

Рис. 8. Результат формирования информации об имеющихся в базе данных объектах на текущую дату, при нажатии пользователем кнопки «Статистика»

Дата	Назначение объекта	Вид цены	Тип объекта	Наименование	По реестру
31.01.2011	Административное	Цена предложения	Капитальное строение	Административное здание	г. Брест
31.01.2011	Административное	Цена предложения	Капитальное строение	Административное здание	г. Брест
31.01.2011	Административное	Цена предложения	Капитальное строение	Административное здание	г. Брест
31.01.2011	Административное	Цена предложения	Капитальное строение	Административное здание	г. Брест
22.02.2011	Административное	Цена предложения	Капитальное строение	Административное здание	г. Брест
28.04.2012	Административное	Цена предложения	Капитальное строение	Административное здание	г. Брест
28.04.2012	Административное	Цена предложения	Капитальное строение	Административное здание	г. Брест
28.04.2012	Административное	Цена предложения	Капитальное строение	Административное здание	г. Брест

Рис. 9. Импортированный результат оценки объекта недвижимости сравнительным методом, при нажатии пользователем кнопки «Сохранить»

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Оценка стоимости объектов гражданских прав. Оценка стоимости капитальных строений (зданий, сооружений), изолированных помещений как объектов недвижимого имущества: ТКП 52.3.01-2011.
2. 1-й инвестиционный портал Беларуси – Режим доступа: <http://www.investar.by/>
3. Интернет центр недвижимости – Режим доступа: <http://www.realt.by/>

4. Недвижимость и строительство в Беларуси – Режим доступа: <http://www.nest.by/>
5. УПВС. Сборники укрупненных показателей восстановительной стоимости зданий и сооружений. Утверждены Государственным комитетом Совета Министров СССР по делам строительства в 1970–1971 г.

Материал поступил в редакцию 10.01.13

KOCHURKO A.N., KHORONZHEUSKAYA A.Y. Automating the process of the real estate a comparative approach

For solving the problem, data about objects-analogues have been collected, an adjustment to haggle developed and application "Comparative evaluation method" created. This application allows to: store, add, modify and delete regulatory background and data about objects-analogues; choose object type, a real estate object's purpose, modifiable properties; define boundaries of dates of transactions and summary area of real estate objects. After clicking the relevant buttons, the application displays objects-analogues corresponding given parameters, adjusts their costs, also gives statistics, program and done adjustments info, and saves the results.

УДК 69.022

Демчук И.Е., Галалюк А.В.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ИСПЫТАНИЙ ОБРАЗЦОВ КАМЕННОЙ КЛАДКИ ПРИ СЖАТИИ ПАРАЛЛЕЛЬНО ГОРИЗОНТАЛЬНЫМ РАСТВОРНЫМ ШВАМ

Введение. В технической литературе, касающейся численного моделирования строительных конструкций, вопросы расчета и конструирования каменных конструкций, а также их взаимодействия с другими конструктивными элементами здания практически не освещены. Причиной этого является сложность моделирования каменной кладки как композитного анизотропного материала.

В соответствии с предложением Lourenço [1], в инженерных расчетах каменная кладка может быть представлена сплошной или дискретной моделью. В случае сплошной модели кладка рассматривается как однородный материал, объединяющий элементы камен-

ной кладки и раствор в единое целое (рис. 1, а).

Достоинством данной модели является простота конечно-элементной сетки, не зависящая от расположения кладочных элементов и растворных швов. В то же время данная модель не дает реального представления о взаимодействии кладочных материалов. Кроме того, при использовании сплошной модели требуется знание деформационных характеристик каменной кладки в направлениях главных осей анизотропии, которые совпадают с положением растворных швов.

Демчук Игорь Евгеньевич, аспирант Республиканского унитарного предприятия «Институт БелНИИС» Научно-технического центра.
Галалюк Антон Владимирович, аспирант Республиканского унитарного предприятия «Институт БелНИИС» Научно-технического центра.

Беларусь, РУП «Институт БелНИИС», 224023, ул. Московская, 267/2.

