

УДК 624.012

С.Л.ФОМИН, д-р техн. наук, ЭЛЬ МУТАССИМ ЛАРБИ, А.Е.КОПЕЙКО  
*Харьковский государственный технический университет  
строительства и архитектуры*

### **КОНСТРУКТИВНЫЕ РЕШЕНИЯ УСИЛЕНИЯ КИРПИЧНЫХ СТЕН НА ОСНОВЕ РЕЗУЛЬТАТОВ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ**

Разработана методика оценки напряженно-деформированного состояния кирпичных стен при неравномерной осадке основания на основе решения плоской задачи с применением ПК, итерационного уточнения расчетной схемы, а также прогнозирования характера трещинообразования по траекториям и величинам главных растягивающих напряжений. Предложены конструктивные методы усиления.

Большинство повреждений зданий вызвано деформациями оснований и проявляется в виде трещин в конструкциях. В зависимости от причин возникновения различают осадки и просадки от нагрузок и оседание, набухание, усадка и т.п. не связанные с нагрузкой. При этом проявляются неравномерные деформации здания в целом: прогиб, выгиб, кручение коробки здания, перекос. При таком общем подходе разработаны методы оценки и способы усиления конструкций. В действительности картина напряженно-деформированного состояния конструкций значительно сложнее и во многих случаях требует более точной оценки. В частности, оценка динамики развития напряженного состояния в конструкциях при продолжающихся процессах деформирования основания может быть проведена на основе решения плоской задачи с применением современных вычислительных комплексов и предложенной методики интерактивного режима. Суть методики заключается в пошаговом уточнении решения на основе анализа результатов расчета на предыдущем шаге и уточнении расчетной схемы, а также в прогнозировании характера трещинообразования по траекториям и величинам главных растягивающих напряжений.

Методику продемонстрируем на примере выявления влияния осадок стен здания на прочность кирпичных перегородок в одноэтажных пристройках к пятиэтажному зданию, построенному на свайном основании. Здание имеет видимые следы деформаций в виде вертикальных трещин с раскрытием до 10,0 мм. Причиной осадки здания послужило неравномерное замачивание грунтов. Обследованием установлено, что перегородки пристройки нуждаются в усилении. На рис.1 показан общий вид фрагментов перегородки с характерными трещинами.

Расчеты проведены с использованием вычислительного программного комплекса "LIRA 5-03", разработанного НИИАСС Украи-

ны. В основу расчета положен метод конечных элементов в перемещениях.

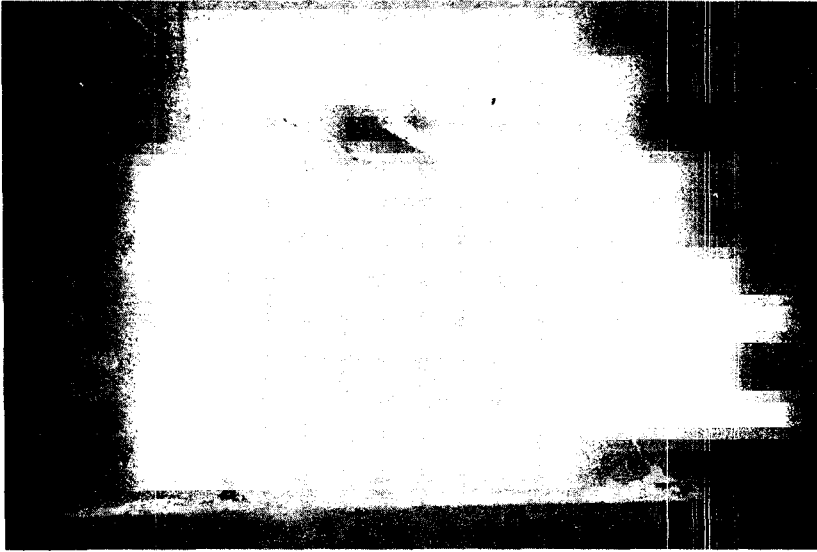


Рис 1 – Фрагмент перегородки с трещинами

Рассчитана перегородка из сплошной кладки силикатного кирпича на тяжелом растворе размерами 5500 x 3500 мм, толщиной 160 мм с двумя слоями штукатурки толщиной 20 мм нагруженная собственным весом. Нормативная объемная масса кирпичной сплошной кладки из полнотелого кирпича и штукатурки  $\rho = 1800 \text{ кг/м}^3$ , эквивалентный объемный вес перегородки  $\rho_{\text{ред}} = 2250 \text{ кг/м}^3$ , расчетное сопротивление сжатия кладки марки 100 на растворе марки 50 равно  $R = 1,5 \text{ МПа}$ , упругая характеристика кладки  $\alpha = 700$ , средний предел прочности кладки  $R_u = 2R = 3 \text{ МПа}$ , модуль упругости кладки  $E = 0,5 E_0 = 1,05 \cdot 10^5 \text{ т/м}^2$ , коэффициент Пуассона  $\nu = 0,2$ .

