатами численного моделирования (см. рис. 1 и 3).

2. Вертикальные нормальные и горизонтальные растягивающие напряжения в кирпичной кладке стен в моделях с трещинами увеличиваются незначительно – максимум до 2% по отношению к моделям без трещин (рис. 8, 9).

3. Значения действующих моментов увеличиваются значительно – в пределах 38 – 63% для зданий с трещинами (рис. 11, а).

4. Значения перерезывающих сил в кладке стен для зданий с трещинами увеличиваются в пределах 2 – 7%.

5. При динамических нагрузках (сейсмическое воздействие на уровне 7-ми баллов) периоды колебаний по первым 8 формам практически не изменяются, а по 9-ти, 10-ти формам незначительно увеличиваются для здания с трещинами.

## *Литература*

1. Перельмутер А.В. Расчетные модели сооружений и возможность их анализа / А.В. Перельмутер, В.И. Сливкер. – К.: Изд-во, «Сталь», 2002. – 600 с.

2. Zienkiewicz O.C. *The Finite Element Method for Solid and Structural Mechanics* / O.C. Zienkiewicz, R.L. Taylor. – 2005. – 648 с.

3. ДБН В.2.6-162:2010. «Кам'яні та армокам'яні конструкції». – К.: Мінрегіонбуд України, 2011. – 97 с.

4. ДБН В.2.6-98:2009. «Бетонні та залізобетонні конструкції». – К.: Мінрегіонбуд України, 2009. – 71 с.

5. ДБН В.1.2-2:2006 «Навантаження і впливи». – К.: Мінбуд України, 2006. – 59 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.

*Надійшла до редакції 16.04.2014*

*©О.В. Кичаева, С.Д. Михалёв*