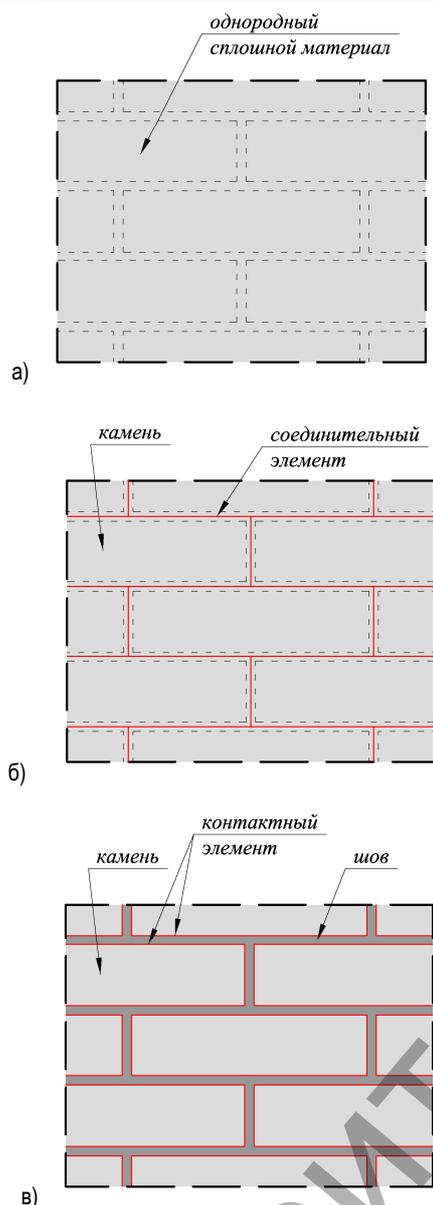


Рис. 1. Различные подходы к моделированию каменной кладки

В дискретных моделях используется подход разрушаемой контактной поверхности, в которой стыкуются две группы элементов. Первая группа элементов моделирует поведение кладочных элементов, а вторая должна моделировать поведение раствора и поверхности между раствором и кладочными элементами (швы, которые изображены на рис. 1, б).

Наиболее подробная модель рассматривает три отдельных элемента, представляющих собой камни, раствор и поверхность между ними (рис. 1, в). Такая подробная модель может лучше представить нарушение сцепления, проскальзывание и разрыв, которые наблюдаются между раствором и кладочным элементом. На основании расчета дискретной модели можно определить анизотропию деформационных свойств кладки как композиционного материала. Дискретные модели в последнее время активно используются для моделирования процессов испытаний образцов каменной кладки [2], [3].

Цель настоящей работы заключалась в сравнении результатов численного расчета микро- и макромоделей образца каменной кладки, подверженного сжатию в направлении, параллельном плоскости горизонтальных растворных швов, а также сравнении полученных значений напряжений и деформаций с результатами экспериментальных исследований.

Статья является продолжением исследования вопросов моделирования образцов каменной кладки, подверженных различным воздействиям [4].

Результаты экспериментальных исследований. Определение деформационных характеристик каменной кладки производилось на образцах, изготовленных из керамических полнотелых кладочных элементов. Образцы были выполнены в соответствии с EN 1052-1 [5].

Нагружение образцов производилось с помощью гидравлического пресса П-125. Для измерения перемещений использовались механические индикаторы часового типа, установленные на базе от 120 до 400 мм (см. рис. 2).

Было испытано три серии образцов с приложением нагрузки параллельно горизонтальным растворным швам. Каждая серия включала в себя 5-6 испытываемых образцов. Образцы изготавливались с применением кладочного раствора различной прочности при неизменной нормализованной прочности кладочных элементов, определенной в соответствии с [6] и равной $f_b = 44,1$ МПа при сжатии перпендикулярно «постели».

Серия КРО-1 изготавливалась на растворе прочностью $f_m = 10,9$ МПа; КРО-2 – $f_m = 7,9$ МПа; КРО-3 – $f_m = 3,1$ МПа. Общий вид, характер трещинообразования, а также геометрические характеристики и схема расстановки измерительных приборов представлены на рис. 2.

В ходе испытаний для каждого образца строились диаграммы «напряжения (σ) – относительные деформации (ϵ)», по которым определялись значения модулей упругости E_y и коэффициенты Пуассона ν_y (табл. 1).

Для определения деформационных характеристик кирпича и раствора были изготовлены четырехгранные призмы размерами: 250×65×65 мм и 300×70×70 мм соответственно.

Растворные призмы изготавливались из раствора, который применялся при выполнении опытных образцов кладки. Для приготовления кладочных растворов использовалась сухая растворная смесь №111/11 М100 по [8] производства ОАО «Красносельскстройматериалы». Из данной растворной смеси путем изменения пропорций составляющих готовилась растворная смесь других прочностных показателей. Прочность кладочного раствора при сжатии устанавливалась на основании европейского стандарта [9].

Керамические призмы выпиливались из кирпича, применяемого для изготовления опытных образцов кладки.

Образцы-призмы испытывались при помощи гидравлического пресса П-10, для измерения относительных деформаций использовались тензодатчики с базой 20 мм и автоматический измеритель деформаций АИД-4.

По результатам испытаний строились диаграммы деформирования образцов кирпича, раствора и определялись их деформационные характеристики (табл. 2, 3).