В качестве расчетной схемы перегородки выбрана балка-стенка, состоящая из четырехугольных элементов размерами 100x100 мм в количестве 1925 шт. Для моделирования основания снизу перегородки введена балка (стержневой элемент) размерами поперечного сечения 200x200 мм с условным модулем упругости  $E = 1 \text{ МПа}$ . При расчете напряженного состояния в перегородке для случая ее опирания только на однослойное основание с характеристиками:  $E_1 = 1500 \text{ т/м}^2$ ,  $\nu = 0,2$  в

качестве основания выбрана модель Пастернака, характеризуемая двумя коэффициентами постели:

$$C_1 = \frac{E_1}{h_1(1 - \nu_1^2)} = \frac{1500}{3(1 - 0,2^2)} = 520 \frac{\text{т}}{\text{м}^3} \text{ и}$$
$$C_2 = \frac{E \cdot h_1}{6(1 + \nu_1)} = \frac{1500 \cdot 3}{6(1 + 0,2)} = 625 \frac{\text{т}}{\text{м}}.$$

В этом случае растянутая зона по горизонтальным нормальным напряжениям располагается в верхней средней части перегородки; напряжения не превышают 0,0045 МПа. Напряжения в вертикальном направлении сжимающие, увеличивающиеся к низу перегородки.

Помимо основания перегородка опиралась на крайние опоры – фундаменты наружной и внутренней стен, в связи с чем произошло перераспределение напряжений: растянутая зона по горизонтальным напряжениям переместилась в нижнюю зону, сжатая – в верхнюю. Напряжения растяжения не превышают 0,016 МПа.

Как следует из инженерно-геологических изысканий, со временем грунты верхнего слоя уплотняются, образуются пустоты под фундаментом и выключаются из работы. Перегородка к этому времени опирается только на фундаменты наружной и внутренней стен. Максимальные растягивающие напряжения равны 0,04 МПа. В нижней части перегородки образовалась зона растягивающих нормальных напряжений в вертикальном направлении, величина которых не превышает 1 МПа. Главные растягивающие напряжения совпадают с максимальными горизонтальными напряжениями, но величина их не превышает предела прочности кирпичной кладки стены. Следовательно, трещины не могли образоваться только от этой причины.

Натурными исследованиями установлено также, что в некоторых местах происходила осадка внутренних стен по отношению к наружным, в некоторых наоборот осадка наружных стен превышала осадку внутренних (как показано на рис.1 трещина в перегородке проходит снизу от внутренней стены вверх по направлению к наружной стене, в верхней части перегородка отошла от внутренней стены), при этом эти стены препятствовали деформациям перегородки. Поэтому проведено численное моделирование напряженно-деформированного состояния перегородки при осадке опоры у наружной стены с учетом ее жесткости и условий закрепления.

Стены моделировались стержневыми элементами с размерами поперечного сечения 510х3000 мм шарнирно связанными с перегородкой во всех узлах конечных элементов (рис.2). Расчет проводился ите-

1,0e+003

870.287 870.287 896.238 896.238 522.178 522.178 348.119 348.119 174.059 174.059 10.444 10.444 -10.444 -10.444 -174.059 -174.059 -348.119 -348.119 -522.178 -522.178 -896.238 -896.238 -870.287 -870.287

ЛИТЕРА

Загружение 1

Изополюса главных напряжений M<sub>x</sub>

Средний слой

Единица измерения - МПа

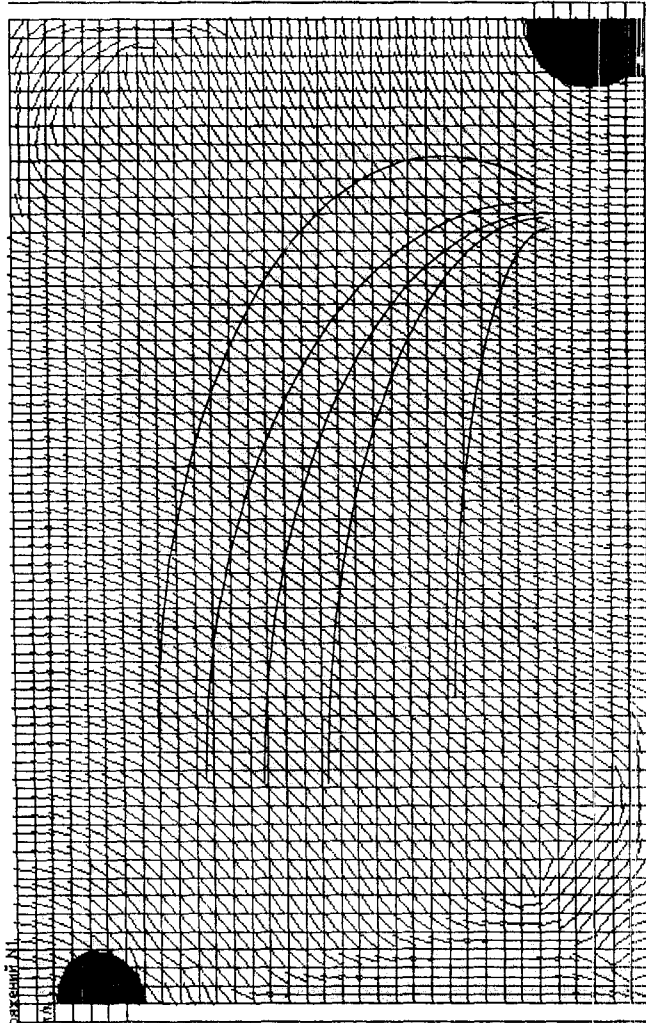


Рис. 2 - Траектории главных растягивающих напряжений в перегородке при осадке наружной стены на 40 мм