Модуль упругости каменной кладки и кладочных материалов, определялся как секущий модуль при среднем значении относительной деформации измеренной в двух точках ϵ_i и нагрузке, равной одной трети разрушающей нагрузки $F_{i,max}$ (1).

$$E_i = \frac{F_{i,max}}{3\epsilon_i A_i}, \quad (4)$$

где $F_{i,max}$ – максимальная нагрузка, воспринимаемая образцом каменной кладки, кладочным элементом или раствором;

A_i – площадь поперечного сечения образца;

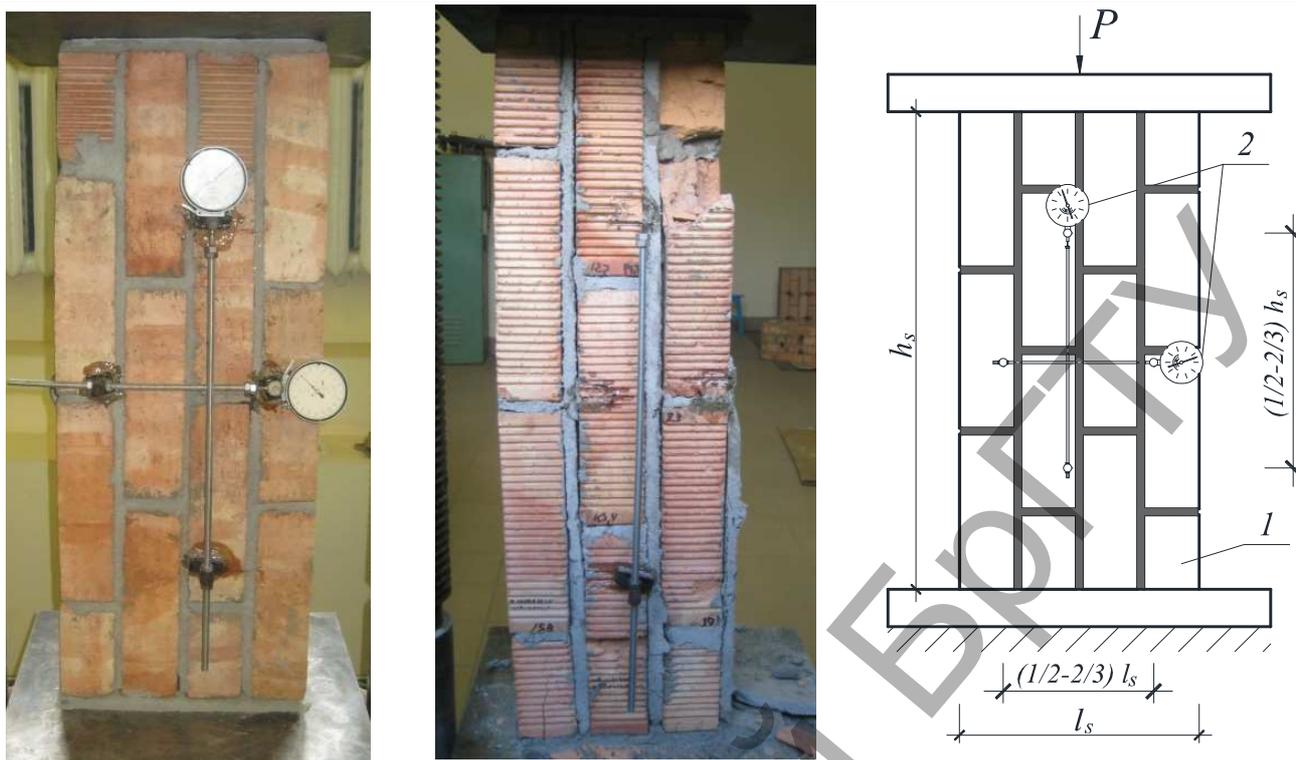
ϵ_i – относительные продольные деформации.

Коэффициент поперечной деформации ν (коэффициент Пуассона) определялся как отношение поперечной деформации к продольной (2).

$$\nu = \left| \frac{\epsilon_x}{\epsilon_y} \right|, \quad (4)$$

где ϵ_x – относительные поперечные деформации;

ϵ_y – относительные продольные деформации.



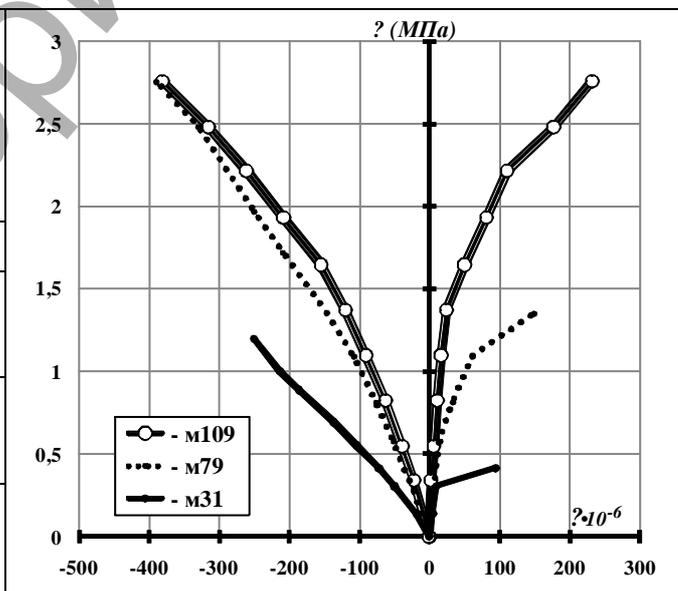
а) общий вид, б) характер трещинообразования, в) схема расстановки приборов

1 – образец кладки, 2 – индикаторы перемещений часового типа ИГП-1 с ценой деления 0,001 мм; $h_s = 770$ мм; $l_s = 290$ мм; $t_s = 120$ мм

Рис. 2. Схема испытаний опытных образцов

Таблица 1. Деформационные характеристики каменной кладки [7]

№ серии	Модуль упругости E , МПа		Коэффициент поперечной деформации ν	
	E_x^*	E_y	ν_x^*	ν_y
КРО-1	11150	9830	0,165	0,22
КРО-2	10680	8450	0,23	0,3
КРО-3	6450	5150	0,32	0,35



* – значения модулей упругости E_x^* и коэффициентов Пуассона ν_x^* в направлении перпендикулярно горизонтальным растворным швам приняты по результатам выполненных исследований [7]

Результаты численного моделирования. В рамках исследования были выполнены численные расчеты микро- и макромоделей опытного образца каменной кладки. Расчет выполнялся с использованием программного комплекса ANSYS.

В микро- и макромоделях элементы моделировались конечными трехмерными элементами объемного НДС с двадцатью узлами SOLID 186. Элемент SOLID 186 имеет квадратичное представление перемещений и в состоянии использовать нерегулярную форму сетки. Элемент определяется двадцатью узлами, имеющими три степени свободы в каждом узле (перемещения в направлении осей X, Y и Z

узловой системы координат) и может иметь произвольную ориентацию в пространстве.

Геометрические размеры образца для макромоделерования и микромоделерования были приняты 290x770x120 мм при толщине растворного шва в случае микромоделерования 10 мм. К образцу через стальные плиты прикладывалась равномерно распределенная нагрузка.

Микро- и макромоделерования с разбиением на конечные элементы и приложенной нагрузкой представлены на рис. 3.

Таблица 2. Деформационные характеристики кирпича [10]