рациональным методом путем подбора расположения соединительных элементов между стенами и перегородкой до исключения растянутых связей. Перегородка при осадке наружной стены на 40 мм опирается на нее в верхней части (слева) и на внутреннюю стену в нижней части (справа). Из условия отсутствия растяжения в связях перегородки со стенами получено, что необходимо сохранить по 7 связей с каждой стороны. В средней части перегородки возникают сжимающие нормальные напряжения в горизонтальном направлении и небольшие растягивающие напряжения в вертикальном. Однако большие деформации сдвига привели к развитию главных растягивающих напряжений, превышающих предел прочности кладки (расчетные сопротивления кладки при растяжении при изгибе по перевязанному сечению при марке раствора 50 и выше  $R_{\text{сб}} = 0,25$  МПа). На рис.2 очерчена зона этих напряжений и показаны направления возможных трещин. Сравнение с результатами обследований подтверждают результаты расчета.

Для разработки проектного решения по обеспечению надежности дальнейшей эксплуатации целесообразно использовать разработанный в ХГТУСА способ усиления, при котором в плитах создается предварительное напряжение с управлением полем напряжений и деформаций в зависимости от распределения усилий от нагрузки.

Предварительное напряжение можно создать путем установки арматурных стержней с двух сторон перегородки и последующего их натяжения стягиванием арматурных стержней друг с другом специальными стяжными болтами. После предварительного обжатия перегородки устраивается слой штукатурки для защиты преднатяженной арматуры от коррозии и создания гладкой поверхности.

Для проверки предложенного способа проведены расчеты перегородки предварительно напряженной путем установки закладных распределительных деталей, например, швеллеров [16 по боковым торцам перегородки, приварки к ним арматурных стержней  $\varnothing 10$  класса А500С и попарного их стягивания до достижения напряжения равного  $0,8 R_s$ . В результате математического моделирования выявлено, что для полной нейтрализации негативного влияния неравномерной осадки достаточно размещения с каждой стороны по 12 арматурных стержней с равномерным шагом по высоте перегородки.

Восстановление сплошности кладки предлагается выполнить путем инъектирования трещин и последующего локального обжатия кладки. В первую очередь растворные швы через 4...5 рядов кладки в зоне трещины расчищаются на глубину не менее 50 мм, очищаются от грязи и пыли. Рассеченные трещиной камни обматываются 4...6 вит-

ками вязальной проволоки. Если трещина прошла по вертикальному шву между камнями, проволокой обматываются два смежных камня. После обжатия расшитые швы заделываются цементно-песчаным раствором.

Предложенный способ позволяет сохранять несущую способность конструкции при возможных дальнейших неравномерных осадках стен здания.

Получено 18.05.2002

УДК 624.073.11 : 539.371

Э.Д.ЧИХЛАДЗЕ, д-р техн. наук, М.А.ВЕРЕВИЧЕВА, канд. техн. наук,  
С.Ю.БЕРЕСТЯНСКАЯ

Украинская государственная академия железнодорожного транспорта, г.Харьков

### НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ СТАЛЕБЕТОННЫХ ПЛИТ ПРИ СИЛОВЫХ И ТЕМПЕРАТУРНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ

Проведено исследование влияния различных схем огневого воздействия на несущую способность нагруженной сталебетонной плиты.

Настоящая статья, являясь развитием исследований [1-4], содержит основные положения теории сталебетонных плит, учитывающей, помимо силовых, и температурные воздействия. Используем условия равновесия элемента сталебетонной плиты, полученные в [3]:

$$\frac{\partial^2}{\partial x^2}(M_T - M_x) + \frac{\partial^2}{\partial y^2}(M_T - M_y) - \frac{\partial^2 M_{xy}}{\partial x \partial y} + \left( \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} \right) M_T = q(x, y). \quad (1)$$

Температурные изгибающие моменты в бетоне и стальном листе (рис. 1) определяются следующим образом:

$$M_T = M_T^b + M_T^s; \quad (2)$$

$$M_T^b = - \int_{x_i}^{x_i} \frac{\alpha_b E_b (T - T_0)}{3(1 - \nu_b)} x dx; \quad M_T^s = - \int_{h_b}^{h_b + \delta} \frac{\alpha_s E_b (T - T_0)}{3(1 - \nu_b)} x dx,$$

где  $T_0$  – начальная температура;  $\alpha_b$ ,  $\alpha_s$  – коэффициенты объемного расширения бетона и стали.

Моменты  $M_x$ ,  $M_y$ ,  $M_{xy}$  связаны с жесткостными коэффициентами и кривизнами зависимостями [1]