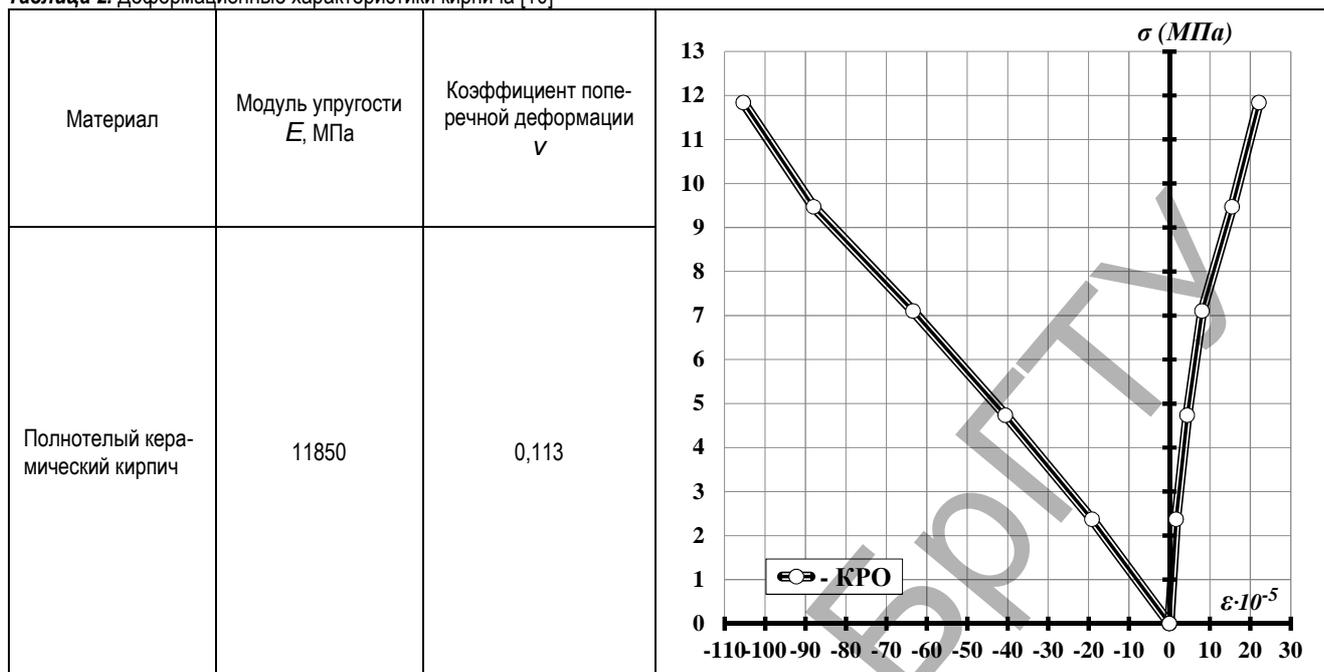
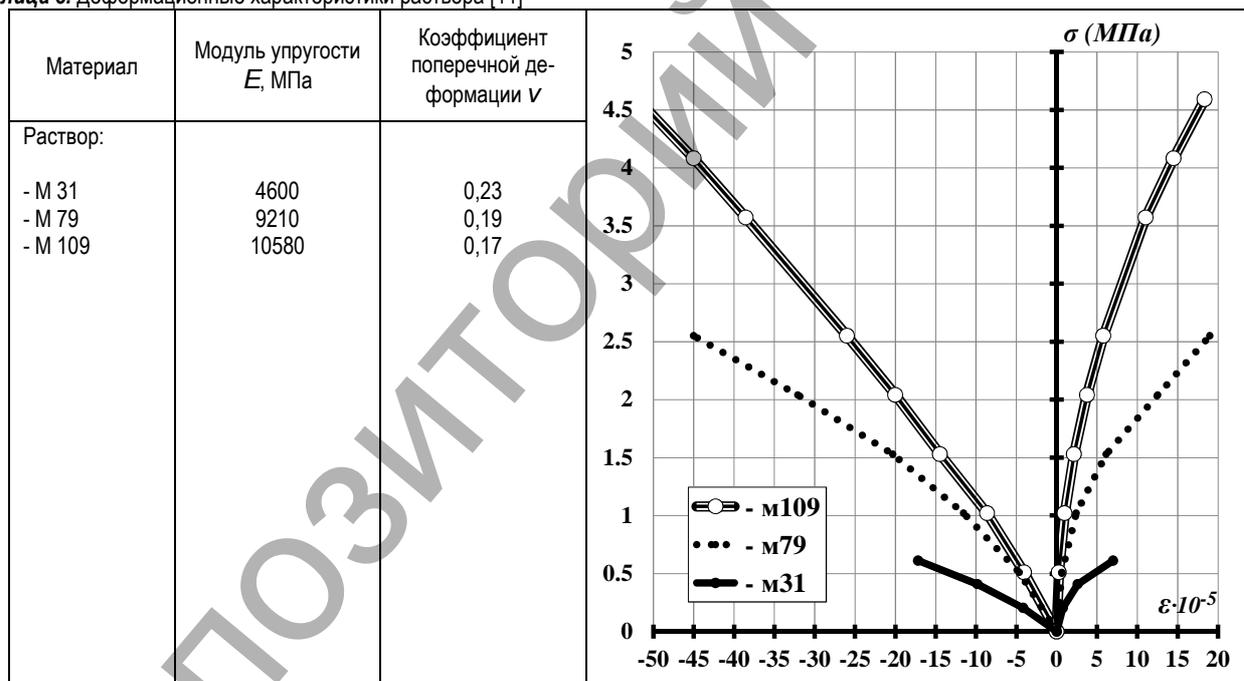


Таблица 3. Деформационные характеристики раствора [11]



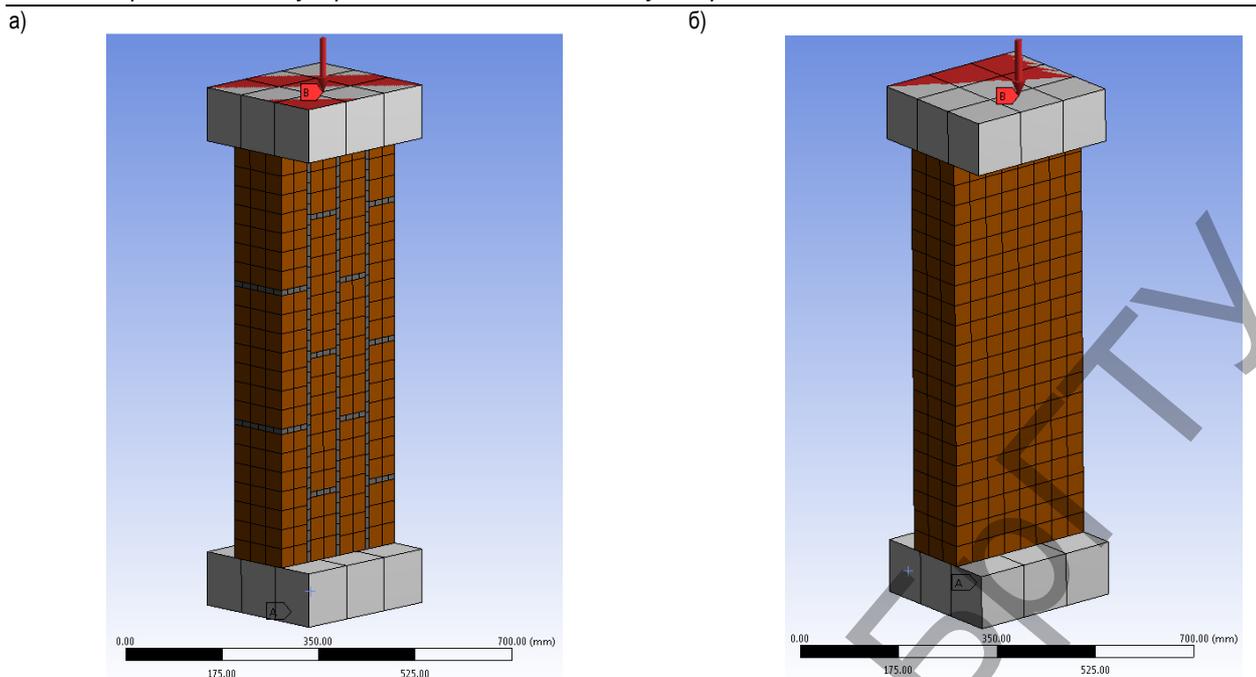
Длина баз для регистрации деформаций в вертикальном направлении была принята равной 400 мм, в горизонтальном направлении – 120 мм.

Размер конечных элементов в случае микромоделей для кладочных элементов был принят 40 мм, для растворных швов – 20 мм. В случае макромоделей размер конечных элементов для кладки был принят равным 40 мм.

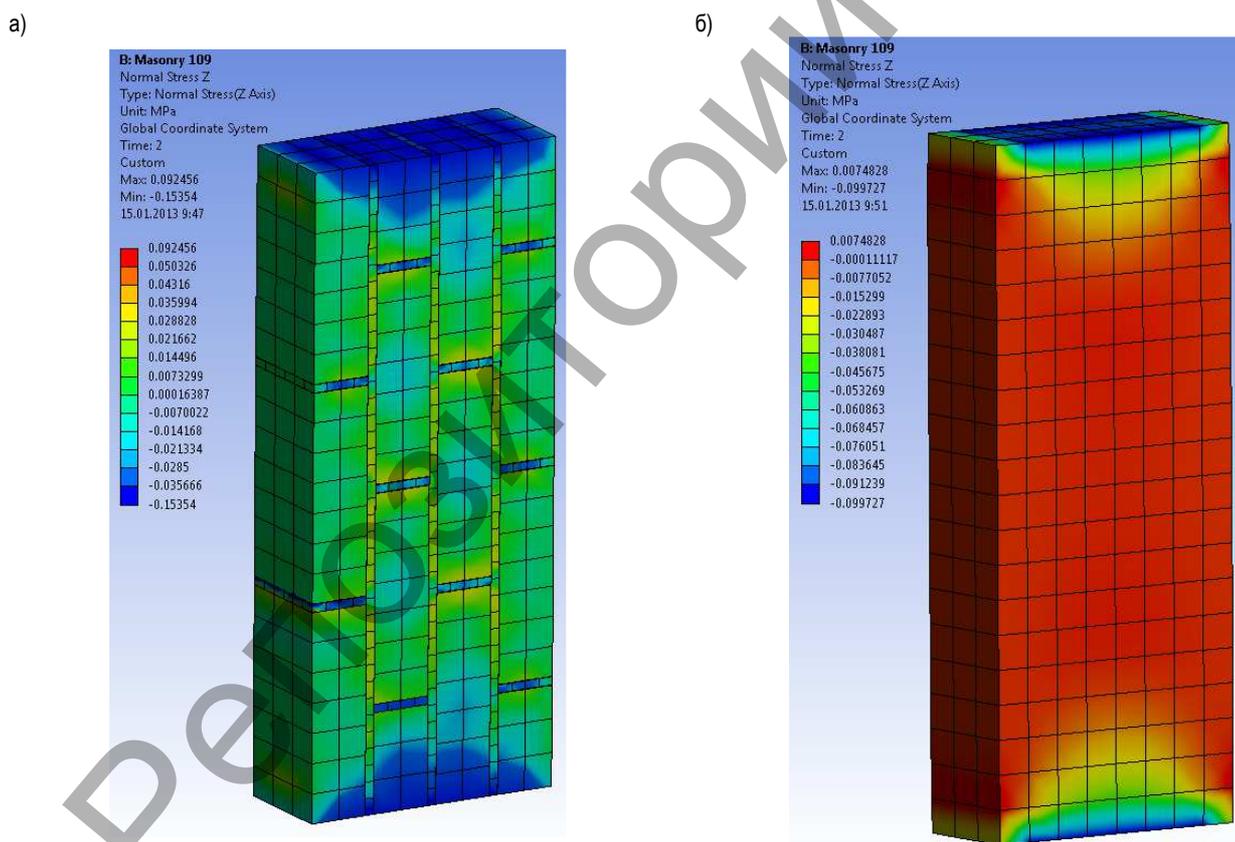
В случае микромоделей контакт между кладочными элементами и раствором задавался жестким с использованием опции «bonded». Контакт между кладкой и металлическими плитами прессы задавался при помощи опции «frictional» со значением коэффициента трения 0,2. Нижняя опорная плита закреплена в нижней опорной части от перемещений в трех ортогональных направлениях. К верхней опорной плите приложено усилие в виде напряжения в вертикальном направлении. В расчетах учитывалась физическая нелинейность материалов.

На рис. 4 показано распределение сжимающих напряжений на микро- и макромоделях. Распределение напряжений в первом и во втором случае очень схожи и свидетельствуют об образовании под грузовыми и опорными пластинами уплотнений каменной кладки в виде клиньев. Близкие результаты НДС кладки при сжатии были получены в исследованиях Соколова Б.С. [3].

На рис. 5 приведены расчетные и экспериментальные диаграммы деформирования опытных образцов кладки. Сравнение полученных диаграмм деформирования свидетельствует об удовлетворительном согласовании результатов расчета с экспериментальными данными при использовании метода макромоделирования. При расчетах микромоделей удовлетворительное согласование расчетной и экспериментальной диаграмм имеют место при напряжениях в образцах не превышающих 30% прочности кладки при сжатии.



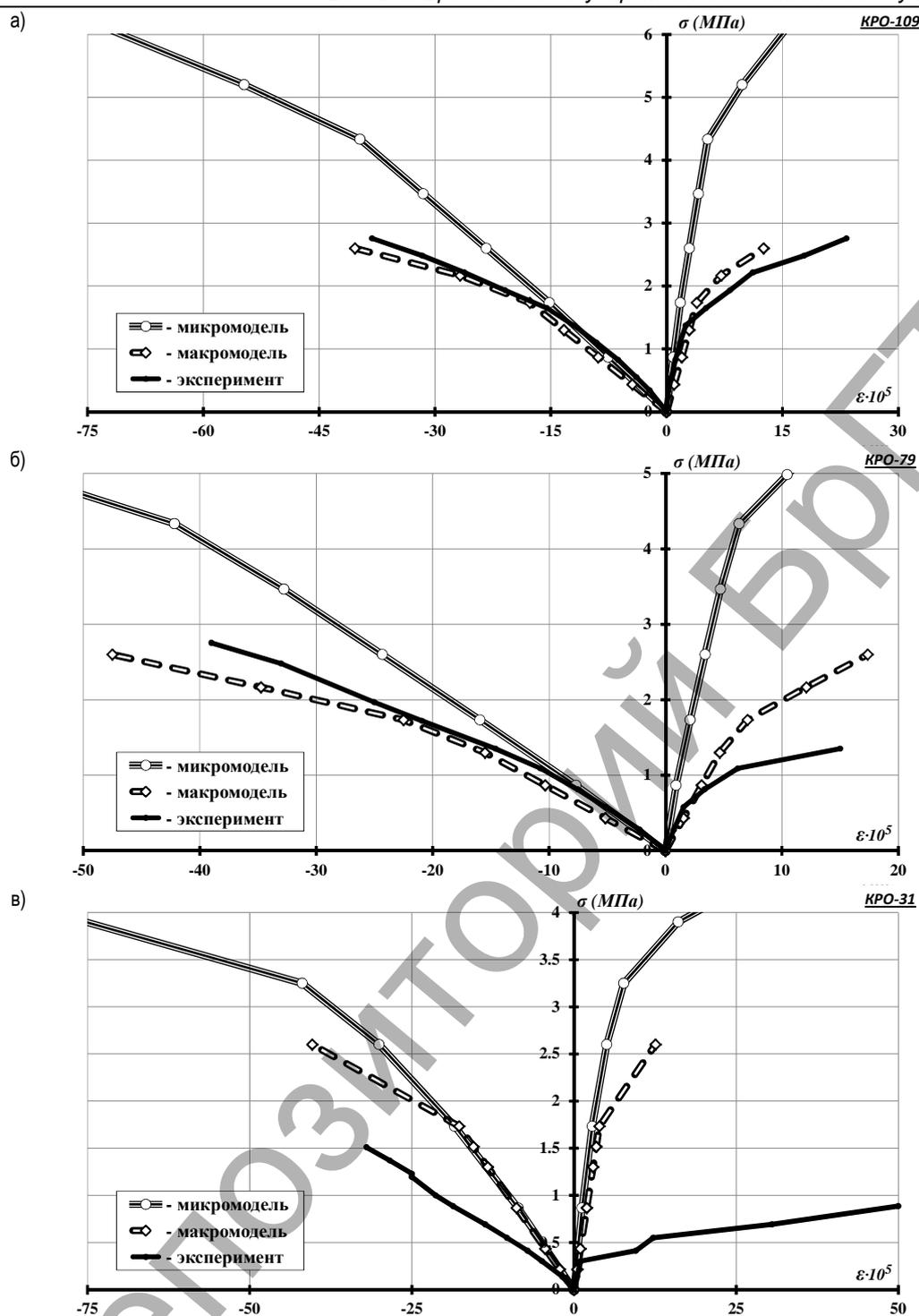
а) микромодель, б) макромодель
Рис. 3. КЭ-модели образцов каменной кладки



а) микромодель, б) макромодель
Рис. 4. Характер распределения сжимающих напряжений в КЭ-моделях каменной кладки

Отличия в расчетных и экспериментальных значениях при напряжениях выше 30% прочности кладки при сжатии объясняются игнорированием свойств контакта между раствором и кирпичом (начального сопротивления сдвигу кладочного раствора, коэффициента внутреннего трения, нормального сцепления растворных швов). Следует отметить, что решение такой задачи сопряжено с высокими

аппаратными затратами, что является абсолютно нецелесообразным в случае проведения практических расчетов. В упругой стадии работы имело место практически полное совпадение деформаций микромоделей с экспериментальными данными и с деформациями макромодели.



а) серия образцов КРО-1с, б) серия образцов КРО-2с, в) серия образцов КРО-3с
 Рис. 5. Диаграммы деформирования опытных образцов кладки и КЭ-моделей

Заключение. Исследования показали удовлетворительную сходимость результатов численного анализа образца каменной кладки, подверженного сжатию параллельно плоскости горизонтальных растворных швов, с результатами экспериментальных исследований. Численным расчетом микромоделей можно определять деформационные характеристики каменной кладки, заменяя трудоемкие и дорогостоящие эксперименты. Следует развивать исследования каменной кладки, направленные на совершенствование микромоделей, позволяющих учитывать физическую нелинейность материалов, нелинейность работы слоев кладки в зонах контакта, механику разрушения материалов.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Lourenço, P.B. Computational Strategies for Masonry Structures. PhD thesis, Technical University Delft. Delft University Press, The Netherlands, ISBN 90-407-1221-2, 1996. – 220p.
2. Соколов, Б.С. Исследования сжатых элементов каменных и армокаменных конструкций: научное издание / Б.С. Соколов, А.Б. Антаков – М.: Издательство АСВ, 2010. – 104 с.
3. Кашеварова, Г.Г. Моделирование процесса разрушения кирпичной кладки зданий в натуральных и численных экспериментах / Г.Г. Кашеварова, А.Ю. Зобачева, С.И. Дубинский // Научно-технический журнал: Строительная механика и расчет сооружений – 2010. – №1 (230). – С. 69–74.

4. Демчук, И.Е. Численное моделирование испытаний каменной кладки при диагональном сжатии // Ресурсоэкономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: збірник наукових праць – Випуск 24. – Рівне, 2012. – С.113.
5. Методы испытаний каменной кладки. Часть 1. Определение прочности при сжатии: EN 1052-1.-Введ.07.10.1998. – CEN/TC 125. – 10 с.
6. Методы испытаний строительных блоков. Часть 1. Определение прочности при сжатии: СТБ EN 772-1-2008. – Введ. 01.01.09. – Минск: Госстандарт. – 9 с.
7. Галалюк, А.В. Деформационные характеристики каменной кладки при сжатии / А.В. Галалюк, В.Н. Деркач // Вестник Брестского государственного технического университета. – 2012. – №1 (73): Строительство и архитектура.– С. 66–70.
8. Смеси растворные и растворы строительные. Технические условия: СТБ 1307-2002 – Введ.01.07.2002. – Минск: Госстандарт. – 18 с.
9. Методы испытания раствора для каменной кладки. Часть 11. Определение прочности на растяжение при изгибе и прочности при сжатии затвердевшего раствора: EN 1015-11:1999+A1:2006. – Brussels: CEN/TC 125. – 18 с.
10. Галалюк, А.В. Деформационные характеристики керамических полнотелых кладочных элементов и раствора общего назначения заводского изготовления // Материалы международной научно-технической конференции молодых ученых / Белорусско-российский университет. Новые материалы, оборудование и технологии в. – 2012. – С. 123.
11. Галалюк, А.В. Влияние прочности раствора при сжатии на величину модуля упругости раствора и коэффициента Пуассона // Луцкий національний технічний університет. Ресурсоэкономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: збірник наукових праць. – 2012. Випуск 24. – С. 100–105.

Материал поступил в редакцию 16.01.13

DEMCHUK I.E., HALALIUK A.V. Modeling of testing masonry specimens in compression parallel to the horizontal mortar joints

The features of the FE-modeling of masonry have been considered. The results of experimental and numerical researches of masonry specimens in compression parallel to the plane of horizontal mortar joints have been presented. A comparison of the stress-strain state of specimens of masonry in testing with the results of numerical calculation has been compared.